

UDK: 630*4:632.9(497.11)

Izvorni naučni rad *Original scientific paper*

PREDVIĐANJE PRENAMNOŽENJA GUBARA (*LYMANTRIA DISPAR*) U SVETLU KLIMATSKIH PROMENA

Dejan Stojanović¹, Milena Kresoja², Milan Drekić¹, Leopold Poljaković-Pajnik¹,
Nataša Krklec-Jerinkić², Nataša Krejić², Saša Orlović¹

Izvod: Realizacija strateških ciljeva u šumarstvu Republike Srbije neće biti jednostavno usled dejstva klimatskih promena. Insekt gubar (*Lymantria dispar* L.) je najveća štetočina lišćarskih šuma u Srbiji. Insekt gubar je takođe veoma značajna štetočina u voćarstvu. Njegovo prenamnoženja često ima karakter elementarne nepogode koja zahteva značajno angažovanje radne snage i finansijskih sredstava u cilju suzbijanja. U okviru našeg istraživanja su razvijena dva modela za predviđanje pojave gradacije (prenamnoženja) i latence (konstantne niske brojnosti populacije) gubara na osnovu klimatskih podataka za period 1888-2010, odnosno njihovih mesečnih i kvartalnih vrednosti. Modeli su zasnovani na logističkoj regresiji. U MODELU I su korišćene srednje mesečne temperature iz oktobra godine koja prethodi pojavi, temperature iz januara i marta, i padavine iz maja, dok su u MODELU II uzete srednje temperature prvog kvartala i padavina drugog kvartala. Ukupna klasifikacija modela je iznosila preko 70%, dok je predikcija pojave godine sa gradacijom na osnovu MODELA I iznosila čak 86%. Rezultati ovog istraživanja (modeli koji se mogu primenjivati u realnom vremenu) će doprineti boljem donošenju odluka u vezi sa gazdovanjem šumama i zaštitom šuma od gubara u Republici Srbiji i regionu.

Ključne reči: klimatske promene, šumarstvo, logistička regresija, gradacija, latence, gubar

¹ dr Dejan Stojanović, naučni saradnik (dejan.stojanovic@uns.ac.rs), dr Milan Drekić, naučni saradnik, dr Leopold Poljaković-Pajnik, naučni saradnik, dr Saša Orlović, redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Institut za nizijsko šumarstvo i životnu sredinu, Novi Sad, Republika Srbija ² Milena Kresoja, istraživač-saradnik, dr Nataša Krklec-Jerinkić, docent, dr Nataša Krejić, redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za matematiku i informatiku, Novi Sad, Republika Srbija

¹ dr Dejan Stojanović, Research fellow (dejan.stojanovic@uns.ac.rs), dr Milan Drekić, Research associate, dr Leopold Poljaković-Pajnik, Research associate, dr Saša Orlović, Full professor, University of Novi Sad, Institute of lowland forestry and environment, Novi Sad, Republic of Serbia; ² Milena Kresoja, Research assistant, dr Nataša Krklec-Jerinkić, Assistant professor, dr Nataša Krejić, Full professor, University of Novi Sad, Faculty of Sciences, Department of mathematics and informatics, Novi Sad, Republic of Serbia

PREDICTION OF GYPSY MOTH (*LYMANTRIA DISPAR*) OUTBREAKS UNDER CLIMATE CHANGE

Dejan Stojanović¹, Milena Kresoja², Milan Drekić¹, Leopold Poljaković-Pajnik¹, Nataša Krklec-Jerinkić², Nataša Krejić², Saša Orlović¹

Abstract: Achieving the strategical goals in forestry of Republic of Serbia will not be easy in the light of climate change. Gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) is the most economically significant and abundant pest in deciduous forests in Serbia. It is also very important pest in fruit orchards. His outbreak often has the character of a natural disaster that requires a significant commitment of manpower and financial resources in order to suppress it. We developed two models for predicting the occurrence of gradation (outbreak) and latency of gypsy moth population on the basis of monthly and quarterly values of climatic data for the period 1888-2010. The models were based on logistic regression. In the MODEL I, we have used the mean monthly temperatures from October of the year preceding event, temperature in January and March, and the rainfall in May, while in MODEL II, taken were mean temperatures of the first quarter and sum of the precipitation of the second quarter. Overall classification accuracy of the models were above 70%, while the prediction of outbreak based on MODEL I was 86%. The results of this study (models that can be applied in real time) can contribute to better decision-making in relation to forest management and protection of forests from gypsy moth in Republic of Serbia and wider.

Key words: climate change, forestry, logistic regression, gradation, latency, Gypsy moth

UVOD

Gubar (*Lymantria dispar* L.) je najveća štetočina lišćarskih šuma u Srbiji. On je takođe veoma značajna štetočina u voćarstvu (Mihajlović et al., 2004). Prenamnoženja ovog insekta često imaju karakter elementarne nepogode koja zahteva ogromno angažovanje radne snage i finansijskih sredstava za njegovo suzbijanje. Glavna karakteristika ove štetočine je pojava cikličnih gradacija (prenamnoženja). Napadi gubara u protekloj deceniji su bili visokog inteziteta sa trendom povećanja zahvaćenih površina šuma. Pretpostavka je da se sa porastom temperatura i promenom režima padavina, usled klimatskih promena, ovaj problem može drastično uvećati.

Prenamnoženja gubara obično traju od 3 do 6 godina. U periodu od 1862. godine, od kad se prati na području naše zemlje, do danas bilo je 18 registrovanih gradacija. Nauka još uvek nije utvrdila razlog nastanka gradacija. Poslednja gradacija gubara u Srbiji je trajala od 2011. do 2014. godine obuhvatila je 340 000 hektara šuma (Izveštaji Prognozno-izveštajne službe Uprave za šume, 2000-2016).

Gubar je tipična fiziološka štetočina i štete pričinjavaju gusenice. Gusenice gubara se hrane asimilacionim organima gotovo svih drvenastih (lišćari, četinari, voćke) i žbunastih biljnih vrsta, pa čak i nekih zeljastih, a jedino izbegavaju lišće

vrsta iz roda *Fraxinus* (Mihajlović, 2008). Najomiljenija hrana im je lišće hrastova, a naročito cera (Milanović, 2011). U šumama golobrst gubara dovodi do smanjenja prstena prirasta, slabljenja vitalnosti stabala, ulančavanja šteta, i pojave sušenja šuma. Proučavanje uzroka nastanka gradacija i klimatskih uslova koji pogoduju pojavi prenamnoženja od velikog je značaja za preventivno delovanje i pravovremenu organizaciju njegovog suzbijanja u početnim fazama prenamnoženja kada je napad insekta prisutan na manjih površinama.

Cilj rada je da se na osnovu dostupnih podataka o godinama kada je dolazilo do prenamnoženja gubara i podataka o klimi kreira model koji će za osmotrene klimatske podatke predvideti moguće prenamnoženje gubara.

MATERIJAL I METODE

Predviđanje prenamnoženja gubara i ispitivanje uticaja klimatskih promena na pojavu gradacije modelirano je primenom modela logističke regresije (Agresti, 1990; Collet, 1991;). Model binarne logističke regresije pretpostavlja da je zavisna varijabla (Y) binarna tj. da ima samo dva ishoda (0 ili 1). Neka je verovatnoća da će Y primiti vrednost 1 u zavisnosti od uticaja nezavisnih varijabli (x) koje su uključene u model u model označena se sa $p(x) = P(Y = 1 \vee x)$. Tada se logistička funkcija može izraziti sa

$$\ln\left(\frac{p(x)}{1-p(x)}\right) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n = \beta^T x,$$

pa je verovatnoća da Y primi vrednost 1 određena sa

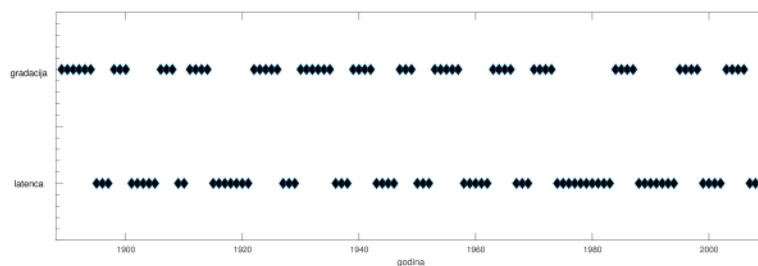
$$p = \frac{e^{\beta^T x}}{1 + e^{\beta^T x}}.$$

Pomoću dostupnih podataka (srednjih mesečnih temperatura i padavina za grad Beograd) formirana su i ocenjena dva modela. Zavisna varijabla je bila ista u oba modela i predstavlja stanje populacija gubara (gradacije - prenamnoženje ili latence - konstantne niske brojnosti populacije) u vremenskom periodu od 1888-2010 na području naše zemlje. Zavisna varijabla ima vrednost 1 ukoliko je u godini bilo stanje gradacije, a 0 ukoliko je stanje latence zabeleženo u datoj godini. Modeli se razlikuju u izboru nezavisnih varijabli. U prvi model uključene su prosečne temperature i sume mesečnih padavina (MODEL I). U drugom modelu uključene su prosečne temperature po kvartalima (decembar, januar, februar - DJF, mart, april, maj - MAM, jun, jul, avgust - JJA, septembar, oktobar, novembar - SON) i suma padavina po istim kvartalima (MODEL II). U oba slučaja uzet je vremenski opseg od juna godine koja je prethodila pojavi do maja godine u kojoj je zabeležena pojava (gradacija ili latenca gubara).

Selekcija varijabli određena je pomoću Forward Wald metoda. Pomoću ovog metoda varijable se uklanjaju iz modela na osnovu verovatnoće Wald metoda (Cerqueira et al., 2009; McLeod i Xu, 2014). Pomoću ovog metoda varijable se uklanjaju iz modela na osnovu verovatnoće Wald statistike. Rezultati regresije predstavljeni su kao ocenjeni koeficijenti (B), standardne greške ocenjenih koeficijenata (S.E), Wald statistike (Wald), statističke značajnosti (Sig.) i odnosa šanse (O.R.). Vrednosti O.R koje su veće od 1 ukazuju na pozitivnu asocijaciju između nezavisne varijable i prediktora, odnosno uticaj prediktora povećava verovatnoću za pojavu gradacije. Omnibus testa koeficijenata modela i Hosmer-Lemeshow test su sprovedeni da bi se testirao učinak modela i uporedio sa modelom koji ne sadrži nijednu od navedenih nezavisnih promenljivih.

REZULTATI

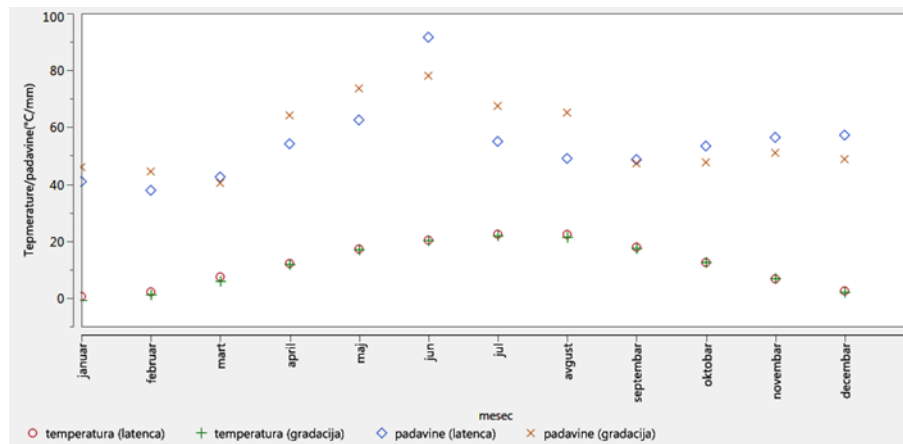
U posmatranom periodu 1888-2010 zabeleženo je 59 godina u kojima je bilo gradacije gubara i 64 godine latence (Slika 1).



Slika 1. Grafički prikaz pojave gradacije i latence populacija gubara (period 1888-2010)

Figure 1. Graphical representation of Gypsy moth population gradations and latency period

Nije bilo očiglednih razlika između temperatura u godinama gradacije i latence, ali je u sumi padavina bilo određenih varijacija (Slika 2.). Sume padavina su bile niže u aprilu, maju, julu i avgustu, a više u junu u godinama letence u poređenju sa godinama gradacije.



Slika 2. Srednje mesečne temperature (donje tačke) i srednja suma mesečnih padavine (gornje tačke) u godinama latence i gradacije gubara (period 1888-2010)
Figure 2. Mean monthly temperatures (upper graph) and mean sum of monthly precipitation (lower graph) during the years of Gypsy moth latency and outbreaks

Tabela 1. Rezultati modela logističke regresije

Table 1. Logistic regression models results

Variable	MODEL I				MODEL II	
	Temperatura januar <i>Temperature January</i> (°C)	Temperatura mart <i>Temperature March</i> (°C)	Temperatura oktobar <i>Temperature October</i> (°C)	Padavine maj <i>Precipitation May</i> (°C)	Temperatura 1.kvartal <i>Temperature 1st quarter</i> (°C)	Padavine 2.kvartal <i>Precipitation 1st quarter</i> (°C)
B	0,157	0,287	0,298	0,010	0,220	0,007
S.E.	0,076	0,105	0,128	0,006	0,101	0,112
Wald	4,244	7,443	5,415	7,214	4,748	4,018
Sig.	0,039	0,006	0,020	0,007	0,029	0,045
O.R.	1,170	1,332	1,347	1,010	1,246	1,007

Omnibus test koeficijenata modela ukazuje da su generisani modeli značajno bolji od modela koji sadrži samo konstantu, odnosno modela koji nema nijednu od navedenih nezavisnih promenljivih (MODEL I: $\chi^2(4) = 21,749$, $p = 0,000$; MODEL II: $\chi^2(2) = 8,438$, $p = 0,015$). Učinkovitost modela je potvrđena Hosmer-Lemeshow testom (MODEL I: $\chi^2(8) = 5,025$, $p = 0,755$; MODEL II: $\chi^2(8) = 8,579$, $p = 0,379$). Rezultati logit modela predstavljeni su u Tabeli 1. Kada je u pitanju MODEL I, kao statistički značajni prediktori izdvajaju se temperature u oktobru godine koja je prethodila pojavi, januaru, martu i kao i padavine u maju tekuće godine. Povećanje prosečnih temperature i padavina u navedenim mesecima povećava šanse za prenamnoženje gubara. U MODELU II kao značajni prediktori prenamnoženja gubara izdvojili su se prosečna temperatura prvog kvartala (DJF)

kao i padavine drugog kvartala (MAM). Povećanje prosečne temperature u prvom kvartalu i sume padavina u drugom kvartalu povećava šanse za prenamnoženje gubara.

Pomoću MODEL A I moguće je tačno objasniti 61,0% pojava latenci i 86,0% gradacija dok je MODEL A II moguće objasniti 70,0% pojava latenci i 76,2% gradacija (Tabela 2).

Tabela 2. Ispravna klasifikacija pojave (latence ili gradacije) pomoću modela na osnovu klimatskih podataka (1888-2010)

Table 2. Correct classification of event (latency or gradation) according to the models based on available climate data (1888-2010)

	MODEL I	MODEL II
Latencia <i>Latency</i>	61,0%	70,0%
Gradacija <i>Gradation</i>	86,0%	76,2%
Ukupno <i>Total</i>	73,8%	72,8%

DISKUSIJA

Rezultati ovih istraživanja su pokazali da upotreba isključivo srednjih mesečnih temperatura i padavina može objasniti preko 70% pojave latence i gradacije, ili čak 86% samo za gradaciju pomoću MODEL A I, koji uzima u obzir temperature u oktobru godine pre pojave i januaru, martu, kao i padavine u maju godine pojave. Ovi rezultati daju odličan osnov da se nastavi sa razvojem prediktivnih modela koji će pomoći boljem preventivnom delovanju i značajnim finansijskim uštedama.

U protekloj deceniji, pored izrazitih suša i požara, veliku štetu šumama u našem regionu naneo je i gubar. Masovnija pojava gubara zabeležena je 2004., kao i 2013. i 2014. godine (Tabaković-Tošić, 2006, 2011; Izveštaji Prognozno-izveštajne službe prema Upravi za šume, 2000-2016). Konačno, kao primer ekonomskih gubitaka usled sušenja šuma i drugih nepovoljnih uticaja, može da posluži trend porast gubitaka u poslovanju JP "Vojvodinašuma" u proteklih 15 godina, a koje je vezano za sušenje. Prosečni godišnji gubici u periodu 2000-2014 prevazilazili su 50 miliona dinara (Druga nacionalna komunikacija, nacrt). U Vojvodini se konstantno prate populacije gubara od strane Prognozno-izveštajne službe (Pap et al., 2015). Beleže se podaci vezani za zahvaćene površine, napadnute vrste drveća, brojnost populacije gubara, međutim, do sad nisu korišćeni napredni analitički modeli koji bi ukazali na određene veze između klimatskih i stanišnih uslova i pojavu gubara. Takva istraživanja mogu umnogome pomoći u boljoj prevenciji pojave pranamnoženja koje, kada se dogodi, nanosi velike ekonomske štete, a koje je moguće umanjiti preventivnim delovanjem.

Bitnu ulogu u redukciji populacija gubara ima entomopatogena gljiva, *Entomophaga maimaiga*, koja je introdukovana u Bugarsku 1999., a kasnije zabeležena u Srbiji (Tabaković-Tošić et al., 2012), Bosni i Hercegovini (Milotić et al., 2015) i drugim evropskim zemljama (Zúbrik et al., 2016). Takođe, pristup suzbijanja gubara pomoću feromonskih klopki je prepoznat kao mogućnost za smanjenje populacije, ukupnih troškova i štete (Milanović, 2005).

Upotreba modernih alata u praćenju i suzbijanju gubara, prepoznata je u smislu potrebe primene geografskog informacionog sistema (Mihajlović et al., 2005) i primene prediktivnih modela (Pernek et al., 2008). U svetu se radi i na upotrebi satelitskih snimaka visoke vremenske rezolucije u cilju prepoznavanja područja zahvaćenih gradacijom gubara (De Beurs i Townsend, 2008; Spruce et al., 2011). Ono što postaje jasno je da će dugoročno najbolji rezultat dati uključivanje što je moguće većeg broja podataka u modele (meteoroloških osmatranja, detaljne tipologije šuma, osmatranja pomoću daljinske detekcije, prostornih podataka sa terena, itd.). Rezultati ovog rada predstavljaju preliminarna istraživanja, koja će biti proširena uključivanjem drugih faktora u cilju dobijanja što realnijeg i tačnijeg modela.

Preporuka koja proizilazi iz našeg rada je dalje usavršavanje prediktivnih modela koji bi nam dali mogućnost za bolje predviđanje gradacija gubara i bolju prevenciju nastanka milionskih šteta u šumama.

Rezultate ovog istraživanja biće moguće koristiti prilikom donošenja odluka u vezi sa gazdovanjem šumama i politikama zaštite šuma u nadležnom Ministarstvu u Republici Srbiji, Pokrajinskom Sekretarijatu u Autonomnoj Pokrajini Vojvodini i nadležnim javnim preduzećima (JP „Srbijašume“, JP „Vojvodinšume“ i nacionalnim parkovima) kao glavnim upravljačima šuma u našoj zemlji. Može se očekivati da će primenljivost rezultata ovog istraživanja biti na nivou regiona.

ZAKLJUČAK

U okviru istraživanja su razvijena dva modela za predviđanje pojave gradacije i latence gubara.

U MODELU I su u obzir uzete srednje mesečne temperature iz oktobra godine koja prethodi pojavi, temperature iz januara i marta, i padavine iz maja tekuće godine.

U MODELU II su u obzir uzete srednje temperature prvog kvartala i padavina drugog kvartala.

Ukupna klasifikacija modela je iznosila preko 70%, dok je predikcija pojave godine sa gradacijom na osnovu MODELA I iznosila čak 86%.

Korišćenje predikcija modela će doprineti boljoj zaštiti šuma, smanjenju i prevenciji šteta.

Zahvaljnica

Ovaj rad je realizovan u okviru projekata: „Razvoj modela za predviđanje prenamnoženja gubara (*Lymantria dispar*) u svetlu klimatskih promena“ koji finansira Pokrajinski sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj za period 2016-2017 godina i projekta „Istraživanje klimatskih promena na životnu sredinu: praćenje uticaja, adaptacija i ublažavanje“ (43007) koji finansira Ministarstvo za prosvetu i nauku Republike Srbije u okviru programa Integriranih i interdisciplinarnih istraživanja za period 2011-2017. godine.

LITERATURA

- Agresti, A. (1990): Categorical Data Analysis. New York: John Wiley
Collet, D. R. (1991): Modeling Binary Data. Chapman & Hall, London
De Beurs, K. M., Townsend, P. A. (2008): Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS. Remote Sensing of Environment 112(10): 3983-3990.
- Uprava za šume: Izveštaji Prognozno-izveštajne službe, 2000-2016.
McLeod, A. I., Xu, C. (2014): bestglm: Best Subset GLM. R package version 0.34.
Mihajlović, L. J., Tabaković-Tošić, M., Jančić, G., Jovanović, V. (2004): Gubar najopasnija štetočina naših šuma i voćnjaka. Publikacija MPŠV Javno preduzeće „Srbijašume“, Beograd: 5-18.
Mihajlović, L., Marković, N., Milanović, S. (2005): Need for and application of geographic information system in forest protection against gypsy moth. Biljni lekar 33(6): 626-631.
Mihajlović, Lj. (2008): Gubar (*Lymantria dispar* L.)(Lepidoptera, Lymantriidae) u Srbiji. Šumarstvo 1-2: 1-26.
Milanović, S. (2005): Potential use of sexual pheromones in forest stand protection against gypsy moth. Biljni lekar 33(1): 51-56.
Milanović, S. (2011): Razviće gubara (*Lymantria dispar* L.) (Lepidoptera, Lymantriidae) na različitim vrstama hrastova u Srbiji. Beogradski Univerzitet. Disertacija.
Milanovic, S., Lazarevic, J., Popovic, Z., Miletic, Z., Kostic, M., Radulovic, Z., ... , Vuleta, A. (2014): Preference and performance of the larvae of *Lymantria dispar* (Lepidoptera: Lymantriidae) on three species of European oaks. European Journal of Entomology 111(3): 371.
Milotić, M., Mujezinović, O., Dautbašić, M., Treštić, T., Pilarska, D., Diminić, D. (2015): First record of gypsy moth entomopathogenic fungus *Entomophaga maimaiga* Humber, Shimazu & RS Soper in Bosnia and Herzegovina. Šumarski list: znanstveno-stručno i staleško glasilo Hrvatskoga šumarskog društva 1: 59-67.
Pap, P., Drekić, M., Poljaković-Pajnik, L., Marković, M., Vasić, V. (2015): Forest health monitoring in Vojvodina in 2015. Topola 195/196: 117-133.

- Pernek, M., Pilas, I., Vrbek, B., Benko, M., Hrasovec, B., Milkovic, J. (2008): Forecasting the impact of the Gypsy moth on lowland hardwood forests by analyzing the cyclical pattern of population and climate data series. *Forest Ecology and management* 255(5): 1740-1748.
- Spruce, J. P., Sader, S., Ryan, R. E., Smoot, J., Kuper, P., Ross, K., ... , Hargrove, W. (2011): Assessment of MODIS NDVI time series data products for detecting forest defoliation by gypsy moth outbreaks. *Remote sensing of environment* 115(2): 427-437.
- Tabaković-Tošić, M., Georgiev, G., Mirchev, P., Tošić, D., Golubović-Ćurguz, V. (2012): *Entomophaga maimaiga* – new entomopathogenic fungus in the Republic of Serbia. *Afr J Biotechnol* 34: 8571–8577.
- Tabaković-Tošić, M. (2005): A new gypsy moth outbreak in Serbia. *Biljni lekar* 33: 44–50.
- Tabaković-Tošić, M. (2006): Monitoring abundance, population vitality and control of gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) in Serbia during 2003-2005. *Biljni lekar* 34(3): 209-217.
- Zúbrik, M., Hajek, A., Pilarska, D., Špilda, I., Georgiev, G., Hrašovec, B., ... , Saniga, M. (2016): The potential for *Entomophaga maimaiga* to regulate gypsy moth *Lymantria dispar* (L.)(Lepidoptera: Erebidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*.

Summary

PREDICTION OF GYPSY MOTH (*LYMANTRIA DISPAR*) OUTBREAKS UNDER CLIMATE CHANGE

by

Dejan Stojanović, Milena Kresoja, Milan Drekić, Leopold Poljaković-Pajnik, Nataša Krklec-Jerinkić, Nataša Krejić, Saša Orlović

*Achieving the earlier set goals in forestry will not be easy in the light of global and climate change. Gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) is the most economically significant and abundant pest in deciduous forests in Serbia. It is also very important pest in fruit orchards. His outbreak often has the character of a natural disaster that requires a significant commitment of manpower and financial resources in order to suppress it. We developed two models for predicting the occurrence of gradation (outbreak) and latency of gypsy moth population on the basis of monthly and quarterly values of climatic data for the period 1888-2010. The models were based on logistic regression. Independent variables were ranked according to Wald method. The most significant variables from the pool were included in the*

model. Pool of variables consisted of mean monthly and quarterly temperatures and sum of precipitation for the same periods. Taken window were from June of year prior to the event, to the May of current year event. Quarters were divided into seasons (DJF, MAM, JJA, SON).

In the MODEL I, we have used the mean monthly temperatures from October of the year preceding event, temperature in January and March, and the rainfall in May, while in MODEL II, taken were mean temperatures of the first quarter (DJF) and sum of the precipitation of the second quarter (MAM). Overall classification accuracy of the models were above 70%, while the prediction of the outbreak based on MODEL I was 86%. The results of this study (models that can be applied in real time) can contribute to better decision-making in relation to forest management and protection of forests from gypsy moth in Republic of Serbia and wider.