

АЛОХТОНИ ИНВАЗИВНИ ПАТОГЕНИ ШУМСКОГ ДРВЕЋА – УТИЦАЈ ПРОМЕНЕ КЛИМЕ И ГЛОБАЛНЕ ТРГОВИНЕ

МИЛИЦА ЗЛАТКОВИЋ¹
ИВАН МИЛЕНКОВИЋ¹
НЕНАД КЕЧА¹
ДРАГАН КАРАЦИЋ¹

Извод: Циљ овог рада јесте да укаже на везу између климатских промена, трговине и болести шумског дрвећа, као и на потенцијални утицај промене климе и глобализације светске трговине на шумске патогене, биљке домаћине, инсекте векторе и њихову међусобну интеракцију. Глобализација трговине представља све већи ризик од уноса патогена у нова подручја. Измењене климатске прилике могу пружити патогену повољне услове и то директно, подстичући његов развој и опстанак кроз промене у физиологији и одбрамбеном систему биљке домаћина, разне стресове који биљку чине подложнијом нападу патогена и индиректно, променом у бројности инсеката вектора, суперпаразита и антагониста. Климатске промене и глобализација трговине могли би позитивно, негативно или уопште не утицати на одређене болести шумског дрвећа. Промена климе могла би фаворизовати неке врло опасне патогене и битно утицати на здравље шума. Климатске промене и све већи промет робе и путника могу подстаћи инвазије алохтоних патогена, што може довести до појаве нових епифитоција.

Кључне речи: Инвазивни алохтони патогени, шумски патогени, промена климе, глобализација трговине.

INVASIVE ALIEN FOREST PATHOGENS – IMPACTS OF CLIMATE CHANGE AND GLOBAL TRADE

Abstract: The aim of this paper was to present the relationship between climate, global trade and forest diseases and the potential effects of predicted climate change and increase in world trade on forest pathogens, plant hosts, insect vectors and their interaction. Global trade presents severe and increasing risk of transfer of plant pathogens. Climate change adds further opportunities for pathogen establishment and impact, both directly by providing increased survival and growth opportunities for pathogens, through physiological changes in tree defenses, environmental stresses that are making trees more vulnerable to pathogens and indirectly by the changes in the abundance of insect vectors of tree pathogens, super parasites and antagonists. The effects of climate change and global trade could have positive, negative or no impact on individual forest diseases. Climate change could favor some highly damaging pathogens and have considerable and widespread impact on forest health. Climate change and the increase in world trade and human movement may facilitate invasions by alien pathogens which may lead to new epidemics.

Key words: Invasive alien pathogens, forest pathogens, climate change, global trade.

1 дипл. инж. Милица Златковић, истраживач-сарадник; дипл. инж. Иван Миленковић, истраживач-сарадник; др Ненад Кеча, ванредни професор; др Драган Караџић, редовни професор; Универзитет у Београду - Шумарски факултет, Београд

1. УВОД

Шуме покривају скоро једну трећину земљине површине (Dukes, J.S. et al., 2009), а патогени су важан део шумских екосистема. Страни (алохтони) патогени јесу врсте које живе изван свог природног ареала и случајно су или намерно унете у ново подручје (Nentwig, W., Josefsson, M., 2010), нпр. *Cryphonectria parasitica* (Murrill) Barr, гљива која је уз помоћ човека унета најпре у Америку, а затим из Америке у Европу, угрозила је опстанак кестена на овим континентима (Ewans, H., 2008). Број страних врста на једном подручју повећава се из године у годину, чему значајно доприносе промена климе, глобализација трговине и све већи промет путника међу континентима (Brasier, C., 2005).

Алохтоне врсте се могу поделити у две категорије (Nentwig, W., Josefsson, M., 2010): а) стране врсте са других континената, које су се одједном појавиле, најчешће уз помоћ транспорта робе и које се почињу ширити, нпр. *Cryphonectria parasitica* (Murrill) Barr., *Ophiostoma novo-ulmi* Brasier; б) аутохтоне врсте које су се прошириле на нова подручја, нпр. ка северу Европе због топлије климе и других повољних услова - *Mycosphaerella pini* E. Rostrup (n.f. *Dothistroma septosporum* (G. Dorogué) Morelet).

Страна врста која успешно колонизује ново подручје и шири се надјачавајући аутохтоне врсте и причињавајући економске и/или еколошке штете, дефинише се као инвазивна (Masters, G., Norgrove, L., 2010). Свака страна врста није аутоматски и инвазивна. Стране врсте које не чине штете дефинишу се као егзотичне или алохтоне (Dukes, J.S. et al., 2009; Nentwig, W., Josefsson, M., 2010).

Алохтоне инвазивне врсте припадају свим познатим таксономским царствима, чак и вирусима (Masters, G., Norgrove, L., 2010), а сматра се да би од два милиона до сада описаних врста 10% (200.000 врста) у будућности могло постати инвазивно. Шумски патогени као инвазивне врсте заједно са променом климе, променом начина коришћења земљишта и променама у циклусу азота и угљеника, сматрају се једним од четири узрока глобалног губитка биодиверзитета (Kadović, R., Medarević, M., 2007; Vanhannen, H., 2008; Kenis, M., Branco, M., 2010; Masters, G., Norgrove, L., 2010). Због бројних екосистемских функција и дуговечности, шуме су посебно подложне нападу инвазивних алохтоних патогена.

Циљ овог рада је да пружи синтезу информација о утицају страних инвазивних патогена и промене климе на шумске екосистеме, утицају промена у осетљивости и распрострањењу биљака домаћина на шумске патогене, као и глобалне трговине и климатских промена на појаву, развој, репродукцију, агресивност, вирулентност, опстанак и ширење патогена.

2. МЕТОД РАДА

Извршена је анализа нових резултата истраживања представљених у различитим публикацијама, монографијама, стручним радовима, зборницима радова са научних конференција и симпозијума и другој доступној литератури, која се односи на проблематику алохтоних инвазивних врста. База података Европске и меди-

теранске организације за заштиту биља (EPPO) такође је коришћена као извор најновијих информација. У тексту је дат осврт на могућност прогнозе појаве инвазивних шумских патогена у одређеним деловима света у зависности од претпостављене промене климатских услова, као и на проблеме који се срећу при покушају предвиђања утицаја промене климе и глобалне трговине на појаву и ширење инвазивних шумских патогена.

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Шумски патогени показују знатна годишња варирања у погледу појаве и јачине заразе, што се најчешће приписује променљивим временским приликама (L o n d s a l e, D., G i b b s, J. N., 1996). Због тога што су патогени поиклотермни организми који заразе остварују на поиклотермним домаћинима, а влага је често неопходна за процес инфекције, размножавање и ширење на нова подручја, промене климатских прилика као што су температура и количина падавина, могле би утицати на промене у њиховим животним циклусима. Под утицајем глобалне промене климе неки опасни патогени би могли ишчезнути, док би други могли имати повољније услове за развиће у новом климатском окружењу. Тако би више просечне температуре (укључујући и више просечне температуре земљишта) и краће и блаже зиме могле поспешити развој и репродукцију патогена и проширити њихов ареал распрострањења ка већим географским ширинама и већим надморским висинама (M a s t e r s, G., N o r g r o v e, L., 2010).

Сматра се да ће се ареал распрострањења термофилне рђе *Melampsora allii-populina* Klebh. са вишим летњим температурама проширити ка северу Европе. Ова рђа се и иначе током благих зима, са температурама вишим од просечних за то доба године, редовно среће на већим географским ширинама у односу на њен уобичајени ареал распрострањења (L o n d s a l e, D., G i b b s, J. N., 1996). Појава рђе на северу Европе могла би да донесе велике економске губитке шумарству Скандинавских земаља, због бројних плантажа осетљивих топола које се у њима гаје. *Phytophthora cinnatomi* Ronds би се са глобалним повећањем температуре такође могла проширити ка северу и истовремено постати активнија у континенталном делу Европе (B r a s i e r, C., 1996). Ареал паразитне гљиве *Mycosphaerella pini* проширио се последњих година ка већим географским ширинама, те је њено присуство недавно забележено и у Норвешкој (S o l h e i m, H., V u o r i n e n, M., 2011). Ареал *Diplodia pinea* (Desmas.) J. Kickx (syn. *Sphaeropsis sapinea* (Fr.: Fr.) Dyko i Sutton, морфотип А), којој погодују топле временске прилике, почео се ширити од јужне ка северној Европи, те се гљива јавила и у Естонији у јесен 2007. године (H a n s o, M., D r e n k h a n, R., 2009). Северну границу распрострањења гљиве *Biscogniauxia mediterranea* (De Not.) O. Kuntze, проузроковача углене болести храстова, донедавно је чинила јужна Тасманија (V e t t r a i n n o, A. M. et al., 2002). Међутим, 2006. године ова болест је откривена у Словенији, 350 километара североисточно од Тасманије, што указује на то да би промена климе могла довести до даљег ширења гљиве ка већим географским ширинама (J u r c, D., O g r i s, N., 2006). Промене у температури и количини падавина могле би довести и до проширења ареала инвазивне фитопатогене нематодe *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner i

Buhrer) Nickle ka северу, док би се у јужним деловима распрострањења јачина заразе могла повећати (M o o r e, B., A l l a r d, G., 2008).

Репродуктивна способност имела често је ограничена ниским температурама, те би глобално загревање могло проширити њихов ареал ка већим географским ширинама и надморским висинама (K l i e j u n a s, J. T., et al. 2008). Тако су топле зиме довеле до појаве беле имеле (*Viscum album* L.) у Финској и појаве *Viscum album* ssp *austriacum* на већим надморским висинама Швајцарских Алпа. Наиме, D o b e r t i n, M. et al., (2005) утврдили су да се бела имела 2005. године могла наћи на надморској висини од 1.250 метара, што је 200 метара више у односу на надморску висину 1.000-1.100 метара на којој се имела могла наћи на Алпима пре 100 година.

Chalara fraxinea Kowalski (s.f. *Hymenoscyphus pseudoalbidus* Queloz), нова врста описана 2006. године у Пољској (K o w a l s k i, T., 2006), која се интензивно шири Европом може бити природна компонента заједнице микрогљива *Fraxinus excelsior* L. чију је патогеност покренула промена услова спољашње средине (V a s a i t i s, R., L y g i s, V., 2008; K o w a l s k i, T., H o l d e n r i e d e r, O., 2009b). Али, сматра се и да је можда реч о криптичним врстама, тј. *C. fraxinea* може бити нова, инвазивна врста која се по морфолошким карактеристикама не разликује од врсте аутохтоне у Европи и која са променом климе постепено осваја нова подручја (V a s a i t i s, R., L y g i s, V., 2008). Знање о механизму инфекције и биологији гљиве још увек је оскудно, али би топлији и дужи вегетациони период могао повољно утицати на даље ширење ареала *C. fraxinea* (S o l h e i m, H., 2008), мада би патогеност ове гљиве на југу Европе могла бити ограничена вишим температурама (J u r c, D., лична комуникација).

Убрзани развој патогена и дужа вегетациона сезона могли би резултовати већим бројем животних циклуса и самим тим већом количином инокулума полицикличних патогена (C o a k l e y, S.M. et al., 1999), какве су врсте из рода *Phytophthora*. Такође, већа количина биомасе и спорија разградња шумске простирке услед веће количине CO₂ у атмосфери и успешнијег презимљавања патогена због блажих зима, могли би довести до веће количине почетног инокулума у пролеће (C o a k l e y, S.M. et al., 1999).

Најзначајнији утицаји климатских промена на инвазивне шумске патогене могли би се огледати у промени учесталости и интензитета екстремних климатских прилика које нарушавају стабилност шумских екосистема чинећи их пожељном „храном“ за шумске патогене. Нпр., све мања количина падавина, честе суше и више топлих дана у години у шумама Медитерана повећавају опасност од појаве пожара. Опожарене површине могу отворити врата новим алохтоним патогенима или активирати паразитну фазу већ присутних микроорганизама.

Промена начина коришћења земљишта такође је значајан фактор који би могао утицати на појаву и распрострањење алохтоних инвазивних врста (M a s t e r s, G., N o r g r o v e, L., 2010). Глобално повећање температуре могло би довести до појаве пољопривредних површина на већим надморским висинама и већим географским ширинама, што би могло довести до смене биљних заједница, а самим тим и заједница патогена на овим просторима. Истовремено би шумске фитоценозе, осетљиве на високе температуре, потражиле уточиште на већим над-

морским висинама, заједно са дрвећем којем би ово загревање погодовало. То би у низинама могло довести до осиромашења биодиверзитета, између осталог и због нарочите рањивости преосталих фитоценоза према новонасељеним термофилним патогенима.

Промена околности у којима се одвија животни циклус патогена, може бити ограничавајући фактор даљег опстанка неке биљне врсте на одређеном подручју, али и покретач развоја стабилне, здраве шумске фитоценозе, уколико би се нове временске прилике негативно одразиле на даљи развој одређене биљне болести. Последице нових климатских услова могле би се огледати и у промени физиологије биљке кроз њену већу осетљивост према одређеном патогену (Chakraborty, S. et al., 1998). Више температуре и честа изложеност стабала стресу од суше могли би физиолошки ослабити биљку и предиспонирати је за напад паразита слабости, како аутохтоних, тако и инвазивних алохтоних (нпр. врсте из фамилије *Botryosphaeriaceae*, *Armillaria* врсте) (Williams, D. W. et al., 2000; Piskur, B. et al., 2011; Keča, N. et al., 2009). Такође, топлије и краће зиме хладнијих подручја могле би стресно утицати на шумско дрвеће и тиме повећати њихову осетљивост према одређеним патогенима (Masters, G., Norgrove, L., 2010), али би истовремено могле бити и ограничавајући фактор даљег опстанка паразита који се развијају испод снежног покривача какви су нпр. *Herpotrichia juniperi* (Duby) Petrak, *Phacidium infestans* Karst. и одређене форме *Gremmeniella abietina* (Lagerb.) Morelet.

Период зимског мржњења земљишта у умереној климатској зони би могао постати краћи, а слојеви стално залеђеног земљишта (пермафроста) би се постепено могли одмрзавати, што би могло повољно утицати на ширење ареала патогена кореновог система (Müller, M. M., 2008). Исто тако, више температуре и повећана влажност због топлења арктичких наслага пермафроста могле би створити повољне услове за развој гљива проузроковача трулежи дрвета и на овом простору. Наиме, 2007. године у Svalbardu i Longyearbyen-у, у Арктичкој леденој пустињи, по први пут у историји примећена је активност гљива изазивача трулежи и плесни на објектима од дрвета (Mattson, J., 2007).

Повећање концентрације CO₂ у атмосфери могло би довести до веће густине и склопљености састојина, а тиме и веће релативне влаге и бољих услова за развој рђа и других патогена којима је за процес инфекције неопходна влажна површина листа/четина (Manning, W. J., Tidmann, A. V., 1995). Нпр., *M. pini* је аутохтони патоген Британске Колумбије, који је до недавно наносио тек незнатне штете шумским културама. Али, због веће учесталости топлих и влажних временских прилика које фаворизују инфекцију, изненада је дошло до великог сушења борова у североисточном делу земље (Woods, A. et al., 2005). *Phaeocryptopus gaeumannii* (Rohde) Petrak, проузроковач чађавости четина дуглазије, аутохтони је паразит северне Америке (западни Орегон). Сматра се да је до недавног повећања јачине заразе на овом подручју дошло због виших зимских температура и дужег влажног периода у пролеће. Услови спољашње средине измењени антропогеним активностима, који погодују развоју гљиве могу довести до епифитоција, чак и када је у питању аутохтони патоген (Mantel, D. K. et al., 2005). Повећање релативне влажности ваздуха и земљишта могло би допринети и појави неких врста из ро-

да *Phytophthora* на новим подручјима, с обзиром на то да је овим патогенима неопходна влага за комплетирање животног циклуса и остваривање инфекције (E r w i n , D. C., R i b e i r o , O. K., 1996).

Међутим, већини пепелница велика влажност у дужем временском периоду не погодује при колонизацији биљних ткива јер чини лисну површину мокром и онемогућава инфекцију, клијање спора, чак их и убија (A g r i o s , G. N., 1997). Како оидијама није неопходна висока релативна влажност да би проклијале, пепелнице најјаче заразе остварују у подручјима са топлим и сувом климом у којима велика разлика у дневној и ноћној температури обезбеђује неопходни ниво влажности. У „свету“ са мање падавина, пепелнице би могле представљати још већи проблем у биљној производњи.

Обрнуто, ширење рђа условљено је влажном климом, јер чак и мале промене у количини и учесталости падавина могу драстично утицати на динамику развоја болести. Због тога би топло и суво време, као резултат глобалног загревања у одређеним подручјима, могло умањити могућност појаве ових патогена, било онемогућавајући им да изврше инфекцију, било дефолијацијом биљке домаћина (K i m m e y , J. W., 1944; K i m m e y , J. W., W a g e n e r , W. W., 1961).

Већа концентрација CO₂ у ваздуху, већа релативна влажност под густим склопом стабала, као и промена у односу угљеник/азот, у корист угљеника, могла би успорити процес минерализације шумске простирке. То би резултовало већом количином шумских остатака који би уз више зимске температуре могли омогућити успешније презимљавање плодноносних тела патогена и допринети већој количини инокулама за инфекцију шумских стабала у пролеће (C o a k l e y , S. M. *et al.*, 1999).

Такође, већа количина CO₂ у атмосфери би кроз промене у агресивности патогена, његову већу репродуктивну способност или промену у осетљивости домаћина могла пореметити равнотежу на релацији домаћин-патоген, што може одложити инфекцију (C o a k l e y , S. M. *et al.*, 1999). Већа количина CO₂ у атмосфери могла би изменити физиологију и анатомију биљке домаћина (C h a k r a b o r t y , S. *et al.*, 1998), што би могло фаворизовати облигатне паразите који користе органску материју из живих ћелија. Биљка богатија угљеним хидратима стимулативно делује на развој ових патогена, којима су шећери важан део исхране (M a n n i n g , W. J., T i e d e m a n n , A. V., 1995). Међутим, лишће сиромашно азотом, због високог односа C/N, те мањи унос неопходних аминокиселина, могао би неповољно утицати на развој ових паразита. Стабло изложено већој концентрацији угљен диоксида, а које при том располаже са довољно влаге, успешније обавља процес фотосинтезе, производи више биомасе, то јест ставља на располагање облигатним паразитима већу количину ткива коју могу да инфицирају (M a n n i n g , W. J., T i e d e m a n n , A. V., 1995).

Комплексност односа биљке домаћина и патогена огледа се у томе што промене услова спољашње средине могу довести и до тога да биљка због климом изазваних промена у њеној морфологији, физиологији, хранљивој вредности и воденом билансу престане да буде осетљива према одређеном патогену (C h a k r a b o r t y , S. *et al.*, 1998; C o a k l e y , S. M. *et al.*, 1999) и тиме помогне опоравак шумских екосистема, мада је овакав сценарио мање вероватан.

Нове климатске прилике могле би изменити, проширити или сузити ареале распрострањења и домаћина и патогена. Како је географско распрострањење сваког патогена ограничено климатским приликама и ареалом осетљивог домаћина, миграција биљних врста у нове средине могла би створити додатна жаришта болести, а патогени би ширећи се на нова пространства могли долазити и у контакт са врстама дендрофлоре са којима до тада нису били у контакту, или је домаћин био слабо заступљен. Нпр., *Phytophthora ramorum* Werres, De Cock & Man in't Veld опасни патоген храстова северне Америке, зараженим садним материјалом случајно је унет и у Европу и у Америку са трећег непознатог локалитета (Iverson, K. I. et al., 2004). Овај патоген се у Европи почео развијати на новим домаћинима какви су буква, бреза, питоми и дивљи кестен, тиса, бели јасен, цер и јапански ариш (Brasier, C. et al., 2004; Lane, C. R. et al., 2004; Antonovics, 2004; Orlikowski, L. et al., 2004). Стога би се неки шумски екосистеми у измењеним климатским приликама могли суочити са појавом нових болести, али би и неке друге, до тада мање битне или притајене болести најједном могле постати економски значајне.

Повољни услови средине који шире ареал распрострањења патогена (ка северу или већим надморским висинама) и доводе га у контакт са новим домаћинима, као и појава патогена веће репродуктивне способности, са већим бројем животних циклуса, нарочито полних, могу довести до брже еволуције агресивних патогених сојева и смене аутохтоних патогена боље прилагођеним инвазивним алохтоним популацијама (Cockley, S. M. et al., 1999). *Phytophthora alni* Brasier & Kirk настала је хибридизацијом и има три познате форме, *P. alni alni*, *P. alni uniformis*, *P. alni multiformis* (Brasier, C. et al., 2004). Прва форма је тзв. стандардна форма и претпоставља се да је настала комбинацијом друге две. Као један од родитеља друге форме помиње се *P. cambivora* (Petri) Buisman, опасни шумски патоген, узрочник мастиљаве болести питомог кестена. Трећа је настала аутополиплоидијом или су јој родитељи непознати (Brasier, C. et al., 2004). Ова *Phytophthora* може нанети велике штете јови и нарушити стабилност плавних екосистема (Brasier, C. et al., 1999; Brasier, C., 2004). Сматра се да је опасни „истребљивач“ брестова *Ophiostoma novo-ulmi* хибрид између *O. ulmi* (Buisman) Nannfeldt и *O. himal-ulmi* Brasier & M.D. Mehrotra, која је ендемит западног дела Хималаја (Brasier, C., 1996), а недавно је дошло и до појаве хибрида између *O. ulmi* subsp. *Americana* Brasier и Kirk (раније позната као северноамеричка раса - NAN, која је шездесетих година двадесетог века донета у Европу међународном трговином, највероватније на обловини бреста и *O. ulmi* subsp. *novo-ulmi* (раније позната као евроазијска раса - EAN), који се шири Европом (Brasier, C. et al., 2004).

Нове климатске прилике не утичу само директно на патогене или индиректно на промену физиологије биљке домаћина, већ делују и на векторе преносиоце болести, суперпаразите и антагонисте паразитних микроорганизама, који врше њихову биолошку контролу бројности. У будућности би се бројност патогена којима би погодовала топлија клима могла повећати, али би и бројност инсеката, способних да служе као вектори у преношењу биљних болести на нове локације могла да порасте (Klejnans, J. T. et al., 2008). Због тога би инсекти, за чији је опстанак температура најкритичнија климатска променљива, својом већом бројношћу и

широм географском дистрибуцијом могли повећати могућност појаве болести шумског дрвећа (нпр. *Cryptococcus fagisuga* Lindinger, штитаста ваш и врсте из рода *Neonectria* spp., и *Scolytus scolytus* Fabricius и *S. multistriatus* Marsham и гљива *O. ulmi*, фитопатогени вируси, фитоплазме, фитопатогене нематодe – *Bursaphelenchus xylophilus*). Такође, блаже и краће зиме могле би повољно утицати на бактерије које презимљавају у ткивима биљке домаћина или инсектима векторима тако што би допринеле успешнијем презимљавању биљака или инсеката, а тиме и самих бактерија (Boland, G. J. et al., 2004).

Са све развијенијим међународним саобраћајем и трговином дрвета, дрвним производима, семенским и садним материјалом, ризик од преношења патогена на нова подручја која су некада била климатски неподобна за развој одређене болести све је већи (More, B., Alford, G., 2008). Глобализација је довела до веће и брже трговине и појаве нових трговачких путева. Топљење арктичког леденог покривача могло би донети промене у међународним трговачким рутама, јер је 2008. године учинило проходним тзв. северозападни пролаз. Ова рута представља много бољу везу између Атлантика и Пацифика, те би се због значајног смањења трошкова превоза могао битно повећати обим трговине дрветом између ових континентата (Somaharan, S. et al., 2009), а тиме и опасност од интродукције опasnих патогена.

Нове климатске прилике могле би унетим патогенима створити оптималне услове за развој, што представља одличну подлогу за развој епифитоција (More, B., Alford, G., 2008). Интензивне епифитоције могле би довести до застоја у транспорту лежавине и презасићености локалних тржишта дрветом. Могао би се појавити проблем недостатка капацитета за прераду великих количина обловине, стабла би могла пропадати и пре достизања димензија предвиђених за сечу, што би се могло негативно одразити на снабдевеност тржишта дрветом (Aures, M. P., Lombardero, M. J., 2000; Soneson, J., 2004).

Због тога је највећи изазов предвидети који патоген има потенцијала да на одређеном подручју нанесе штете у будућности (More, B., Alford, G., 2008). Како одређеним болестима погодују одређени услови спољашње средине, у ту сврху данас се потенцијални утицај климатских промена на шумске патогене сагледава на основу тренутног утицаја климе на понашање патогена, његово распрострањење и јачину заразе и природних промена климе током времена. За потребе анализе ризика од настањивања патогена на одређено подручје (PRA – Pest Risk Analyses) користе се различити софтверски пакети, нпр. CLIMEX model коришћен у случају *Phytophthora cinnamomi* (Desprez-Loustau, M-L. et al., 2007) и *Phytophthora ramorum* (Venette, R. C., Cohen, S. D., 2006), GCM, BIOCLIM, HABITAT, WORLD, NAPFAST, VORTEX. Међутим, ови модели нису реална слика будућих ситуација у шумским екосистемима, јер не узимају у обзир све факторе који би могли утицати на појаву и распрострањење болести шумског дрвећа у будућности.

Научна литература базира се претежно на утицају климатских промена и глобалне трговине на инвазивне патогене пољопривредних култура (Boland, G. J. et al., 2004). Већина постојећих података долази из северне Америке, развијенијих

земаља Европе и Јужноафричке Републике, док су истраживања у осталим деловима света оскудна (M o r e, B., A l l a r d, G., 2008).

При том се не може са сигурношћу рећи како ће се шумски патогени понашати у топлијој клими, што у научну литературу уноси велику дозу несигурности. Велика неизвесност која се појављује сваки пут када се зађе у домен предвиђања утицаја промене климе и глобалне трговине на појаву и ширење инвазивних шумских патогена резултат је и човечанству још увек непознате брзине којом ће се клима наше планете мењати (G h i n i, R. *et al.*, 2008). Веза између климатских промена и инвазивних патогена могла би имати велики утицај на здравствено стање шумских и других природних екосистема на Земљи.

4. ЗАКЉУЧЦИ

- Промена климе и повећање обима глобалне трговине могли би позитивно, негативно или уопште не утицати на одређену болест шумског дрвећа.
- Нове климатске прилике могле би изменити, то јест проширити или сузити ареале распрострањења и домаћина и патогена (ка већим географским ширинама и надморским висинама).
- Проширење ареала патогена могло би повећати ризик од њихове појаве на новим домаћинима.
- Промена климе могла би довести до брже еволуције агресивних патогених сојева.
- Подручја која су некада била климатски неподобна, са променом климе могла би постати оптимална за развој одређене болести.
- Неки шумски екосистеми могли би се суочити са појавом нових болести, али би и неке друге, до тада мање битне или притајене болести, наједном могле постати економски значајне.
- Стрес од суше могао би повећати или смањити осетљивост биљке домаћина према одређеном патогену, али би промена услова спољашње средине могла довести и до тога да биљка престане да буде осетљива према одређеном патогену.
- Већа концентрација CO₂ у тропосфери могла би довести до веће продукције биомасе и веће влажности под густим склопом стабала, што би могло створити повољне услове за појаву гљива проузроковача болести лишћа и четина.
- Већини патогена који изазивају болести лишћа и четина могле би погодovati више температуре и већа влажност на крају зиме и почетком пролећа, те би могле успешније презимљавати и јављати се у већем броју. Међутим, појаву рђа могла би редуковати сувља лета, док би пепелницама могла погодovati топла и сува клима.
- Промена климе могла би позитивно утицати на патогеност и ширење гљива проузроковача болести спроводних судова.
- Глобално загревање би због честих летњих суша које стабла излажу стресу, краћег периода зимског мржњења земљишта и постепеног одмрзавања пермафроста могло погодovati појави и ширењу болести кореновог система.

- Промена климе би, утицајем на шумске патогене, инсекте векторе, биљке домаћине и њихову међусобну интеракцију, могла оставити бројне, већином неповољне последице по шумске екосистеме.
- Све развијенији међународни саобраћај и трговина дрветом, дрвним производима, семенским и садним материјалом могли би довести до уношења и настањивања нових патогена у подручја која су раније за њих била негостољубива, што би, у комбинацији са променом климе, могло довести до појаве нових епифитоција.
- Интензивне епифитоције узроковане променом климе могле би утицати на снабдевеност локалних и међународног тржишта дрветом и на његову цену.
- Због тога што су појава и ареал патогена уско повезани са ареалом њихових домаћина, неопходно је предвидети распрострањење биљака домаћина у условима промењене климе.
- За потребе анализе ризика од настањивања патогена на одређеном подручју коришћени су различити модели, али не узимају у обзир све факторе који би могли утицати на појаву и распрострањење болести шумског дрвећа у будућности.
- Анализа потенцијалног утицаја климатских промена на биљне болести неопходна је ради усвајања адекватне стратегије адаптације на неминовне промене, у циљу спречавања еколошких и економских губитака глобалних размера.
- Брза промена климе и нестабилне временске прилике могле би довести и до промене у епидемиологији биљних болести, што би могло отежати могућност предвиђања епифитоција у будућности.

Захвалница: Рад је финансиран од стране Министарства просвете и науке Републике Србије, ЕВБ 37008.

ЛИТЕРАТУРА

- Agrios, G.N. (1997): Plant pathology, 4th ed., Academic Press, San Diego, California, USA.
- Anonymous (2004): *Phytophthora ramorum* in Amerikaanse eik. 2004. Gewasbescherming 35(2): 126.
- Ayres, M.P., Lombardero, M.J. (2000): Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens, The Science of the Total Environment, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, vol. 262, pp. 263-286.
- Boland, G.J., Melzer, M.S., Hopkin, A., Higgins, V., Nassuth, A. (2004): Climate change and plant diseases in Ontario, Canadian Journal of Plant Pathology, Canadian Phytopathological Society, Ottawa, Ontario, Canada, vol. 26, pp. 335-350.
- Braiser, C. (1996): New horizons in Dutch elm disease control, Report on forest research, Forestry Commission, HMSO, London, UK, pp. 20-28.
- Braiser, C., Buck, K., Paolletti, M., Crawford, L., Kirk, S. (2004): Molecular analysis of evolutionary changes in populations of *Ophiostoma novo-ulmi*, Invest Agrar, Sist Recur For, vol. 13, pp. 93-103.

- Brasier C., Denman S., Brown A., Webber J. (2004): Sudden oak death (*Phytophthora ramorum*) discovered on trees in Europe, Mycological Research, British Mycological Society, UK, vol. 108, pp. 1108-1110.
- Brasier, C. (1996): *Phytophthora cinnamomi* and oak decline in southern Europe: environmental constraints including climate change, Annales des Sciences Forestieres, Elsevier, USA, vol. 53, pp. 347-358.
- Brasier, C. (1999): *Phytophthora* pathogens of trees: their rising profile in Europe, Information Note, Forestry Commission, Edinburgh, UK, 6 pp.
- Brasier, C. (2005): Climate change and tree health, abstract from presentation to conference on „Trees in a Changing Climate“, University of Surrey, Guilford, USA, pp. 1-2.
- Brasier, C., Cooke, D., Duncan, J.M. (1999): Origins of a new *Phytophthora* pathogen through interspecific hybridisation. Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 96, 5878-5883.
- Brasier, C., Denman, S., Rose, J., Kirk, S.A., Hughes, K.J.D., Griffin, R.L., Lane, C.R., Inman, A.J., Webber, J.F. (2004): First report of ramorum bleeding canker on *Quercus falcata* caused by *Phytophthora ramorum*. Plant Path. 53:804.
- Brasier, C., Kirk, S.M., Declan, J., Cooke, D. E. L., Jung, T., Man In't Veld, W. E. (2004): *Phytophthora alni* *sp. nov.* and its variants: designation of emerging heteroploid hybrid pathogens spreading on *Alnus* trees. *Mycol Res.* 108 (10): 1172–1184.
- Chakraborty, S., Murray, G.M., Magarey, P.A., Yonow, T., O'Brien, R.G., Croft, B.J., Barbetti, M.J., Sivasithamparam, K., Old, K.M., Dudzinski, M.J., Sutherst, R.W., Penrose, L.J., Archer, C., Emmett, R.W. (1998): Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia, Australasian Plant Pathology, CSIRO Publishing, Australia, vol. 27, pp. 15–35.
- Cockley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S. (1999): Climate change and plant disease management, Annual Review of Phytopathology, Annual Reviews, Palo Alto, CA, USA, vol. 37, pp. 399-426.
- Desprez-Loustau, M-L., Robin, C., Reynaud, G., Deque, M., Badaeu, V., Piou, D., Husson, C., Marçais, B. (2007): Simulating the effects of a climate-change scenario on the geographical range and activity of forest pathogenic fungi, Canadian Journal of Plant Pathology, Canadian Phytopathological Society, Ottawa, Canada, vol. 29, pp. 101–120.
- Dobbertin, M., Hilker, N., Rebetz, M., Zimmermann, N.E., Wohlgeuth, T., Rigling, A. (2005): The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* spp. *austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming?, International Journal of Biometeorology, Springer, USA, vol. 50, no. 1, pp. 40-47.
- Dukes, J.S., Pontius, J., Orwig, D., Garnas, J.R., Rogers, V.L., Braze, N., Cooke, B., Theoharides, K.A., Stange, E.E., Harrington, R., Ehrenfeld, J., Gurevitch, J., Lerda, M., Stinson, K., Wick, R., Ayres, M. (2009): Responses of insect pests, North America: what can we predict?, Canadian Journal of Forest Research, NRC Research Press, Ottawa, Canada, vol. 39, pp. 235-240.
- Erwin D.C., Ribeiro O.K. (1996): *Phytophthora* diseases worldwide. APS Press, St Paul, Minnesota: 258–261.
- Ewans, H., 2008: Increasing global trade and climate change: co-factors increasing the international movement and establishment of forest pests, In: Climate-related transboundary pests and diseases, High Level Conference on World Food Security, Background Paper HLC/08/BAK/4, FAO, Rome, Italy, pp. 24-26.

- Ghini, R., Hamada, E., Bettiol, W. (2008): Climate change and plant diseases, *Scientia Agricola*, University of Sao Paulo, Piracicaba, Brazil, vol. 65, pp. 98-107.
- Hanso, M., Drenkhan, R. (2009): *Diplodia pinea* is a new pathogen on Austrian pine (*Pinus nigra*) in Estonia. *Plant Diseases-disease notes*, vol. 19.
- Ivors, K.I., Hayden, K.J., Bonants, P.J.M., Rizzo, D.M., Garbelotto, M. (2004): AFLP and phylogenetic analyses of North American and European populations of *Phytophthora ramorum*. *Mycol. Res.* 108: 378-392.
- Jurc, D., Ogris, N. (2005): First reported outbreak of charcoal disease caused by *Biscogniauxia mediterranea* on Turkey oak in Slovenia, *New Disease Reports*, The British Society for Plant Pathology, UK, vol. 11.
- Kadović, R., Medarević, M. (Ured.) (2007): Šume i promena klime, Zbornik radova, Ministarstvo za poljoprivredu, šumarstvo i vodoprivredu – Uprava za šume i Univerzitet u Beogradu-Šumarski fakultet, Beograd, str. 205.
- Keča, N., Karađžić, D., Woodward, S. (2009): Ecology of *Armillaria* species in managed forests and plantations in Serbia. *Forest Pathology*, vol.39, no. 4, pp. 217-231.
- Kenis M., Branco, M. (2010): Impact of alien terrestrial arthropods in Europe. Chapter 5. In: A. Roques et al. (ur.) *Alien terrestrial arthropods of Europe*. *BioRisk* 4 (1): *BioRisk* 4 (1): 51-71.
- Kimme, J.W. (1944): The seasonal development and the defoliating effect of *Cronartium ribicola* on naturally infected *Ribes roezli* and *R. Nevadaense*, *Phytopathology*, American Phytopathological Society, vol. 35, no.6, pp. 406-416.
- Kimme, J.W., Wagoner, W.W. (1961): Spread of white pine blister rust from *Ribes* to sugar pine in California and Oregon, *Technical Bulletin*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, DC, USA, no. 1251, 71 p.
- Klijunas, J.T., Geils, B.W., Glaeser, J.M., Goheen, E.M., Hennon, P., Mee-sook K., Kope H., Stone J.; Sturrock R., Frankel S.J. (2008): Climate and forest diseases of Western North America: A literature review, *General Technical Report*, USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany, New York State, USA, 36 p.
- Kowalski, T. (2006): *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland, *Forest Pathology*, Blackwell Publishing, UK, vol. 36, pp. 264-270
- Kowalski, T., Holdenrieder, O. (2009b): The teleomorph of *Chalara fraxinea*, the casual agent of ash dieback, *Forest Pathology*, Blackwell Publishing, UK, pp. 1-5
- Lane, C.R., Beales, P.A., Hughes, K.J.D., Tomlinson, J.A., Inman, A.J., Warwick, K. (2004): First report of ramorum dieback (*Phytophthora ramorum*) on container-grown English yew (*Taxus baccata*) in England. *Plant Path.* 53:522.
- Lonsdale D., Gibbs J.N. (1996): Effects of climate change on fungal diseases of trees, In: *Fungi and environmental change*, Frankland, J.C.; Magan, N, Gadd, G.M. (Eds), University Press, Cambridge, Great Britain, pp. 1-15.
- Manning, W.J., Tiedemann, A.V. (1995): Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃) and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases, *Environmental Pollution*, Elsevier, The Netherlands, vol. 88, no. 2, pp. 219-245.
- Manter, D. K., Reeser, P. W., Stone, J. K. (2005): A climate-based model for predicting geographic variation in Swiss needle cast severity in the Oregon Coast Range, *Phytopathology*, American Phytopathological Society, USA, vol. 95, pp. 1256-1265.
- Masters, G., Norgrove, L. (2010): Climate change and invasive alien species. *CABI Working Paper* 1, 30 pp.

- Mattson, J. (2007): Structural failures of the timber structures in arctic climate, from Material to structure – mechanical behaviour and failures of the timber structures, ICOMOC IWS – XVI International Symposium, Florence, Venice and Vicenza, 11th – 16th november 2007, pp. 1-4.
- Moore, B., Allard, G. (2008): Climate change impacts on forest health, Forest Health and Biosecurity Working Papers, FAO, Rome, Italy, 38 p.
- Müller, M.M. (2008): Climate change and the health of Finnish forests, Network of climate change risks on forests (Eds), Hantula, J; Henttonen, H; Niemelä, P; Vapaavuori, E; Linder, S, proceedings from a SNS workshop held in Umea, Sweden, 9 p.
- Nentwig, W., Josefsson, M. (2010): Introduction. Chapter 1. In: A. Roques et al. (ur.) Alien terrestrial arthropods of Europe. *BioRisk* 4 (1): 5–9.
- Orlikowski L.B., Skrzypczak Cz., Szkuła G. (2004): Zagrożenie roślin przez *Phytophthora ramorum* w Polsce i na świecie. *Progress in Plant Prot.* 45(2): 966- 969.
- Piskur, B., Pavlic, D., Slippers, B., Ogris, N., Maresi, G., Wingfield, M.J., Jurc, D. (2011): Diversity and pathogenicity of Botryosphaeriaceae on declining *Ostrya carpinifolia* in Slovenia and Italy following extreme weather conditions. *European Journal of Forest Research* 130, 235-249.
- Solheim, H. (2008): Climate change risks on forest in Norway: pathogens, in: Network of climate change risks on forests (Eds), Hantula, J; Henttonen, H; Niemelä, P; Vapaavuori, E; Linder, S; proceedings from a SNS workshop held in Umea, Sweden, 11p.
- Solheim, H., Vuorinen, M. (2011): First report of *Mycosphaerella pini* causing red band needle blight on Scotch pine in Norway. *Plant Disease-disease notes*, vol.95, no.7, pp. 875.
- Somanathan, S., Flynn, P., Szymanski, J. (2009): The northwest passage: a simulation , Transportation research part A: policy and practice, Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands, vol. 43, no. 2, pp. 127-135.
- Sonesson, J. (2004): Climate change and forestry in Sweden. *Kungl. Skogs-och Lantbruksakademiens* 143: 1–40.
- Vanhanen, H. (2008): Invasive insects in Europe-the role of climate change and global trade. Academic dissertation. Faculty of Forest Sciences, University of Joensuu, Finland.
- Vasaitis, R., Lygis, V. (2008): Emerging forest diseases in South-Eastern Baltic sea region, in: Network of Climate Risks on Forests (Eds), Hantula, J; Henttonen, H; Niemelä, P; Vapaavuori, E; Linder, S; proceedings from a SNS workshop held in Umea, Sweden, pp. 1-17.
- Vennette, R. C., Cohen, S. D. (2006): Potential climatic suitability for establishment of *Phytophthora ramorum* within the contiguous United States, *Forest Ecology and Management*, Elsevier B.V., Amsterdam, the Netherlands, vol. 231, pp. 18–26.
- Vettraino, A. M., Barzanti, G. P., Bianco, M. C., Ragazzi, A., Capretti, P., Paoletti, E., Luisi, N., Anselmi, N., Vannini, A. (2002): Occurrence of *Phytophthora* species in oak stands in Italy and their association with declining oak trees, *Forest Pathology* Blackwell Publishing, UK, vol.32, pp. 19-28.
- Williams, D. W., Long, R. P., Wargo, P. M., Liebhold, A. M. (2000): Effects of Climate Change on Forest Insect and Diseases Outbreaks, In: Responses of northern U.S. forests to environmental change, Mickler, R.A; Birdsey, R.A; Hom, J., (Eds), *Ecological studies*, Springer-Verlag, New York, USA, vol. 139, pp. 455- 485.
- Woods, A., Coates, K. D., Hamann, A. (2005): Is an unprecedented *Dothistroma* needle blight related to climate change?, *Bioscience*, American Institute of Biological Sciences, Washington D.C., *SAD*, vol. 55, no. 9, pp. 761-769.

INVASIVE ALIEN FOREST PATHOGENS – IMPACTS OF CLIMATE CHANGE
AND GLOBAL TRADE

Milica Zlatković
Ivan Milenković
Nenad Keča
Dragan Karadžić

Summary

This paper presents the relationship between climate, global trade and forest diseases and the potential effects of predicted climate change and increase in world trade on forest pathogens, plant hosts, insect vectors and their interaction. Movements of Alien Invasive Species globally by trade and human movement present severe and increasing risks of transfer of plant pathogens. Climate change adds further opportunities for pathogen establishment and impact, both directly by providing increased survival and growth opportunities for pathogens, through physiological changes in tree defenses, environmental stresses that are making trees more vulnerable to pathogens and indirectly by changes in the abundance of insect vectors of tree pathogens, super parasites and antagonists. The effects of climate change and global trade could have positive, negative or no impact on individual forest diseases. Because of their short life cycles, mobility, reproductive potential and physiological sensitivity to temperature and moisture, even modest climate change could have rapid impacts on the distribution and abundance of many forest pathogens (*Phytophthora* spp., *Ophiostoma* spp., etc). Climate change could alter stages and rates of the the pathogen development, reproduction rates, modify host defences and susceptibility, and the results in changes in the physiology of host-pathogen interactions. The most likely consequences are shifts in the geographical distribution of host and pathogen, resulting in the ability of pathogens to infect new host tree species; greater or reduced overwintering success of pathogens, increased number of insect vectors, changes in type, amount, and relative importance of certain pathogens. Some scenarios are beneficial for the forest (e.g. increased winter cover may increase winter mortality of some pathogens), but many are detrimental (e.g. warming tends to accelerate pathogen development rate and facilitate expansion of pathogens). Climate change could favor some highly damaging pathogens and have considerable and widespread impact on forest health. Climate change and increase in world trade may facilitate invasions by alien pathogens which may lead to new epidemics.