



Друштво геолошких инжењера и техничара
Србије

Комитет за инжењерску
геологију и геотехнику



Универзитет у Београду
Рударско-геолошки факултет
Катедра за геотехнику

XIV СИМПОЗИЈУМ ИЗ ИНЖЕЊЕРСКЕ ГЕОЛОГИЈЕ И ГЕОТЕХНИКЕ

ЗБОРНИК РАДОВА



Београд,
27-28. септембар, 2012.г.

ЗБОРНИК РАДОВА XIV СИМПОЗИЈУМА ИНЖЕЊЕРСКЕ ГЕОЛОГИЈЕ И ГЕОТЕХНИКЕ

ИЗДАВАЧ : Друштво геолошких инжењера и техничара Србије
Комитет за инжењерску геологију и геотехнику,
Кнеза Милоша 9/4, 11000 Београд

За издавача:

Проф. др Адам Дангић, ред. проф. у пензији
Проф др Душко Сунарић, ред. проф. у пензији

ПРОГРАМСКИ ОДБОР СИМПОЗИЈУМА:

Проф. др Петар Локин, ред. проф. у пензији
Проф. др Душко Сунарић, ред. проф. у пензији
Проф. др Соња Цветковић – Мркић, ред. проф. у пензији
Проф. др Драгутин Јевремовић, ред. проф., Рударско-геолошки факултет
Проф. др Радојица Лапчевић, ред. проф., Рударско-геолошки факултет,
Мр. Владета Вујанић, директор Завода за Геотехнику, Институт за путеве
Мр. Мирко Лазић, дипл.инж.геол.

Едитори: Проф. др Душко Сунарић, ред. проф. у пензији
Проф. др Драгутин Јевремовић, ред. проф. Рударско-геолошки факултет

Технички уредник: Срђан Костић, дипл.инж.геол.
Лектура: Милена Костић, дипл.филол.

Радови за овај Зборник су прихваћени на основу рецензије резимеа, а штампани су у оригиналној верзији, достављеној од стране аутора саопштења. Сви радови су лектурирани.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

550.8(082)
624.13(082)

СИМПОЗИЈУМ из инжењерске геологије и
геотехнике са међународним учешћем (14 ; 2012
; Београд)

Зборник радова XIV симпозијума из
инжењерске геологије и геотехнике са
међународним учешћем, Београд, 27. и 28.
септембар, 2012. / едитори Душко Сунарић и
Драгутин Јевремовић. - Београд : Друштво
геолошких инжењера и техничара Србије, 2012
(Београд : Академска издања - принт). - [7],
614 стр. : илустр. ; 24 cm

Тираж 200. - Стр. [1-2]: Предговор / Душко
Сунарић. - Библиографија уз сваки рад. -
Summaries.

ISBN 978-86-89337-01-3

а) Геотехника - Зборници б) Инжењерска
геологија - Зборници
COBISS.SR-ID 193445132

ISBN 978-86-89337-01-3



9 788689 337013



Милош Марјановић¹, Урош Ђурић², Растко Петровић³

МОДЕЛОВАЊЕ ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА РАЗЛИЧИТИМ МЕТОДАМА У ГИС-У И ЊИХОВА ЕВАЛУАЦИЈА

Резиме: Просторно моделовање хазарда/потенцијала од клизања може се извести најразличитијим техникама у ГИС-окружењу ако су претходно дефинисани улазни подаци који довољно коректно дискретизују модел. У овом раду је извршена инспекција улазних просторних података, употребљене су различите технике просторног моделовања (експертски, физички, статистички, фазни и модели на бази машинског учења) и извршена је евалуација добијених модела (квалитативно-квантитативним анализама *ROC* кривих) на примеру СЗ падина Фрушке горе.

Кључне речи: клизишта, хазард, просторно моделовање, ГИС, *ROC* крива

LANDSLIDE HAZARD MODELING USING DIFFERENT GIS METHODS AND MODEL EVALUATION

Summary: Spatial modeling of landslide hazard/susceptibility can be achieved through versatile GIS techniques, if the input data are previously defined in such fashion that they discretize the model sufficiently well. In this article inspection of the input spatial data has been carried out, different spatial modeling techniques have been implemented (including expert-based, physical, statistical, fuzzy-based and machine-learning-based models), and final models have been evaluated (by qualitatively and quantitatively analyzing ROC curves) for NW slopes of Fruška Gora Mountain.

Keywords: landslides, hazard, spatial modelling, GIS, ROC curve

¹ дипл.инж.геол., истраживач-прип., Рударско-геол. факултет, milosgeomail@yahoo.com

² дипл.инж.геол., истраживач-прип., Рударско-геол. факултет, djuric@rgf.bg.ac.rs

³ дипл.инж.геол., стр. сарадник, Рударско-геол. факултет, rastko.petrovic@rgf.bg.ac.rs

1. УВОД

Последњих година сведоци смо повећаног интересовања за моделовање хазарда од клизишта на глобалном нивоу [1] у стручним круговима, јавном мњењу и код становништва, што доприноси повећању опште свести о проблематици везаној за клизишта и сублимацији знања о природи узрочно-последичних веза између саме појаве и њених проузроковача. Могуће објашњење оваквог тренда може се препознати у чињеници да се савремене рачунске и (гео)статистичке методе обједињавају са платформама Географског информационог система (ГИС). У том контексту се могу навести бројни успешни примери анализе хазарда од клизишта применом најразличитијих присуца, од експертских преко статистичких, стохастичких, физичких, до напреднијих концепата, попут примене фази сетова, фрактала и машинског учења. Различити приступи имају различите нивое сложености, поузданости и применљивости, али сви имају одређену сврху у досадашњој инжењерској и планерској пракси. Такође, сви они показују изразиту зависност од квалитета улазних података, примарно од катастра клизишта или сличних инжењерскогеолошких и геолошких подлога. У овом раду је приказано неколико различитих приступа моделовању хазарда од клизишта на конкретном истражном подручју у циљу објективног упоређивања тачности модела добијених различитим методама. У том контексту неопходно је истаћи да је приликом израде свих модела коришћен готово идентичан скуп улазних података и да су модели упоређивани на бази најсавременије метрике када је у питању просторно модовање, тј. *Receiver Operating Characteristics (ROC)* кривама у тзв. *ROC* простору [2].

2. ИСТРАЖНО ПОДРУЧЈЕ

Истражно подручје обухвата СЗ падине Фрушке горе и простире се од $45^{\circ}09'20''$ – $45^{\circ}12'25''$ СГШ и $19^{\circ}32'34''$ – $19^{\circ}37'46''$ ИГД. Распростира се на око 100 km^2 , а карактерише га брдовит релеф са израженом геодинамичком активносту, представљеном многобројним клизиштима различите величине и типа. Као што је истакнуто у неким од претходних истраживања [3], [4], појава клизишта највише је условљена геолошким и геоморфолошким чиниоцима, док се за главне покретаче процеса клизања могу сматрати нагле обилне падавине и флувијална ерозија. Најугроженији су најсевернији делови истражног подручја, који су изложени ерозионом дејству Дунава, где се у терцијарним формацијама налазе дубока ротациона и транслагациона клизишта.

3. УЛАЗНИ ПОДАЦИ

Улазне податке сачињавају ГИС олеате на којима су приказани катастар клизишта и одговарајући узрочни фактори.

3.1 КАТАСТАР КЛИЗИШТА

Катастар клизишта је послужио као основа за утврђивање законитости појављивања клизишта. Коришћен је само за просторну евиденцију клизишта и формиран је на основу фотогеолошке интерпретације у размери 1:50000, претходно добијене компилацијом различитих подлога посредством даљинске детекције и теренским рекогносцирањем и картирањем [5]. Катастар је дигитализован у векторском, а затим трансформисан у растерски формат са 30-метарском резолуцијом (слика 1а). Катастром је евидентирано око 50 клизишта, која заузимају приближно 10% укупне територије истражног подручја, дајући густину појаве клизишта од око 1/10 км². Најзаступљенија су дубока ротациона клизишта, чије димензије варирају од 30 до преко 1000 м по дужој оси. Сва клизишта димензија испод 30 м искључена су из даље анализе услед резолуције катастра (30 м). Дефинисане су две класе клизишта: активна клизишта и клизишта са привремено умиреним процесом, али су, ради поједностављења, ове две класе обједињене.

3.2 УЗРОЧНИ ФАКТОРИ

Узрочне факторе сачињавају различити геолошки, геоморфолошки и хидролошки чиниоци, као и чиниоци животне средине. Они су сакупљени или изведени из различитих извора и конвертовани у дигитални растерски формат 30-метарске резолуције, формирајући тако одговарајуће ГИС олеате.

Подаци о геологији добијени су компилацијом доступних геолошких карата размере 1:50000, фотогеолошке интерпретације 1:50000 и додатног теренског истраживања (реамбулације). Добијене су следеће ГИС-олеате: *Литолошке јединице*, *Удаљеност од раседних структура* и *Удаљеност од хидрогеолошких граница*.

Дигитални модел терена (ДМТ) генерисан је помоћу векторизованих топографских основа размере 1:25000, триангулационом методом. Модел је наследио 30-метарску резолуцију након конвертовања у растерски формат. На датом ДТМ-у извршени су различити морфометријски прорачуни и добијене следећи олеате: *Експозиција*, *Елевација*, *Нагиб*, *Дужина падине*, *Профилна* и *Планарна закривљеност*.

Хидролошки фактори представљени су олеатом *Удаљеност од линијских токова* (добијеном на основу векторизоване дренажне мреже) и *Топографски Индекс Влажности (ТИВ)*, који је такође срачунат као извод другог реда из ДТМ-а.

Олеата *Употреба земљишта* је, у суштини, искоришћена само да би се могла разликовати огољена/искрчена и пољопривредна подручја од подручја са вегетацијом. Добијена је употребом полуаутоматске класификационе методе *K-means* над тзв. вегетационим индексима (добијених процесирањем *Landsat ETM* канала).

Већина коришћених метода захтевала је интервенције на улазним подацима пре саме употребе, и то у виду нормализације и рекласификације интервала у којима се крећу вредности ординалних података (све изузев Индекса стабилности и *SVM*-а). Номинални подаци (*Литолошке јединице*, *Употреба земљишта*) морали су бити или произвољно рекласификовани или додатно процесирани, као у случају *SVM* модела.

4. МОДЕЛИ ХАЗАРДА ОД КЛИЗИШТА

Термин „хазард од клизишта” овде се односи на потенцијал/подложност терена клизању или суспектибилност (слоб. прев. landslide susceptibility), без временске димензије процеса, што је условно противречно дефиницији хазарда [6], али је услед језичке неусаглашености домаће и интернационалне литературе такво решење неприхватљиво. У раду је употребљено неколико метода просторног моделовања хазарда од клизања: Индекс стабилности (слоб. прев.), *Analytical Hierarchy Process (AHP)*, Условна вероватноћа, Фази скупови и *Support Vector Machines (SVM)* (слика 16-ђ). Изузев Индекса стабилности, већина поменутих метода детаљно је приказана у неким ранијим радовима аутора [3], [4], [7], [8], [9], те неће бити предмет овог приказа.

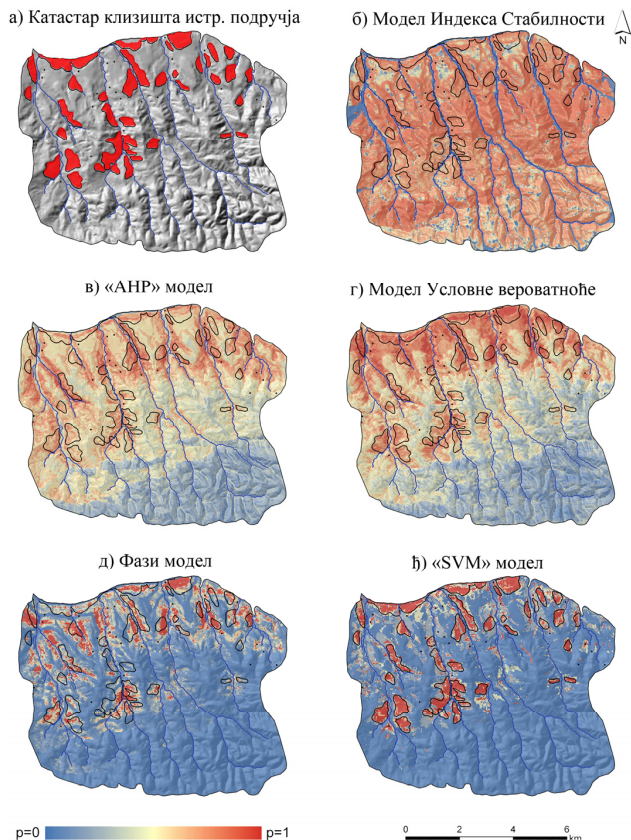
Табела 1. - Средњени параметри у различитим литолошким јединицама (регионима) ИС модела.

Table 1. - Average parameters over different lithological domains (regions) of SI model.

параметар	глина/лапор	карбонат/пешчар	шкриљац
c [kPa]	0.1–0.5	0.1–0.3	0.3–0.6
γ [kg/m ³]	2100.0	2300.0	2500.0
φ [°]	10.0–25.0	15.0–35.0	25.0–45.0
q/T [log]	500.0–1000.0	4000.0–5000.0	6000.0–7000.0

4.1 ИНДЕКС СТАБИЛНОСТИ

Концепт Индекса стабилности [10] инкорпориран је у *ArcGIS/MW-SinMap*© додатним пакетима. Представља делимично стохастички модел стабилности за случај бесконачне косине у константним хидростатичким условима, који (уз друге претпоставке) ограничавају примену овог концепта махом на примере плитких, транслационих клизишта. Раније је већ наведено да на истражном терену доминирају дубока клизишта, те су самим тим и иницијална очекивања од овог модела незнатна. Модел користи топографске податке, физичко-механичке параметре литолошких јединица (кохезију c , запреминску тежину γ и угао унутрашњег трења φ), као и приближно установљене параметре водопрпусности тла и количине падавина изражене параметром односа T/q . Коначан резултат је Индекс стабилности (ИС), који представља стохастички параметар стабилности, ако се узме у обзир да су улазни параметри дефинисани максималним/минималним интервалима и да се над њима претпоставља униформна дистрибуција. ИС је класификован на основу стандарда који се састоји од шест класа стабилности и вредност му је реципрочна вероватноћи појаве нестабилности, што је вредност ИС већа, то је и стабилност већа и обрнуто.



Слика 1- а) Катастар клизишта на истражном подручју, црвени полигони представљају клизишта (на свим осталим сликама ова иста клизишта су представљена црном контуром), hazard од клизишта је приказан на обојеној скали као вероватноћа p (0–1), скала, размерник и правац севера важе за све слике; б) Модел Индекса стабилности; в) АНР модел; г) Модел условне вероватноће; д) Фази модел; њ) SVM модел.

Figure 1- a) Landslide inventory of the study area, with landside occurrences in red polygons (contoured in black in all remaining images); Landslide susceptibility as probability p (0–1) of landslide occurrence: б) Stability Index model, в) Analytical Hierarchy Process model, г) Conditional Probability model, д) Fuzzy model, њ) Support Vector Machines model (note that the scale bars and north arrow apply for all figures equally).

За потребе овог истраживања ИС је инверзиран и нормализован како би осликавао хазард од клизања у интервалу 0 - 1. У истраживању је искоришћена једна нарочита појединост овог модела, а то је могућност регионализације улазних параметара. С обзиром на то да детаљни регионални истражни радови у циљу утврђивања физичко-механичких параметара нису извођени на датом подручју, улазни подаци, c , γ и \square су преузети из одговарајуће литературе [11]. Табела 1. сумира регионализоване улазне параметре T/q , c , γ и \square , односно њихове одговарајуће интервале вредности. Осетљивост модела је такође тестирана поступним варирањем улазних података у серијама експеримената, тако да је коначно добијен осредњен и инверзиран ИС. На моделу се већ визуелно (слика 1б) могу уочити доминантне грешке у виду прецењивања вероватноће појаве клизишта, што доводи у питање његову применљивост. Са друге стране, модел је објективан и егзактан јер се интервенција експерта своди на одабир улазних физичко-механичких параметара.

5. МЕТОД ЕВАЛУАЦИЈЕ МОДЕЛА

Receiver Operating Characteristics (ROC) представља метод евалуације заснован на балансу тзв. стопе стварних позитива (стопе погодака) – tp_{rate} и стопе лажних позитива (стопе лажних узбуна) – fp_{rate} неког модела у односу на стварно стање. Када се ова два параметра пројектују на две ортогоналне координатне осе, добија се 2D графички приказ простора који се назива *ROC* простор. *ROC* криве су једноставно криве учинка нанете у том простору на основу поменутих (tp_{rate} , fp_{rate}) координата, срачунатих у контингентној табели (Табела 2). Сматра се једним од најпогоднијих начина мерења ефикасности, односно успешности неког класификатора и стога је широко применљив у просторном моделовању [2]. Важно је напоменути да је термин вероватноћа (у контексту модела хазарда) применљив у било ком случају бодовања на скали 0 - 1 [2]. Тако су поједини модели у овом истраживању представљали праве вероватноће, док су други само сведени на поменути (0 - 1) систем бодовања након одговарајућих интервенција (инверзија, нормализација итд). На тај начин је омогућено равноправно упоређивање модела под окриљем јединствене 0 - 1 скале у *ROC* простору, што се наравно не сматра идеалним условима упоређивања, али је статистички прихватљиво [2]. Уместо коришћења самих стварних/лажних позитива директно, користе се њихове стопе, те се постиже индиферентност према дистрибуцији класа модела, тако да постаје тривијално да ли су вредности класа модела заиста вероватноће или вредности пропорционализоване 0 - 1 скалом вероватноће. Постоје и друге повољности које проистичу из употребе стопа позитива. Наиме, *ROC* приступ се добро показао на примерима неизбалансираних односа класа модела, што је чест случај у контексту хазарда од клизишта (по правилу, стабилан терен има знатно веће распрострањење у односу на клизишта), као и са моделима осетљивим на лажне узбуне. Последње и није од нарочитог интереса у контексту хазарда од клизишта, јер је ситуација управо обрнута, лажне узбуне нису тако критичне као лажни негативи. Ако се узме да модел предвиђа опасност од клизишта, а да те опасности заправо нема (лажна узбуна), штета неће бити

нарочита и дискутабилно подручје ће се избегавати или санирати из предострожности. Међутим, ако модел предвиди да је подручје безбедно, а да се на њему појави клизиште (лажни негатив), последице су далекосежније.

Најчешћи параметар који се користи за квантификацију *ROC* простора, односно евалуацију модела је Површина под кривом – ППК (слоб. прев.). ППК је изражена као удео површине криве у максималној површини *ROC* простора, па се изражава у скали 0 - 1. Што је ППК већа (ближи јединици), већи је и учинак модела и обрнуто. Карактеристике *ROC* кривих могу се користити и за квалитативну евалуацију учинка модела. Нпр. показатељ насумичног учинка је однос криве према главној дијагонали, показатељ конзервативности модела (прецењивање хазарда од клизишта) је лева асиметричност криве, док је индикатор толерантности модела (потцењивање хазарда од клизишта) десна асиметричност. Ови су показатељи корисни када треба изабрати између модела сличне или идентичне ППК, па се модели могу упоредити само квалитативно.

Табела 2. - Контигенциона табела и координате *ROC* простора.

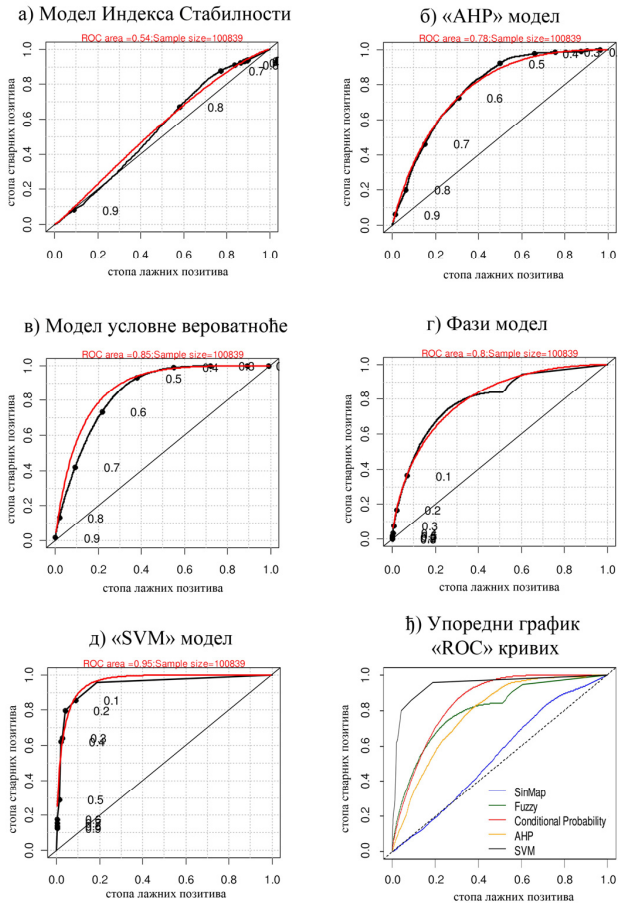
Table 2. - Contingency table and *ROC* space coordinates.

		катастар клизишта		координате <i>ROC</i> простора
		стварни	лажни	
модел	позитиви	tp (стварни позитиви)	fp (лажни позитиви)	$tp_{rate} = tp / (tp + fp)$ $fp_{rate} = fp / (fp + tp)$
	негативи	tn (стварни негативи)	fn (лажни негативи)	

6. РЕЗУЛТАТИ

Резултати овог истраживања приказани су низом *ROC* кривих за сваки модел појединачно и њиховим упоредним графиком на слици 2а–ђ.

Модел Индекса стабилности (слика 2а) је према очекивању имао слаб учинак у препознавању хазардом угрожених зона. Његова ППК (0,54) и крива која се практично поклапа са главном дијагоном указују на слаб учинак овог модела, тј. његово насумично погађање вероватноће хазарда, па се модел може одбацити као неприкладан за дато истражно подручје. ППК *AHP* модела (0,78) изненађујуће је висок, што се можда не чини евидентним при визуелној инспекцији *AHP* модела (слика 1в), те се може закључити да *ROC* параметризација иде у прилог усвајању овог модела као прихватљивог. *ROC* крива *AHP* модела (слика 2б) благо је десно асиметрична, што значи да модел није подједнако успешно препознавао шта је клизиште, а шта стабилан терен и то на штету стабилности.



Слика 2. - Учинак модела у ROC простору а) Модел Индекса стабилности; б) АНР модел; в) Модел Условне вероватноће; г) Фази модел; д) SVM модел; ж) упоредни график ROC кривих.

Figure 2 - Model performance in ROC space a) Stability Index (steady-state infinite slope model), b) Analytical Hierarchy Process, c) Conditional Probability (Weight of Evidence scoring technique), d) Fuzzy model (Gamma operator and Frequency Ratio/Cosine Amplitude for fuzzy membership estimation), e) Support Vector Machines (with Gaussian kernel), f) comparison of ROC curves.

Модел је толерантан јер преферира лажне негативе, приписујући ниске вредности вероватноће хазарда местима која су евидентно захваћена клизиштима, што је уједно и највећа мана модела. Модел Условне вероватноће (слика 2в) постигао је велику успешност у прогнози хазарда, са ППК од 0,85. *ROC* крива му је приближно симетрична, те модел нити потцењује нити прецењује хазард, већ је на том плану веома избалансиран. У прилог томе иде и чињеница да му је учинак максималан (најближи горњем левом углу *ROC* простора) у пробабилистичком сегменту криве 0,55 - 0,6 (што је релативно близу средине). Наведене карактеристике чине овај модел не само прихватљивим, већ потенцијално и једним од најпожељнијих модела за дато подручје истраживања. Фази модел је према својствима јако сличан претходном моделу и делимично *AHP* моделу (слика 2г). Оно што га разликује је изразита лева асиметричност *ROC* криве, тј. Конзервативност, која је на страни сигурности. На то првенствено указују пробабилистички интервали који махом популишу крајњи доњи леви угао *ROC* простора. Премда је ППК модела (0,8) приближна као за претходна два случаја, модел се може префереирати над *AHP* моделом услед изражене конзервативности, али и над моделом Условне вероватноће, без обзира на незнатно мању ППК. Модел даје високу тачност и при малим пробабилистичким интервалима криве (0,1 - 0,2) што се такође узима као предност. *SVM* модел (слика 2д) изразито је ефектан и превазилази све остале моделе са становишта успешности предвиђања хазарда. Достиже скоро савршену класификацију са високом вредношћу ППК (0,95). Са друге стране, и карактеристике његове *ROC* криве су повољне јер је крива солидно избалансирана, делимично лево асиметрична са концентрацијом интервала у „конзервативној” зони доњег левог сегмента *ROC* простора. Попут Фази модела достиже велику тачност и при ниским пробабилистичким вредностима интервала криве, па се може рећи да је модел у сваком погледу најбољи.

7. ЗАКЉУЧАК

Рад заокружује циклус истраживања хазарда од клизишта на датом истражном подручју, која су резултирала неколицином модела хазарда. Зарад њиховог упоређивања у *ROC* простору, неки од модела прилагођени су скали вероватноће распона 0 - 1, док су други већ представљали праву вероватноћу. Резултати упоређивања су махом потврдили очекивања, али су откривени неки значајни детаљи. Фази модел је, на пример, према ППК параметру рангиран испод модела Условне вероватноће, али је због квалитативних карактеристика своје *ROC* криве ипак у предности. Визуелном интерпретацијом или статистичком метриком зависном од дистрибуције вероватноће хазарда (као што су Процентуална тачност, Ф-скор, Капа индекс) не би било могуће утврдити такве детаље. Коначно, сви добијени резултати једнозначно подржавају избор *SVM* модела као најбољег за зонирање хазарда на датом подручју и може се промовисати као изборни модел при изради званичне карте хазарда овог подручја. Он је достигао највећу ефикасност у погледу ППК и карактеристика криве (слика 2ђ), при чему је испољио одређену дозу конзервативности, која иде на страну сигурности.

ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад је резултат пројекта финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије - ТР 36009.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008)* / Gokceoglu C, Sezer E // *Landslides* 6, 2009, 345-351.
- [2] *An introduction to ROC analysis* / Fawcett T // *Pattern Recognition Letters*, 2006, 27: 861-874.
- [3] *Regional scale landslide susceptibility analysis using different GIS-based approaches* / Marjanović M. // *Proceedings of IAEG conference (2010)*, 2-6 September 2010, Auckland, New Zealand, pp. 435-442.
- [4] *Fuzzy Approach to Landslide Susceptibility Zonation* / Marjanović M, Čaha J // *Proceedings of Dateso 2011 Workshop*, 21-23 April 2011, Pisek, Czech Republic, pp. 181-195.
- [5] *Studija: Geološki uslovi racionalnog korišćenja i zaštite prostora Fruške Gore* / Pavlović, R., Lokin, P., Trivić, B., Pešić, M., Čolić, S., Tumara, M., Marjanović, M. // *Rudarsko-geološki fakultet*, 2005, Beograd.
- [6] *Slope movement types and processes* / Varnes, D. J., In: Schuster, R.L. & Krizek, R.J. (eds.) // *Landslides, Analysis and Control, Special Report 176: Transportation Res. Board, Nat. Ac. of Sci.*, 1978, Washington, DC., pp. 11-33.
- [7] *Landslide susceptibility modelling: A case study on Fruška gora mountain, Serbia* / Marjanović M // *Geomorphologia Slovaca et Bohemica* 2009/1, 2009, 29-42.
- [8] *Landslide susceptibility assessment with machine learning algorithms* / Marjanović M, Bajat B, Kovačević M // *Proceedings of INCoS (2009)*, 4-6 November 2009, Barcelona, Spain, pp. 273-278
- [9] *Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm* / Marjanović M, Bajat B, Kovačević M, Voženilek V // *Engineering Geology*, 2011, 123/3: 225-234
- [10] *Assessing Terrain Stability in a GIS using SINMAP* / Pack R.T, Tarboton D.G, Goodwin C.N // *Proceedings of 15th annual GIS conference (2001)*, 19-22 February 2001, Vancouver, British Columbia.
- [11] *Inženjerskogeološke odlike terena NR Srbije* / Janjić M // *Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Beograd (Srbija)*, 1962., 277 p.