ГЛАСНИК СРПСКОГ ГЕОГРАФСКОГ ДРУШТВА
BULLETIN OF THE SERBIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY
ГОДИНА 2012. СВЕСКА XCII- Бр. 4
YEAR 2012 TOME XCII - N^{o} 4

Оригиналан научни рад UDC: 004:551.311.24(497.113)
DOI: 10.2298/GSGD1204051B

ПРИМЕНА ГЕОИНФОРМАЦИОНИХ ТЕХНОЛОГИЈА У ПРОЦЕСУ ДЕТЕКТОВАЊА НАГИБА ПОВРШИНЕ ТЕРЕНА ФРУШКЕ ГОРЕ СА ОСВРТОМ НА РАЗВОЈ ПАДИНСКИХ ПРОЦЕСА

ИВАНА БАДЊАРЕВИЋ*[1], МИРО ГОВЕДАРИЦА[1], ДУШАН ЈОВАНОВИЋ[1], ВЛАДИМИР ПАЈИЋ[1], АЛЕКСАНДАР РИСТИЋ[1]

[1]*Универзитет у Новом Саду - Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад*

Сажетак: У раду је описана анализа геоинформационих технологија и система са циљем примене у детектовању нагиба терена са освртом на правовремену детекцију и мапирање локација са израженим ризиком од падинских померања и активације клизишта. Посебна пажња је посвећена технологији даљинске детекције и процедури аквизиције података. Осим аквизиције, извршено је процесирање и обрада података, израда дигиталног модела терена, рачунање вегетационог индекса НДВИ на основу сателитског снимка и анализа података са педолошких карата. Описана је процедура обраде сателитских снимака са циљем идентификовања локација високог ризика од настанка падинских процеса. Анализирано је више фактора и идентификатора и извршена је аутоматска обрада кроз јединствен алгоритам. Резултати истраживања су презентовани у растерској форми. Дефинисани су и правци даљег истраживања. [2]

Кључне речи: дигитални модел терена, падински процеси, клизишта, даљинска детекција, аквизиција података

Увод

Познато је да је настанак падинских процеса везан за удружени утицај различитих фактора – деловање различитих агенаса на геолошку средину у одређеном времену. Ови фактори су различитог карактера: могу бити механички који доводе до промене склопа или физичких својстава стенских маса, промене напонског стања (додатна оптерећења или динамички утицаји) и промене рељефа (ерозија, абразија и сл).

Под активаторима процеса клизања најчешће се подразумевају фактори који доводе до брзе промене односа активних и пасивних сила на падини – у највећем броју случајева долази до промене напонских стања и у великом броју случајева пресудно је антропогено дејство – од природних фактора то су најчешће сеизмичко дејство и хидролошки-климатски фактори. Често се каже да су узрочници припремили терен за клизање, док су активатори били само непосредни повод клизању. Тешко је прецизирати који су фактори били пресудни за почетак клизања,

* Email: ivanabadnjarevic@uns.ac.rs
Рад представља резултате истраживања пројекта технолошког развоја ТР37017 "Моделирање стања и структуре падинских процеса применом ГНСС и технологија скенрања ласером и георадаром", који финансира Министарство за науку и технолошки развој.

јер се анализа обично врши након акутне фазе померања те се посебно истраживање у овом раду посвећује управо правовременој анализи узрочника и активатора.

У овом раду је анализирана примена геоинформационих технологија у процесу анализе падинских процеса и детекције локација са израженим ризиком падинских процеса пре саме фазе померања. Познато је да велики број фактора својим деловањем утиче на нестабилност топографске површине (Милошевић М., и др., 2010). Међутим значај сваког од тих фактора неби требало сагледавати аутономно већ управо кроз удружено деловање са осталим факторима. У овом истраживању је анализирана улога даљинске детекције као и обрада сателитских снимака у детекцији локација са израженим узрочницима и активаторима клизања, са посебним акцентом на нагиб терена. Синергијом фактора који доводе до падинских процеса у јединствен модел могуће је, као што је у овом истраживању показано, указати на локације на којима скуп ризичних фактора указује на већи ризик падинских процеса, те су нам тим локацијама потребна даља мерења и истраживања.

Географски положај области истраживања

Фрушка Гора се налази између 45° 00’ и 45° 15’ северне географске ширине и између 19° 10' и 20° 06' источне географске дужине. Простире се између Дунава и Саве у упоредничком правцу. Овај планински венац на југу Панонске низије има дужину од око 80 *km*, и највећу ширину од 15 *km*.
Фрушка Гора је ниска планина, са највишим врхом од 539 *m* (Црвени чот), а због тога што знатно надвисује околни ниски терен, изгледа масивно. Венац Фрушке Горе јако је рашчлањен и разбијен.

Геоинформационе технологије

Као што се у истраживањима показало, осим дигитализације у картографији (посебно у топографији) све значајнију улогу имају фотограметрија и даљинска детекција, као методе које омогућавају континуирано регистровање-снимање стања већих територија (Борисов, М. и др. 2009).

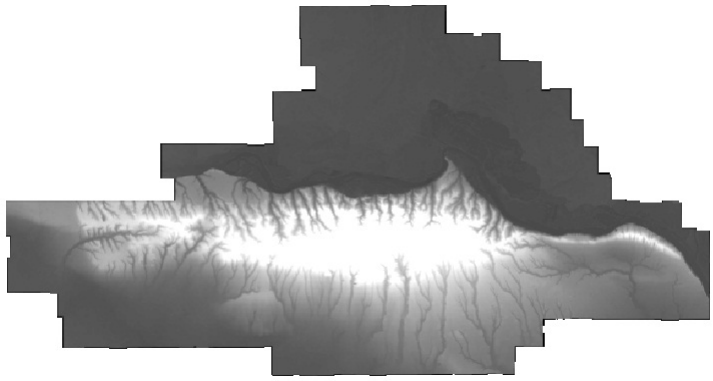
Даљинска детекција представља процес добијања информација о објекту или појави од интреса али без директног контакта са самим објектом или појавом већ се подразумева обрада и анализа различитих терестријалних, аеро или сателитских снимака. Уз помоћ даљинске детекције а анализом мултиспектралних сателитских снимака могуће је уочити одређене промене чак и пре него што људском оку постану видљиве. У смислу детекције падинских процеса, даљинска детекција показује све већи значај и примену у процени локација на којима су могуће падинске промене.
Са обзиром на истраживања која указују да је за детекцију локација угрожених падинским процесима битно објединити податке о нагибу терена, присуству/одсуству вегетације и типу земљишта, у овом истраживању су анализирани поменути параметри.

Дигитални модел терена

За анализирано подручје је извршено генерисање дигиталног модела терена који је послужио као основа за даље анализе. Дигитални модел терена за подручје Фрушке Горе добијен је аерофотограметријском методом. Аерофотограметријско снимање је извршено камером RC30 у размери 1:20000. Подручје је покривено са 369

снимака са подужним преклопом око 60% и попречним преклопом 20 до 30%. Ради обраде на дигиталним фотограметријским радним станицама снимци су скенирани са резолуцијом 12.5 *μm* што је резултирало величином пиксела од 25 *cm*. Укупно 24 тачке државне ГПС мреже су одабране као контролне тачке и фотосигналисане су на одговарајући начин. На основу ових тачака је одређена спољашња оријентација снимљених фотографија. На тај начин су формирани стереопарови из којих је екстрахован дигитални модел терена.

За представљање дигиталног модела терена изабран је растерски формат ДЕМ (дигитални елевациони модел) (Слика 1) јер је најпогоднији за анализе. Дигитални модел терена је креиран са хоризонталном просторном резолуцијом од 5 метара. Контрола ДЕМ-а је извршена на 74 контролне тачке које су измерене ГПС пријемником на накнадно одабраним локацијама. Утврђено је да је средње квадратно одступање на контролним тачкама 1,85 *m* што је задовољавајуће за примену у анализи клизишта.



Слика 1. Дигитални модел терена (ДЕМ)

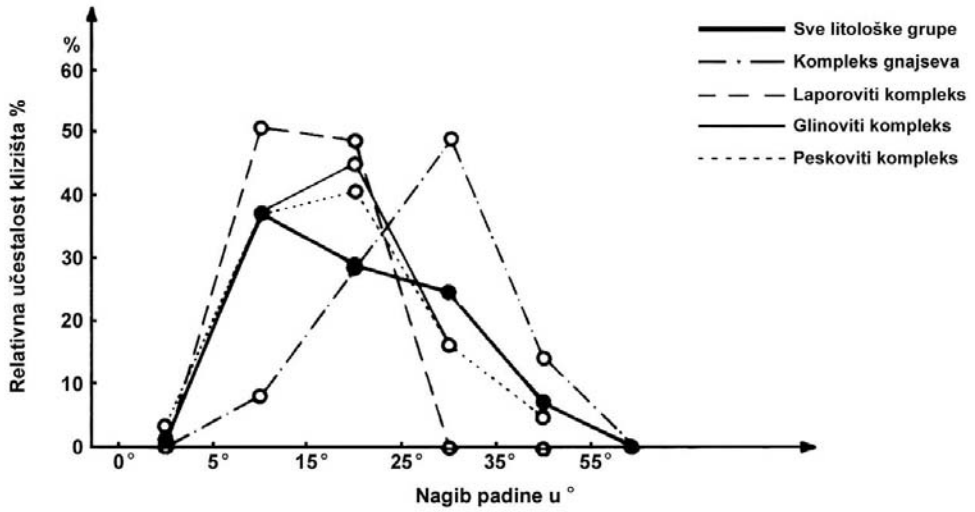
Нагиб

У истраживањима као што су (Miner, A.S., et al., 2010), (Coe, J.A., et al., 2004) и (McKenna, J. P., et al., 2008) је приказано да је дигитални модел терена један од основних полазних података за анализу клизишта. Осим самог дигиталног модела терена за анализу клизишта су значајни и подаци настали на основу ДМТ-а као што су: осенчене слике терена, степен и смер нагиба, дренажа терена, итд. У (Coe, J.A., et al., 2004) је наведено да се 96 процената клизишта догађа на падинама са степеном нагиба између 16° и 44°. Према томе познавање степена нагиба терена је од кључног значаја за процену опасности од појаве клизишта. Због тога је на основу ДЕМ-а генерисана слика која садржи степене нагиба терена ради примене у алгоритму за аутоматско откривање зона на којима постоји опасност од појаве клизишта.

Педолошке карте

Као још један улазни параметар и показатељ ризика за клизање су послужиле педолошке карте размере 1:50000 односно податак о типу земљишта на локацији од интереса.

У многим истраживањима, као што је анализа сроведена у области *Crati*, Италија, удружују се подаци о нагибу терена и типу земљишта (Слика 2).



Слика 2. Релативна учесталост клизишта у појединим литолошким комплексима у односу на нагиб падине, (област *Crati*, Италија)

Вегетациони индекс НДВИ (Normalized Difference Vegetation Index)

Осим великог значаја анализе вегетационих индекса и примени у пољопривреди, исти показивачи показују присуство и карактер/квалитет вегетационог покривача који се јавља као један од фактора ризика за сам настанак падинских процеса.

Индекс НДВИ (Normalized Difference Vegetation Index) се широко користи за мониторинг, анализу и мапирање временских и просторних карактеристика физиолошких и биофизичких карактеристика вегетације. Овај индекс је у директној вези са параметрима земљишта јер квалитет земљишта директно утиче на здравље биљака. Пошто је квалитет земљишта један од фактора за настанак клизања, даље се у раду разматра утицај НДВИ индекса на падинске процесе.

Под претпоставком да падински процеси резултују комплетним нестанком вегетације у тој области, НДВИ индекс који указује на одсуство вегетације може, уз друге параметре, указати на активно или старо клизиште. Међутим, може указивати и на локације где је већа вероватноћа за настанак падинског процеса, ако је одсуство вегетације испраћено са типом земљишта и осталим факторима који погодују настанку падинског процеса.

Од података добијених обрадом сателитских снимака за анализу квалитета и идентификацију присутне вегетације често се користи НДВИ фактор који се из сателитског снимка рачуна кроз креирани модел (специфичан и посебно креиран за специфичне платформе) по формули, извлачећи одговарајуће одзиве у црвеном и блискоинфрацрвеном спектралном каналу:

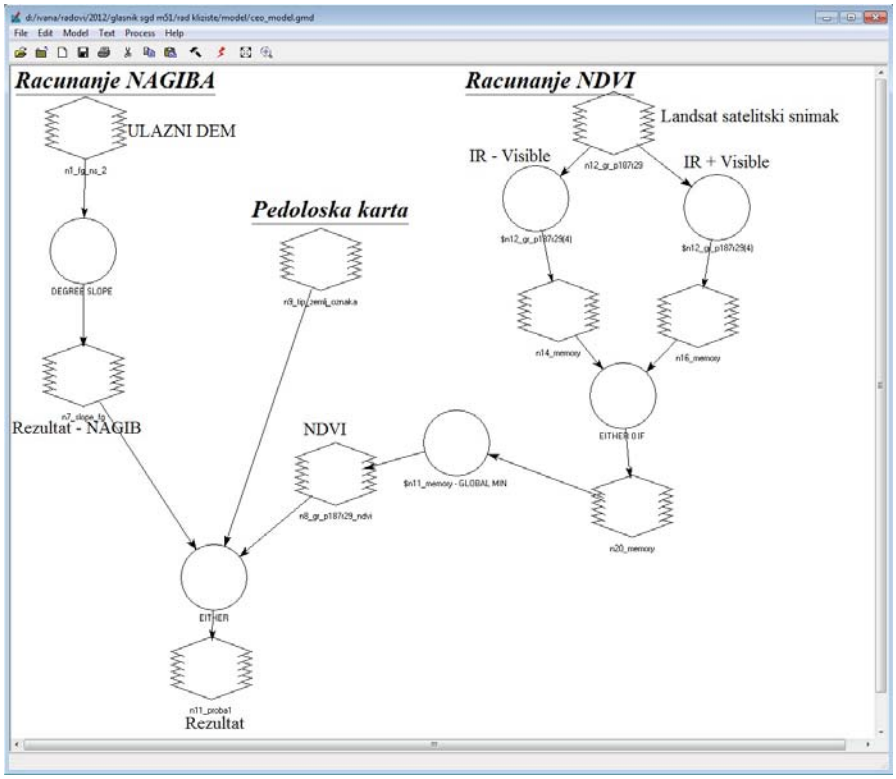
НДВИ = (NIR - Red) / (NIR + Red)
НДВИ = (Band 4 - Band 3) / (Band 4 + Band 3) - за *Landsat* сателитски снимак, који је анализиран у овом раду

Сателитски снимак се анализира кроз алат *ERDAS Imagine* и кроз одговарајуће процедуре и моделе се израчуна вредност НДВИ. Овако добијена

вредност се користи као један од улазних параметара на основу којих се лоцира потенцијално место за активирање падинског процеса.

Резултати истраживања и дискусија

Сви наведени параметри (нагиб, тип земљишта, НДВИ) су удружени у један модел (Слика 3) као потенцијални показатељи локација погодних за активирање падинских процеса.

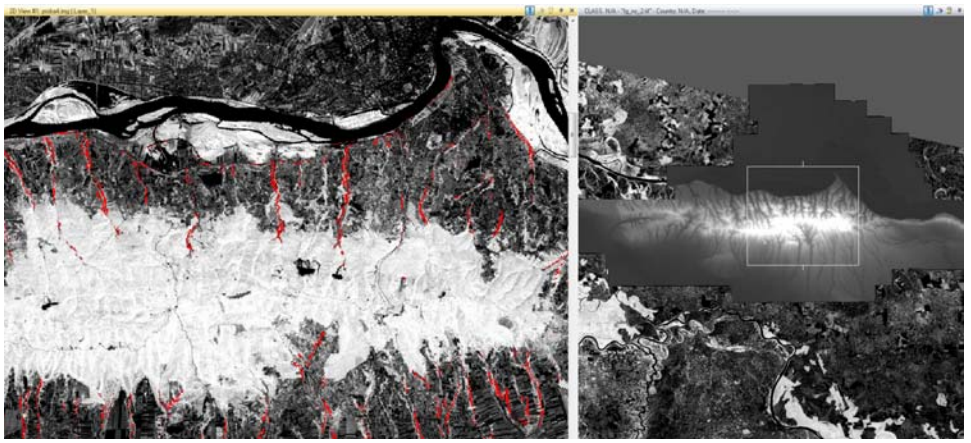


Слика 3. Модел који синергише карактеристичне факторе који указују на потенцијалне хазардне локације

Као што је поменуто, даљинска детекција, анализа и рачунарска обрада сателитских снимака омогућују израду растерских подлога у дигиталној форми које носе значајне информације за процес детектовања нагиба површине терена и процену активирања падинских процеса на области од интереса. Дигитални елевациони модел (ДЕМ) пружа информацију о надморским висинама из чега се даљом напредном обрадом добија растерски запис о нагибу терена. Податак о вредности НДВИ вегетационог индекса, генерисан такође из анализираног сателитског снимка се удружује у комплексан модел са подацима о типу земљишта и нагибу. Као резултат се добија растерски приказ области које спадају у хазардне зоне ризика од настанка падинских процеса. Обрадом растерског резултата се може добити и векторски приказ. На слици испод (

Слика 4) је дат приказ преклопа ДЕМ-а са растерским слојем података приказаног црвеном бојом (лево) као и приказ преклопа података о НДВИ, нагибу и дигиталном моделу терена (десно).

Као подлога за приказ идентификованих ризичних површина могу послужити топографске подлоге различитих размера (Борисов, М., 2010).



Слика 4. Црвеном бојом су приказане зоне ризика од падинских процеса у растерском формату (лево); област од интереса (десно)

Важно је напоменути да се у овом истраживању од почетног скупа података па до генерисаних резултата у растерској форми водило рачуна о основним групама процеса над дигиталним топографским подацима које се односе на (Борисов, М. 2004): иницијално формирање скупа података, картографско уређивање и обраду, одржавање и ажурирање података, дистрибуцију и репродукцију и архивирање и заштиту података. У свим тим фазама потребно је обезбедити процесе који се односе на: улаз/излаз података путем конверзије, приказ садржаја података у одређеном картографском облику, исцртавање садржаја у картографској форми и погодном формату и све врсте аналитичких прорачуна који одговарају мерењима или прорачунима (Борисов, М. и др. 2009).

Познато је да се клизишта не могу прецизније анализирати без осврта на:

- састав терена (геологија),
- подземне воде и
- отпорност на смицање у стенској маси;

што би био даљи правац истраживања.

Свакако је важно даље проучавање оваквих појава (Нешић, Д. и др. 2004). Верификовање резултата би се могло извршити технологијом снимања георадаром (Ристић, А. и др. 2012), (Ристић, А. и др. 2010).

Примена геоинформационих технологија и система у анализи нагиба терена и пратећих фактора који могу да утичу на формирање падинских процеса подразумева и поступак израде ажурне картографске основе као и проширење постојеће картографске подлоге и успостављање иницијалног система за контролу хазардних локација. Публиковање оваквих података у растерском и векторском облику би се требало реализовати кроз геопортал, као што је приказано у оквиру израде геопортала Министарства заштите животне средине Републике Србије (Говедарица, М. и др. 2011). У анализама посвећеним процени нагиба терена са освртом на процену потенцијалних локација са израженим факторима погодним за развој падинских процеса важно је анализирати и потенцијално угоржавање путне инфрастуктуре последицама падинских процеса, нпр. угрожавање стабилности мостова падинским процесима (Ђого, М., и др. 2008) и наћи начин за правовремено реаговање.

Закључак

У раду је извршена анализа геоинформационих технологија са нагласком на принципе даљинске детекције и могућности њене примене у анализи нагиба површине терена Фрушке Горе и предвиђању локација са израженим ризиком од падинских процеса и праћењу промена у простору. Примењена технологија и методологија омогућава коришћење прикупљених података са сензорских платформи за превентивну анализу потенцијалне опасности од клизног хазарда. Дат је и приказ технолошког поступка израде растерског и векторског картографског материјала као и смернице за употребу добијених података са становишта њиховог приказа и дистрибуције. Предлог решења за складиштење резултата, визуелизацију и дистрибуцију података је окружење геопортала и виртуелних атласа.

Овакав приступ у примени геоинформационих технологија и система би требао да обезбеди брз процес аквизиције и обраде података чији се степен тачности може верификовати теренским мерењима, како би се обезбедило ефикасно управљање локацијама са евидентираним алармантним параметрима и превентивно реаговање. Још једна ставка која би могла довести до побољшања резултата је употреба ДЕМ-а више резолуције и укључивање података о геолошком саставу терена у модел.

Клизишта, као тип хазарда високог ризика заслужују детаљне анализе и процену потенцијалних узрочника и активатора како би се омогућило правовремено деловање и санације, чиме се спречавају озбиљније последице.

Литература

Alparslan. E., (2011). Landslide Susceptibility Mapping in Yalova, Turkey, by Remote Sensing and GIS. Environmental & Engineering Geoscience August, 17(3), 255-265.

Борисов, М. (2010). Проблеми мјерила и изградње инфраструктуре топографских података. *Геодетски лист*, 2, 109-116.

Борисов, М., Банковић, Р. и Дробњак, С. (2009). Моделовање процеса над топографским подацима. *Гласник Српског географског друштва, 89(3)*, 207-218.

Coe, J.A., Godt, J.W., Baum, R.L., Bucknam, R.C., and Michael, J.A. (2004). Landslide susceptibility from topography in Guatemala: in Lacerda, W.A., Erlich, M., Fontoura, S.A.B., and Sayao, A.S.F., eds., Landslides-evaluation and stabilization, Proceedings of the 9th International Symposium on Landslides: London, A.A. Balkema Publishers, v. 1, p. 69-78

Ђого, М., Васић, М. и Јелисавац, Б. (2008). Мониторинг клизишта у зони моста Слободе у Новом Саду. *Пут и саобраћај, 55(1)*, 26-38.

Говедарица, М., Петровачки, Д., Сладић, Д., Ристић, А., Јовановић, Д., Пајић, В., Вртунски, М. и Ристић, А. (2011). Environmental Data In Serbian Spatial Data Infrastructure - Geoportal Of Ecology. *Journal of Environmental Protection and Ecology,* (у штампи)

McKenna, J. P., Lidke, D. J., and Coe, J. A. (2008). Landslides mapped from LIDAR imagery, Kitsap County, Washington: , U.S. Geological Survey Open-File Report, 81 2008-1292.

Miner, A.S., Flentje, P., Mazengarb, C. and Windle, D.J. (2010). Landslide Recognition using LiDAR derived Digital Elevation Models-Lessons learnt from selected Australian examples. Geologically Active, Proceedings of the 11th IAEG Congress of the International Association of Engineering Geology and the Environment, Auckland, New Zealand, 2010.

Милошевић, М. В., Манојловић, П. и Мустафић, С. (2010). Неки аспекти антропогеног утицаја на генезу клизишта на територији града Јагодине. *Гласник Српског географског друштва*, *90(2),* 139-149.

Нешић, Д., Милинчић, М. А. (2004). Специфичности високопланинских клизишта на примеру НП Копаоник. *Заштита природе*, *55(1-2),* 5-14.

Радојчић, С., Борисов, М., и Божић, Б. (2011). Положајна тачност географских информација и савремени стандарди за њено оцењивање. *Гласник Српског географског друштва*, *91(2),* 99-112.

Ristic, A., Abolmasov, B., Govedarica, M., Petrovacki, D., & Ristic, A. (2012). Shallow-Landslide Spatial Structure Interpretation Using A Multi-Geophysical Approach. *Acta Geotechnica Slovenica* (у штампи).

Ристић, А., Петровачки, Д., и Говедарица, М. (2010). Даљинска детекција радарским технологијама - примена у пољопривреди. *Journal on Processing and Energy in Agriculture, 14(2*), 76-80.

GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF TERRAIN SLOPE DETECTION IN THE AREA OF FRUSKA GORA WITH REFERENCE TO POTENTIAL DEVELOPMENT OF SLOPE PROCESSES

IVANA BADNJAREVIĆ[1*], MIRO GOVEDARICA[1], DUŠAN JOVANOVIĆ[1], VLADIMIR PAJIĆ[1], ALEKSANDAR RISTIĆ[1]

[1]*University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Dositeja Obradovica Square 6, 21000 Novi Sad*

Abstract: This research aims to describe the analysis of geoinformation technologies and systems and its usage in detection of terrain slope with reference to timely detection and mapping sites with a high risk of slope movement and activation of landslides. Special attention is referred to the remote sensing technology and data acquisition. In addition to acquisition, data processing is performed: the production of digital terrain model, calculating of the vegetation index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) based on satellite image and analyses of pedology maps. The procedures of processing the satellite images in order to identify locations of high risk of slope processes are described. Several factors and identifiers are analyzed and used as input values in automatic processing which is performed through a unique algorithm. Research results are presented in raster format. The direction of further research is briefly defined. [3]

Keywords: digital terrain model, slope processes, landslides, remote sensing, data acquisition

Introduction

It is known that the formation of slope processes is related to the combined effect of various factors - the influence of various agents on the geological environment in a certain time period. These factors are of different characteristics: they can be mechanical which leads to the changes in structure or physical characteristics of the masses, changes in the stress state (additional loads or dynamic effects) and changes in the relief (erosion, abrasion, etc.).

Actuators of the process of sliding usually include factors which lead to rapid changes in the ratio of active and passive forces on the slope - in most cases it is visible by a change of stress state and in many cases anthropogenic effects are crucial - natural factors are often seismic effects and hydrological-climatic factors. It is often said that the agents have prepared the ground for slope processes, while actuators were only the immediate cause of the process. It is difficult to specify which factors are decisive for the start of the slope processes, because the analysis is usually performed after the acute phase of the movement and special attention in this research is paid to the analysis of causes and actuators.

This research discusses the application of geoinformation technologies in the analysis of slope processes and identification of potential locations with a high risk of slope processes before the actual movement phase. It is known that many factors by their actions influence the instability of topographic surface (Milošević M. et al., 2010). Even though, the significance of each of these factors should not be analyzed independently, but through the joint activity model with other factors. This study analyzes the role of remote sensing and processing of satellite imagery for the detection of locations with outstanding agents and slope process's actuators, with special attention to terrain's slope. The synergy of factors that lead to slope processes in a unified model is possible to indicate locations where a set of risk factors indicates a higher risk of slope processes, as demonstrated in this study.

* Email: ivanabadnjarevic@uns.ac.rs

Geographic location of the area of research

Fruska Gora is situated between 45° 00' and 45° 15' of north latitude and between 19° 10' and 20° 06' of east longitude. It extends in length between the Danube and Sava rivers in the parallel direction. This mountain range in southern Pannonian plain has a length of about 80 *km*, and biggest width of 15 *km*. Due to its natural, cultural and historical significance, Fruska Gora had been proclaimed a national park in 1960.

Fruska Gora is a low mountain, the highest peak is Crveni Cot, with height of 539 meters above sea level and because much higher than the surrounding low ground, it looks solid. Lower parts of this mountain are characterized by gentle meadows, wheat fields and vineyards, while higher parts are covered with dense deciduous forest of linden, hornbeam, oak, maple and other trees.

Geoinformation technologies

As the researches of the subject showed, besides the digitization in cartography (particularly in the topography) the role of photogrammetry and remote sensing is increasing in terms of methods which enable the continuous registration-imaging of the actual state of larger areas (Borisov, M., et al., 2009).

Remote sensing refers to a process of collecting information of an object or phenomenon of interest without direct contact with the object/phenomenon of investigation which means the processing and analyses of various terrestrial, aero and satellite imagery. Using remote sensing technique and analysis of multispectral satellite images it is possible to detect some changes in monitored area even before the changes become visible to the human eye. In terms of detection of slope processes, remote sensing shows the increasing importance in the application and the evaluation of sites of possible slope processes and landslides.

Considering the studies and researches which indicate the importance of synergy of data on terrain's slope, presence/absence of vegetation and soil type in analyses of slope processes, all mentioned factors were considered in this study.

Digital Terrain Model

The production of digital terrain model for the area of interest was performed and it was used as a basis for further analysis. Digital terrain model for the area of Fruska Gora was produced by using aerial photogrammetry. Aerial campaign was conducted by RC30 camera in a scale of 1:20000. The area is surveyed with 369 images with the overlap about 60% and sidelap of 20 to 30%. For the processing in digital photogrammetric stations images were scanned in a resolution of 12.5 μm resulting in a pixel size of 25 *cm*. The sum total of 24 points of national GPS network were selected as control points and marked appropriately. Based on these points exterior orientation was calculated by using bundle block adjustment. The image pairs were formed from which digital terrain model was extracted.

Digital terrain model is presented in raster DEM (digital elevation model) format (Figure 1) as it is the most suitable for analysis.

Digital terrain model was created with a horizontal spatial resolution of 5 meters. The control and verification of the DEM was performed in 74 control points which are measured by the GPS receiver in subsequently selected locations. It was found that the root mean square error (RMSE) in control points was 1.85 *m*, which is satisfactory for the application in the analysis of slope processes.

Figure 1. Digital terrain model (DEM)

The Terrain Slope

The studies such as (Miner, AS, et al., 2010), (Coe, JA, et al., 2004) and (McKenna, JP, et al., 2008) showed that the digital terrain model is one of the main initial data for the analysis of possible landslides. Beside the digital terrain model for the analysis of slope processes, the data obtained based on DEM are also of great importance, such as: the degree and direction of slope, shaded images of the terrain, drainage etc. The research results by Coe (Coe, JA, et al., 2004) indicated that 96 % of landslides occur in slopes with gradients between 16° and 44°. Thus knowledge of the degree of slope is crucial for assessing the risk of landslides. Therefore, the image that contains the degrees of terrain's slope is generated based on the digital terrain model in order to implement it in the algorithm for automatic detection of areas with a high risk of forming the landslides.

Pedology Maps

As another input factor and an indicator of risk for slipping served pedology map in a scale of 1:50000 from which the data on the type of soil at the area of interest are used.
In many studies, such as the analysis performed in Crate area, Italy, the data on the slope of the terrain and soil type were merged (Figure 2).

Figure 2. Relative frequency of landslides in different lithological layers in relation to the terrain's slope, (Crate area, Italy)

Vegetation Index NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

Apart from the great importance of analysis and application of vegetation indices in agriculture, the same indicators show the presence and character/quality of vegetation cover, which appears as a risk factor for the formation of slope processes.
Index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is widely used for monitoring, analyzing and mapping spatial and temporal characteristics of physiological and biophysical characteristics of vegetation. This index is directly related to soil parameters due to the fact that soil quality directly affects the health of plants. Since the quality of soil is one of the factors for the forming of the landslides, further in this research the impact of the NDVI index in slope processes is discussed.

Assuming that the slope processes result in complete loss of the vegetation in the affected area, the NDVI index that indicates the absence of vegetation may, with the other parameters, point to an active or an old landslide. However, it may also indicate the locations where the higher the probability for the occurrence of slope processes, if the lack of vegetation is linked to the type of soil and other factors that favour the occurrence of slope and processes.

From the data obtained by processing of satellite images to analyze and identify the presence and quality of vegetation, NDVI factor is often used and is calculated from the satellite image using uniquely created model (a specific and specially designed for specific platforms) according to the formula, deriving appropriate responses in the red spectral band and near infrared band:

NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)
NDVI = (Band 4 - Band 3) / (Band 4 + Band 3) - for *Landsat* satellite image, used in this study

Satellite image is processed using the ERDAS Imagine software tool and through appropriate procedures and models the value of NDVI is calculated. This value is further used as one of the input parameters based on which is possible to locate a potential site for the activation of slope processes.

Research results and discussion

All the mentioned parameters (slope, soil type, NDVI) are combined in one model (Figure 3) as potential indicators of locations suitable for the activation of slope processes.

Figure 3. The model of specific factors that indicate potential hazardous locations

As previously mentioned, remote sensing, analysis and computer processing of satellite images allow the production of raster data in digital form which carry important information for the process of detecting the terrain's slope and assessing the activation of slope processes in the area of interest. Digital elevation model (DEM) provides information on elevations, from which in further advanced processing the raster image of terrain's slope can be developed. The value of NDVI, also generated from the analyzed satellite image is pooled in a complex model with data on soil type and slope. The result is a raster layer which represents the locations in the hazardous zone of the risks of slope processes. The further processing of raster results can result in the vector data format. The figure below (Figure 4) presents the overlap of the DEM with raster data layer shown in red (left) and overlapping data on NDVI, slope, and a digital terrain model (right).

As the basis for the presentation of the identified risk areas topographic maps of different scales can be used (Borisov, M., 2010).

Figure 4. Red presents zones with high risk of slope processes in raster format (left); area of interest (right)

It is important to note that this study, from the initial data set to the results generated in raster format, paid attention to the basic groups of the process of digital topographic data relating to (Borisov, M. 2004): the initial formation of a data set, cartographic editing and processing, maintenance and updating, distribution, and reproduction and backup and data protection. In all these stages it is necessary to ensure the processes related to: data input/output through the conversion, the display of the data in a particular cartographic form, rendering in appropriate form and a suitable format as all kinds of analytical calculations, which correspond to measurements or calculations (Borisov, M., et al. 2009).

It is known that landslides can not be accurately analyzed without reference to:

- the geology of the terrain
- groundwater and
- resistance to bedrock movements;

which would be a central point of further research.

It is certainly important to further study these phenomena (Nešić, D., et al., 2004). Verifying the results could be made by GPR (ground penetrating radar) technology (Ristic, A., et al., 2012), (Ristic, A., et al., 2010).

The application of geoinformation technologies and systems in the analysis of terrain's slope and the associated factors that may affect the slope processes involves the process of production of an up to date cartographic material and update of the existing cartographic material in order to establish the initial system for monitoring the hazardous locations. Publication of these data in raster and vector format should be implemented

through a geoportal, as shown in the geoportal of the Ministry of Environmental Protection of Serbia (Govedarica, M., et al., 2011). In the analysis devoted to the assessing the terrain's slope with reference to the potential sites with distinct factors favourable for the development of slope processes it is important to analyze potential effects of slope processes to road infrastructure, for example the stability of the bridges in areas with high risk of slope processes (Đogo, M., et al., 2008) and find a way for the timely response.

Conclusion

This study represents geoinformation technologies with the emphasis on remote sensing principles and possibilities of its application in the analysis of the terrain's slope in the area of Fruska Gora and predicting locations with a high risk of slope processes and monitoring changes. Applied technology and methodology enable using the data collected from sensor platforms for preventive analysis of the potential danger of sliding hazard. This paper illustrates a technological procedure of producing the raster and vector format of cartographic material and provides guidelines for the use of obtained data in terms of their publication and distribution. Proposed solution for the visualization and data distribution is the environment of geoportal and virtual atlases.

This approach in the implementation of geoinformation technologies and systems should provide a rapid process of data acquisition and data processing which degree of accuracy can be verified by field measurements, to ensure efficient management of the sites with located alarming parameters and timely response to prevention. Another item that could lead to better results might be the use of DEM with higher resolution and the inclusion of more data on the geology in the model.

Landslides, as the type of high-risk hazards, deserve detailed analysis and evaluation of potential agents and activators in order to enable timely action and repair in order to prevent serious consequences.

References

See References on page 57