

**PRIMERJAVA MODELOV ZA PROGNOZO HMELJEVE PERONOSPORA
(*Pseudoperonospora humuli* Miyabe et Takah.)**

Vlasta Knapič¹, Marta Dolinar¹

IZVLEČEK

Hmeljeva peronospora (*Pseudoperonospora humuli* [Miyabe et Takah.]) je gospodarsko najpomembnejša bolezen hmelja (*Humulus lupulus* L.), ki sistemsko okužuje koreniko in se ob odganjanju hmelja širi v poganjke. Na okuženih poganjkih se v sporangijih oblikujejo zoospore, ki povzročajo sekundarne okužbe listov, storžkov in poganjkov. Ker so za varstvo hmelja predvideni samo pripravki s kontaktnim delovanjem, je bilo v obdobju od junija do avgusta potrebnih 8 do 10 škropljenj z bakrovimi pripravki. Ob spremljanju populacije zoosporangijev v zraku in uporabi prognoznega modela (Dolinar, 1985), ki na podlagi spremljanja temperature zraka v dnevnem času, ko je listje mokro po dežju, izračuna verjetnost, da bo prišlo do okužbe, se je število škropljenj pri občutljivih sortah zmanjšalo na 3 ali 4, pri odpornih sortah hmelja pa na 2 do 3. Avtomatsko spremljanje in prenos meteoroloških podatkov iz hmeljišča do uporabnika ter izračunavanje pogojev po modelu je mogoče s sistemom Adcon-Agroexpert, ki pogoje računa po modelu Royle-Kremheller. V letih 1995 in 1996 smo spremljali izračune po tem modelu in vzporedno izračunali vrednosti po modelu Dolinarjeve ter spremljali koncentracijo zoosporangijev v zraku. Napovedi obeh modelov se časovno ujemajo, kar potrjuje tudi populacija zoosporangijev kot rezultat sekundarnih okužb, razlike pa so v jakosti napovedanih okužb. Zato bi morali prag napovedi po modelu Royle-Kremheller znižati, da bi na osnovi meteoroloških razmer signalizirali preventivno škropljenje pri vrednosti $Y=0,05$, če je izpolnjen tudi biotični pogoj - zoosporangiji v zraku.

Ključne besede: hmeljeva peronospora, računalniško podprt sistem, meteorološka merjenja, rastiinske bolezni, prognoza

ABSTRACT

COMPARING OF TWO MODELS FOR HOP DOWNY MILDEW (*Pseudoperonospora humuli* Miyabe et Takah.) PREDICTION

Hop downy mildew (*Pseudoperonospora humuli* [Miyabe et Takah.]) is the most serious disease of hops (*Humulus lupulus* L.). It can cause a primary infection in rootstock and shoots which arise from infected rootstock appear stunted and sickly because of the presence of mycelium. On these primary basal spikes zoosporangies are produced to spray secondary infection to leaves and cones. Because in today's hop production only protective fungicides (copper sulfate) are allowed we should spray them 8 - 10 times to achieve good result. A good forecasting model (Dolinar, 1985) with observing of spore population in the air could reduce the number of prophylactic pesticide applications and predict the need and the best time to control disease using meteorological, biotic and other data. Important meteorological parameters are air temperature, precipitation and leaf wetness during the sun light and biotic parameters like a concentration of zoosporangium in the air, a stage of development and sensitivity of cultivar. Using this forecasting measures applications of pesticides against secondary infection of hop downy mildew in Slovenia decreased to 3-4 at sensitive and to 2-3 at resistant cultivars. Last two years we have tested computer aided decision models from Adcon Telemetry that can offer automatic measurements in the field and data transfer to the office. It uses the model from Royle-Kremheller which is not suitable for our conditions. In the years 1995 and 1996 we compared models from Royle-Kremheller and Dolinar. Predictions of both models are more or less contemporary but they have different severity. To achieve more sure prediction based on meteorological data the threshold in Royle-Kremheller model should be changed from 0,2 to 0,05. That do not mean more frequent application but more warnings that could be accepted or not - it depends on presence of zoosporangium in the air.

Key words: computer-aided system, hop downy mildew, meteorological measurements, plant diseases, prognosis

¹ Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo, Žalec

1 UVOD

Hmeljeva peronospora je v naših razmerah najnevarnejša bolezen gojenega hmelja. Pri primarni okužbi gliva z micelijem naseli koreniko in podzemne dele hmeljne rastline. Iz njih izraščajo okuženi poganjki, ki dajejo zmanjšan pridelek ali celo kuštravi poganjki. Kuštravci imajo zelo zbito rast, razprt rastni vršiček in pogosto zakrnijo, tako da ne dajejo pridelka, so pa vir zoosporangijev. Zoosporangiji se potem, ko se ločijo od sporangioforov, širijo po zraku in na mokrih listih lahko sprostijo zoospore, ki skozi listne reže poženejo klične mešičke in s tem začnejo sekundarno okužbo (Maček, 1991).

Sekundarna okužba dodatno zmanjšuje količino in kvaliteto pridelka (storžkov). Hmeljni kultivarji so različno občutljivi na peronosporo. Za primarno okužbo sta najbolj občutljiva kultivarja 'savinjski golding' in 'bobek', za sekundarno okužbo storžkov pa 'atlas' in 'blisk'. Zaradi zahtevnih škropilnih programov hmelja kot izvoznega pridelka in zaradi narave glive je mogoče le preventivno varstvo pred sekundarno okužbo, torej s pripravki s kontaktnim delovanjem, med katerimi uporabljamo večinoma bakrene pripravke. Tako bi bilo za občutljive sorte hmelja v času od od junija do avgusta potrebnih 8 do 10 škropljenj z bakrovimi pripravki. Za odporne sorte, kot sta 'savinjski golding' in 'aurora', ki v Sloveniji prevladujeta, pa bi bilo potrebnih 5 do 6 škropljenj (Dolinar, 1995).

Epidemiologijo hmeljeve peronospore proučujemo od leta 1976 (Dolinar, 1985). Izdelan je bil model za spremljanje in napovedovanje najustreznejšega časa za uporabo fungicidov proti sekundarni okužbi. Model smo uvedli v prakso leta 1986 in temelji na spremljanju meteoroloških dejavnikov in koncentracije zoosporangijev v zraku ob upoštevanju občutljivosti hmeljnega kultivarja (Dolinar, 1989). Med vegetativno rastjo hmelja od aprila do avgusta so bili v hmeljiščih na 11 lokacijah severovzhodne Slovenije postavljeni lovilci zoosporangijev hmeljeve peronospore. Opazovalna mesta dobro pokrivajo območje Savinjske doline od Mozirja do Celja, kjer je 75 % vseh hmeljišč v Sloveniji, pa tudi Koroško in hmeljska območja ob Dravi od Radelj in Maribora do Ptuja in Ormoža (Knapič, 1995). Model Dolinarjeve je omogočil, da se je število škropljenj pri občutljivih sortah zmanjšalo na 3 ali 4, pri odpornih sortah hmelja pa na 2 do 3 škropljenja od junija, ko hmelj doseže polno višino 6 m, pa do avgusta, ko hmelj pospravimo.

2 MATERIALI IN METODE

Signalizacija pojava peronospore temelji na (1) spremljanju biotičnih dejavnikov, med katerimi je na prvem mestu senzitivnost kultivarja, sledi razvojni stadij hmelja, še posebej smo pozorni na stadij cvetenja, tretji biotični dejavnik pa so za okužbe sposobne zoospore na hmelju, ki jih predvidimo s koncentracijo zoosporangijev v zraku. Za biotičnimi dejavniki pa signalizacija temelji na (2) ugotovitvi ugodnih meteoroloških razmer za okužbo.

2.1 Biotični dejavniki

Na vseh treh lokacijah smo lovili zoosporangije s Hirstovim lovilcem spor (Burkardt), ki z vsesanim zrakom vsrka tudi zoosporangije. Ti se prilepijo na vazelinski trak, ki ga pod mikroskopom pregledamo in preštejemo zoosporangije v enem dnevu. Ko pred cvetenjem hmelja kumulativno število preseže prag 40 zoosporangijev v štirih dneh, je potrebno opraviti

preventivno škropljenje z bakrovim pripravkom. Med cvetenjem hmelja je nevarnost okužbe storžkov večja, zato je prag za napoved škropljenja 10 zoosporangijev za odporne kultivarje (npr. 'aurora'), za občutljive kultivarje ('atlas' in 'blisk') pa je prag 5 zoosporangijev, ulovljenih v štirih dneh.

2.2 Meteorološki dejavniki

Na Inštitutu za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec smo dve leti preizkušali elektronski merilni sistem Adcon-Agroexpert avstrijske družbe Adcon Telemetry GmbH., ki spremlja meteorološke razmere v nasadih, programska oprema pa po modelu Royle-Kremheller (Royle-Kremheller, 1983) izračunava možnosti za razvoj hmeljeve peronosporne. Ker ta model za naše razmere ni ustrezen, smo po meteoroloških podatkih simulirali napovedi po modelu Dolinarjeve (Dolinar, 1985).

Dve merilni postaji smo imeli nameščeni (1) na meteorološkem vrtu, kjer smo meritve primerjali s klasičnimi termometri in podatki avtomatske klimatske postaje KMS Paar ter (2) v hmeljišču v okolici Žalca. Podatke za dve lokaciji smo za leto 1996 prejeli tudi iz Lučan v Avstriji (3), kjer so razmere za razvoj hmeljeve peronospore podobne kot pri nas.

Na polju smo zajemali meteorološke podatke o temperaturi zraka, zračni vlažnosti, količini padavin in trajanju omočenosti listja. Adcon-Agroexpert telemetrijsko pošilja podatke iz nasada do sprejemne antene centralne enote na centralni spejemnik oziroma na osebni računalnik. Tu smo osnovne meteorološke podatke iz nasada obdelali s programom Adcon-AgroExpert po modelu Royle-Kremheller, tako da nam je program javljal verjetno stanje razvoja bolezni glede na razvojno fazo hmelja. Za vsako leto smo oblikovali bazo meteoroloških podatkov po vseh lokacijah, ki smo jih obdelali še s programom Quattro Pro po modelu Dolinarjeve.

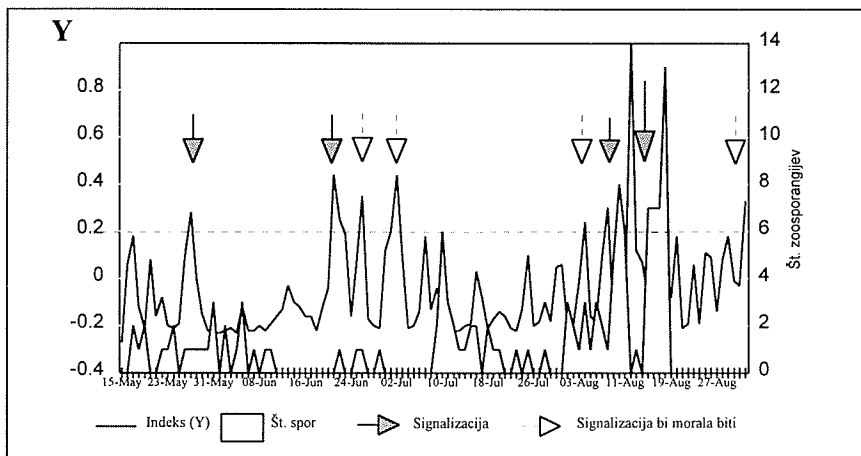
3 REZULTATI IN DISKUSIJA

V hmeljarstvu poznamo dva modela prognoze sekundarne okužbe peronospore hmelja: prvega sta razvila Royle in Kremhellerjeva leta 1979, drugega pa je za naše razmere razvila Dolinarjeva leta 1985. Oba modela temeljita na spremljanju meteoroloških razmer v hmeljišču oziroma uporabljata analizo multiple regresije, ki ima kot odvisno spremenljivko pogostnost okužbe na listih, neodvisne spremenljivke pa so (Dolinar, 1985):

- Temperatura zraka v hmeljišču oz. temperaturni ekvivalent, kar pomeni število ur, ko je temperatura zraka za glivo optimalna ($T-T_{min}/T_{max}-T_{min}=T-5^{\circ}C/25^{\circ}C$); vsota temperaturnih ekvivalentov mora biti večja od 0,36.
- Omočenost listja zaradi dežja, kar je najpomembnejši dejavnik, s katerim se da razložiti do 74 % variabilnosti okužbe; listje mora biti za uspešno okužbo mokro vsaj 2 uri, upoštevamo pa le do 8 ur mokro listje podnevi. Okužbe pri rosi ni.
- Tretji odločujoči okoljski dejavnik je svetloba, pri kateri so listne reže odprte, da skozi njih lahko zoospore požejejo klični mešiček, svetloba pa pospešuje tudi kalitev zoosporangijev.

Model Royle-Kremheller računa jakost okužbe (Y) iz podatkov o omočenosti listja in o koncentraciji zoosporangijev v zraku; večja Y vrednost pomeni močnejšo okužbo. Model Dolinarjeve izračunava Y vrednost iz trajanja omočenosti listja pri določeni temperaturi zraka in upošteva Y le kot da - ne prognozo. Zanimari torej jakost okužbe, ker je za pridelovalne razmere pomembno le, če so razmere za okužbo izpolnjene ali ne. Namreč tudi manj močna okužba povzroči gospodarsko škodo na pridelku hmelja, ker je poslabšan estetski videz storžkov.

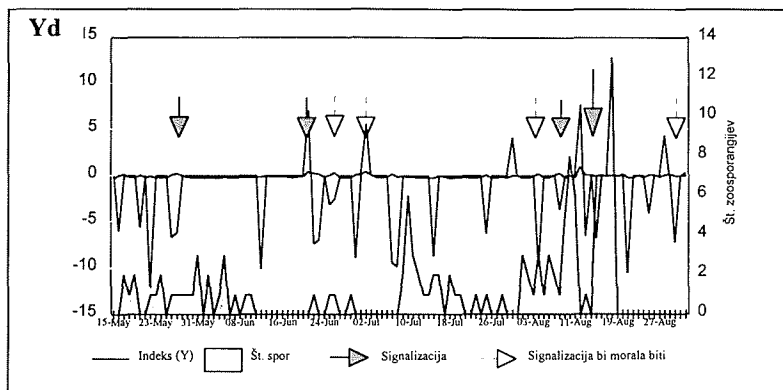
V Adcon vgrajen model po Royle-Kremhellerjevi izračunava Y vrednost kot jakost potencialne okužbe. Ko Y preseže vrednost 0,2, model napove potrebo po tretiranju. Te napovedi so bile leta 1996 štiri, kljub temu, da je bila ta vrednost presežena osemkrat (slika 1). Iz istih meteoroloških podatkov smo izračunali verjetnost za okužbo po modelu Dolinarjeve (Yd). Indeks Yd ima sicer drugačne vrednosti, vendar nakazuje, da je visoko pozitiven ravno v tistem obdobju, ko po modelu Royle-Kremheller manjkajo napovedi (slika 2). Indeks Yd je izračunan samo za obdobja, ko je vsota temperaturnih ekvivalentov večja od 0,36, torej ko so razmere za razvoj glive optimalne. Če pogledamo populacijo zoosporangijev v zraku kot rezultat sekundarnih okužb, opazimo, da je po preteku inkubacijske dobe, ki je 4 -10 dni, populacija narastla, kar potrjuje izvršene okužbe.



Slika 1: Po modelu Royle-Kremheller izračunan indeks Y, število ulovljenih zoosporangijev in napovedi potrebe po tretiranju za l. 1996 v Žalcu.

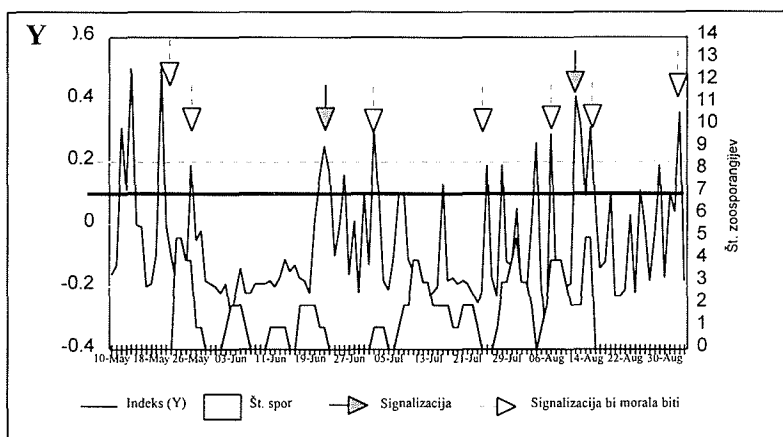
Figure 1: Index Y calculated by Royle-Kremheller model, amount of captured zoosporangia and signalization of treatment for 1996 in Žalec.

Glede na to, da je model napovedal okužbo le enkrat v juniju, po modelu Dolinarjeve pa bi pričakovali vsaj dve ali tri, menimo, da je prazna vrednost 0,2 previsoka. Prag napovedi po modelu Royle-Kremheller smo znižali, da bi na osnovi meteoroloških razmer signalizirali preventivno škropljenje pri vrednosti $Y=0,05$. Po tem pa je model napovedal izpolnjene pogoje za okužbo še štirikrat. Pogostejša opozorila ne pomenijo več škropljenj, saj jih upoštevamo samo, če so izpolnjeni tudi biotični pogoji. Tedaj damo napoved za tretiranje, drugače pa signalizacijo ovržemo.



Slika 2: Po modelu Dolinarjeve izračunan indeks Yd, število ulovljenih zoosporangijev in napovedi potrebe po tretiranju za l. 1996 v Žalcu.

Figure 2: Index Yd calculated by Dolinar model, amount of captured zoosporangiums and signalization of treatment for 1996 in Žalec.



Slika 3: Po modelu Royle-Kremheller izračunan indeks Y, število ulovljenih zoosporangijev in napovedi potrebe po tretiranju za l. 1996 v Lučanah v Avstriji.

Figure 3: Index Y calculated by Royle-Kremheller model, amount of captured zoosporangiums and signalization of treatment for 1996 in Leutschach, Austria.

To domnevo smo s simulacijo izračunov preverili še za leto 1995 in za drugo lokacijo v Avstriji (slika 3). Tu je model javil samo dve napovedi, čeprav bi na Y vrednost in populacijo zoosporangijev v zraku morale biti vsaj še 4 v juniju in juliju. Če bi prag napovedi znižali že na 0,1, bi bilo v času možnosti za sekundarne okužbe 9 signalizacij. Od vseh napovedi bi za odporne kultivarje dejansko upoštevali le dve in sicer prvo v času, ko je hmelj cvetel (5. julij) in drugo 8. avgusta, ko so bili že oblikovani storžki, do spravila pridelka pa je bilo še več kot 14 dni. Za pozne kultivarje, ki jih obirajo po 1. septembru bi bilo potrebno še tretje škropljenje po 28. avgustu.

4 SKLEPI

Prognoza sekundarne okužbe s hmeljevo peronosporo omogoča ciljano varstvo rastlin, kar pomeni, da škropljenja omejimo le na tista, ki so neobhodno potrebna, da preprečimo gospodarsko škodo. S tem dosežemo prihranek fitofarmaceutskih sredstev in manjši vnos bakra v okolje.

Signalizacija sekundarne okužbe s hmeljevo peronosporo temelji na lovljenju zoosporangijev v neškropljenem hmeljišču. V laboratoriju sledi pod mikroskopom determinacija in kvantifikacija z anilinskim barvilom obarvanih zoosporangijev na vazelinskem traku.

Na podlagi zastopanosti zoosporangijev sledi signalizacija škropljenja, pod pogoji:

- če je presežen prag - št. zoosporangijev,
- če je hmelj v senzibilnem razvojnem stadiju (npr. cvetenje),
- če je jakost okužbe po Royle-Kremheller $Y > 0,05$.

Tako je avtomatiziran prenos in obdelava vremenskih podatkov iz nasada s sistemom Adcon Agroexpert učinkovito pomagalo za ažurno signalizacijo sekundarnih okužb s hmeljevo peronosporo. Iz meteoroloških podatkov izračunava "peronosporo vrednost", šteje dni po zadnjem škropljenju in upošteva možno izpiranje. Model smo za naše razmere prilagodili tako, da smo znižali prag napovedi škropljenja, kar je upravičeno toliko bolj, ker pri varstvu hmelja proti sekundarni okužbi s hmeljevo peronosporo ne uporabljamo kurativnih sistemskih pripravkov. Prihodnost računalniško podprte prognoze je v izgradnji mreže merilnih postaj v hmeljiščih in s tem pokritje Savinjske doline kot najbolj koncentriranega pridelovalnega območja hmelja. Hkrati pa je upati na povezovanje regijskih centrov za prognozo pojava drugih boleznih in škodljivcev.

5 LITERATURA

- Dolinar, M. (1982). Analiza epidemije pri hmeljni peronospori (*Pseudoperonospora humuli* Miy. et Takah.).- V. Jugoslovanski simpozij za hmeljarstvo, s. 277-286.
- Dolinar, M. (1985). Epifitotološke raziskave hmeljne peronospore (*Pseudoperonospora humuli* /Miy. et Takah./) in izdelava modela za napoved okužb v razmerah Savinjske doline.- Magistrsko delo, Biotehniška fakulteta, 89 s.
- Dolinar, M. (1989): Epifitotološke raziskave hmeljne peronospore (*Pseudoperonospora humuli* /Miy. et Takah./) in izdelava modela za napoved okužb v razmerah Savinjske doline.- VI. Jugoslovanski simpozij za hmeljarstvo, Žalec, marec 1989, s. 259-268
- Dolinar, M., D. Kralj (1995). Občutljivost različnih hmeljnih kultivarjev za hmeljevo peronosporo (*Pseudoperonospora humuli* /Miyabe et Takah./) in hmeljevo pepelovko (*Sphaerotheca humuli* Burr.).- Bilten 33. Seminarja o hmeljarstvu, Žalec, 4(1995) s. 48-56.
- Knapič, V. (1995). Opazovalno-napovedovalna služba v hmeljarstvu.- Hmeljarski bilten, 5(1995) s. 35.
- Maček, J. (1991). Posebna fitopatologija poljščin. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, 3. izdaja s. 41-44.
- Poročilo o delu prognostično-signalizacijske službe v letu 1996.- Inštitut za hmeljarstvo in pivovarstvo Žalec, Oddelek za varstvo rastlin, dec. 1996, 78 s.
- Royle, D. J. (1973). Quantitative relationships between infection by the hop downy mildew pathogen, *Pseudoperonospora humuli*, and weather and inoculum factors. – *Annals of Applied Biology*, 73(1973) p. 19-30.