

ONESNAŽENJE ZRAKA IN KMETIJSKA PRIDELAVA - VPLIV OZONA NA NASTANEK LISTNIH POŠKODB, NETO FOTOSINTEZO IN BIOMASO KLONOV PLAZEČE DETELJE (*Trifolium repens* 'Regal')

DŽUBAN¹, T., TURZA¹, J., TURK¹, B., CIGLAR², R., ZUPANČIČ², B., BATIČ¹, F.
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

IZVLEČEK

V okviru programa ICP-Vegetation (International Cooperative Programme Vegetation) so bile v letu 2000 opravljene raziskave vpliva fotooksidantov na nastanek listnih poškodb, rast biomase in dnevne poteke neto fotosinteze na ozon odpornega (NC-R) in na ozon občutljivega (NC-S) klona plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'). Prispevek obravnava nekatere rezultate poizkusov v Rakičanu, Ljubljani in Iskrbi. Meritve in opazovanja na rastlinah so bile primerjane z meteorološkimi parametri na poskusnem mestu in koncentracijami ozona v zraku. Za primerjavo obeh vrst podatkov je bila uporabljena metoda umetnih nevronske mreže. Rezultati meritev v Rakičanu so pokazali, da je potek fotosinteze pri klonu občutljivem na ozon močno odvisen od koncentracije ozona in kot tak njen dober kazalec. Tudi pri primerjavi vplivov merjenih parametrov na prirastek biomase se je izkazalo, da je ozon tisti, ki neposredno in posredno vpliva na rast in razvoj plazeče detelje. Ugotovljeno je bilo, da je metoda umetnih nevronske mreže primerna za določanje faktorjev prispevnosti pri ugotavljanju vpliva klimatskih in polucijskih dejavnikov na merjene parametre pri plazeči detelji.

Ključne besede: bioindikator, fotooksidanti, onesnaževanje zraka, ozon, plazeča detelja, Slovenija

ABSTRACT

AIR POLLUTION IN AGRICULTURAL PRODUCTION - IMPACT OF OZONE ON APPEARANCE OF LEAF INJURIES, BIOMASS INCREMENT AND NET PHOTOSYNTHESIS OF WHITE CLOVER (*Trifolium repens* 'Regal')

As a part of an international cooperative programme (ICP-Vegetation) the effects of photooxidants on growth, leaf injuries and net photosynthesis of ozone resistant (NC-R) and ozone sensitive (NC-S) white clover clones (*Trifolium repens* 'Regal') were investigated in 2000. The article deals with some results from sites Rakičan, Ljubljana and Iskrba. The measurements of meteorological parameters, ozone concentration, net photosynthesis, leaf injuries and increase of biomass were analysed with the artificial neural networks. The results from Rakičan showed big impact of ozone concentration

¹ Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana

² Hidrometeorološki inštitut Slovenije, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

on net photosynthesis, so the photosynthesis can be considered as a good indicator of high ozone concentration. Comparison of contribution of measured parameters impact on biomass showed that due to the heterogeneity of growth conditions no single 'most important' parameter could be exposed.

Key words: air pollution, bioindicators, ozone, photooxidants, Slovenia, white clover

1. UVOD

Kmetijstvo je ena najstarejših panog, ki je neločljivo povezana s človeško civilizacijo. Z razvojem civilizacije je povezan tudi pojav onesnaževanja okolja. V zadnji polovici prejšnjega stoletja je postal vpliv onesnaženega zraka na vegetacijo pereč problem po vsem svetu, tudi v Evropi in Sloveniji. V začetku tega obdobja je bilo onesnaženje okolja povezano predvsem s razvojem industrije in energetike, glavno zračno onesnažilo je bil SO₂. To vrsto onesnaženosti zraka so v razviti Evropi in v zadnjem času tudi v Sloveniji uspešno odpravili. Vzporedno pa je začelo naraščati onesnaženje zraka z drugimi onesnažili, ki izvirajo iz prometa in številnih drugih dejavnosti človeka. Med njimi prevladujejo dušikovi oksidi, hlapni ogljikovodiki in odporni organski polutanti. Iz vseh teh nastajajo v fotokemičnih reakcijah v zraku sekundarni polutanti kot so fotokemični oksidanti in med njimi predvsem ozon. Ta postaja glavno onesnažilo zraka v Evropi, že dolgo je to v Združenih državah Amerike. Prekomerne koncentracije ozona nastajajo tudi v ruralnih območjih, kamor zanesejo zračne mase njihove prekursorje iz virov nastanka v mestnih okoljih. Značilnost teh sekundarnih polutantov je prav v tem, da onesnažujejo predele, ki so zelo oddaljeni od kraja nastanka izhodiščnih onesnažil zraka (Krupa in Manning, 1988).

Ozon je naravni sestavni del stratosfere. Nastaja kot posledica fotolize molekule kisika v višinah okrog 20 km, kjer prestreza sončno UV sevanje. Ozon v troposferi nastaja v fotokemičnih reakcijah iz dušikovih oksidov (NO_x) in hlapnih organskih spojin. Obe skupini spojin (NO_x, VOC) nastajata tudi v naravi, v procesih v tleh in vegetaciji. Troposferski ozon je postal glavno onesnažilo v ozračju širom po svetu. V velikih koncentracijah povzroča poškodbe listov, ovira rast in razvoj rastlin, zmanjšuje pridelek itd. (Tonneijck in Van Dijk, 1997). Koncentracija troposferskega ozona se je še posebej močno povečala zaradi večjih emisij plinov, ki nastajajo ob izgorevanju goriv motornih vozil in v nekaterih industrijskih procesih. Posledice tega povečanja koncentracij ozona v troposferi se v kmetijstvu kažejo kot zmanjšanje pridelka in v slabši kakovosti pridelka nekaterih vrst kmetijskih rastlin. Ozon škodljivo vpliva na zdravje človeka, na samoniklo vegetacijo in na obstojnost raznih materialov (McKersie in Leshem, 1994).

Od leta 1995 je Slovenija preko Biotehniška fakultete vključena v mednarodni program ICP Vegetation, ki se ukvarja s preučevanjem in sledenjem vplivom fotooksidantov na kmetijske rastline in naravno vegetacijo (Batič *et al.*, 1996, Batič *et al.*, 1998, Pačnik *et al.*, 1999). Po enotnem protokolu se izvaja monitoring fotooksidantov v državah EU in v nekaterih pridruženih članicah v okviru obveznosti, ki jih nalaga Konvencija o preprečevanju širjenja onesnaženega zraka na velike razdalje državam podpisnicam. Zaradi odličnih indikatorskih lastnosti je bila izbrana plazeča detelja (*Trifolium repens* žRegal') kot modelna indikatorska rastlina. Ob povečanih koncentracijah ozona se na zgornji strani listov občutljivih klonov te sorte plazeče detelje pojavijo vidne poškodbe listov v obliki belih peg, ki pa ne vplivajo drastično na rast rastlin. Nastanek vidnih poškodb listov, prirast biomase in meritve neto fotosinteze odpornih in občutljivih klonov plazeče detelje smo z metodo umetnih nevronske mreže ovrednotili z izmerjenimi vremenskimi parametri (padavine, temperatura, relativna vlažnost zraka) in izmerjenimi koncentracijami ozona v zraku (AOT 40). AOT 40 (Accumulated dose over a threshold of 40 ppb) je vsota urnih koncentracij ozona nad

40 ppb v svetlem delu dneva. 40 ppb vrednost je bila izbrana kot koncentracijski prag ozona, nad katerim se začno pojavljati na rastlinah poškodbe. Za monitoring fotooksidantov so bili izbrani po Sloveniji značilni kraji, glede na geografsko lego, potek prometnih poti, možnosti tvorbe fotooksidantov in relativen pomen v kmetijski pridelavi.

2. MATERIAL IN METODE

Za ozon občutljivi (NC-S) ter odporni (NC-R) potaknjenci klonov plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') so bili posajeni ter vzdrževani na treh lokacijah po Sloveniji v skladu s standardnim protokolom ICP-Vegetation 2000 (ICP-Vegetation Protocol 2000). Za izvedbo poizkusa so bile izbrane naslednje lokacije: Ljubljana, kot primer mestnega okolja s stalnim dotokom dušikovih oksidov z manjšo možnostjo nastanka ozona, nadmorska višina 340 m, leži v predalpskem pasu Slovenije; Iskrba: dinarski svet, nadmorska višina 540 m, kot primer ruralnega območja; Rakičan: ruralno območje v Panonski nižini, nadmorska višina 190 m, kot primer ruralnega območja s povečano gostoto prometa (večji dotok NOx).

Poganjki plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal') so bili posajeni v 1 litrske lonce ter od začetka aprila pa do konca maja 2000 gojeni v rastlinjaku. Konec maja 2000 so bile rastline presajene v 15-litrske samozalivalne lonce (v vsak lonec 3 sadike) ter postavljene na zgoraj omenjena mesta. Na vsakem mestu je bilo postavljenih 40 loncev (20 loncev občutljivih klonov na ozon (NC-S) ter 20 loncev odpornih klonov na ozon (NC-R)). Poskusne rastline so bile opazovane tedensko. Ocenjevali smo poškodbe listov, število listov ter odstotek poškodovane površine lista na lonec. Za določitev suhe teže listov in stolonov smo vsakih 28 dni rastline porezali, jih posušili ter stehali. Pred vsako žetvijo smo merili fotosintezo in transpiracijo. Meritev smo opravili na 10 rastlinah odpornih ter na 10 rastlinah občutljivih klonov. Hkrati z meritvami so bili merjeni vremenski parametri in koncentracija ozona v zraku na najbližji postaji Hidrometeorološkega zavoda iz Ljubljane. Izbor poskusnih mest je bil pogojen tudi z mrežo teh postaj. Statistična obdelava zbranih podatkov je obsegala ugotavljanje interakcije med poškodbami listne površine, prirastom biomase in velikostjo neto fotosinteze ter AOT 40, relativno zračno vlago ter povprečno dnevno temperaturo. Analiza interakcij med omenjenimi parametri je bila izvršena z metodo umetnih nevronske mreže (Ward Systems 1996, ICP-Crops 1998).

3. REZULTATI IN DISKUSIJA

Preglednica 1: Poškodbe listov in biomasa odpornih (R) ter občutljivih (S) klonov plazeče detelje v povezavi z relativno zračno vlago ter AOT 40 na poskusnem polju Rakičan.

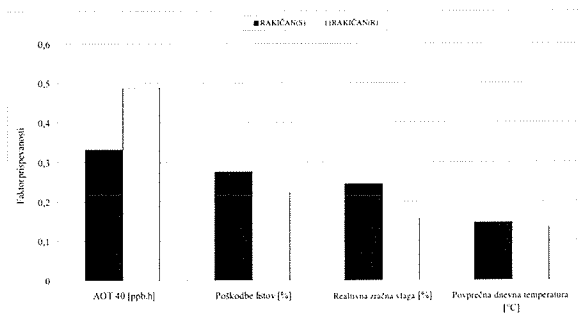
Table 1: Leaf injuries and biomass of resistant (R) and sensitive (S) white clover clones in connection with relative humidity and AOT 40 at experimental site Rakičan.

Datum žetve	Biomasa 'S' [g]	Poškodbe listov 'S' [%]	Biomasa 'R' [g]	Poškodbe listov 'R' [%]	Zračna vlaga [%]	AOT40 [ppb h]
29.6.00	6,80	11,5	5,62	5,0	67	241,0
29.7.00	13,47	5,0	10,66	4,5	72	70,5
2.9.00	13,27	3,5	9,07	3,5	84	56,0

Slika 1: Vpliv posameznih parametrov na biomaso za ozon občutljivih (S) in ozon odpornih klonov (R) plazeče detelje na poskusnem polju Rakičan.

Figure 1: Influence of chosen parameters on biomass of ozone sensitive (S) and ozone resistant (R) clones of white clover at experimental site Rakičan.

V preglednici 1 je vidno, da je bila največja koncentracija ozona (AOT 40) v Rakičanu v mesecu juniju (241 ppb h) in takrat so se tudi pojavljale največje poškodbe na listih. V naslednjih mesecih so se poškodbe na listih zmanjševale s koncentracijo ozona. Slika 1 kaže, da je AOT 40 dejansko največ prispeval k zmanjšanju biomase.



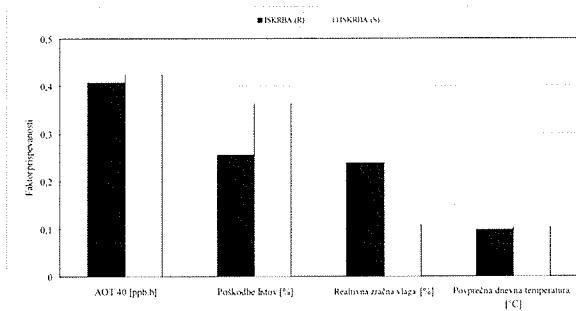
Preglednica 2: Poškodbe listov in biomaso odpornih (R) ter občutljivih (S) klonov plazeče detelje v povezavi z relativno zračno vlago ter AOT 40 na poskusnem polju Iskrba.

Table 2: Leaf injuries and biomass of resistant (R) and sensitive (S) white clover clones in connection with relative humidity and AOT 40 at experimental site Iskrba.

Datum žetve	Biomasa 'S' [g]	Poškodbe listov 'S' [%]	Biomasa 'R' [g]	Poškodbe listov 'R' [%]	Zračna vlaga [%]	AOT 40 [ppb h]
24.6.00	1,66	3,37	2,15	5,62	63	78,0
20.7.00	1,69	2,99	1,92	3,88	72	30,0
18.8.00	27,21	3,04	26,50	2,90	66	217,0
15.9.00	7,47	6,09	5,30	3,90	75	251,0

Slika 2: Vpliv posameznih parametrov na biomaso za ozon občutljivih (S) in ozon odpornih klonov (R) plazeče detelje na poskusnem polju Iskrba.

Figure 2: Influence of chosen parameters on biomass of ozone sensitive (S) and ozone resistant (R) clones of white clover at experimental site Iskrba.



Preglednica 2 kaže, da so ob največji koncentraciji ozona (septembra: AOT 40 = 251 ppb h) bile poškodbe listov največje pri klonu S, vendar se zaradi sušnega stresa ni tako dobro izrazila kot v Rakičanu. Slika 2 prav tako pokaže, da je AOT 40 dejansko največ prispeval k zmanjšanju biomase.

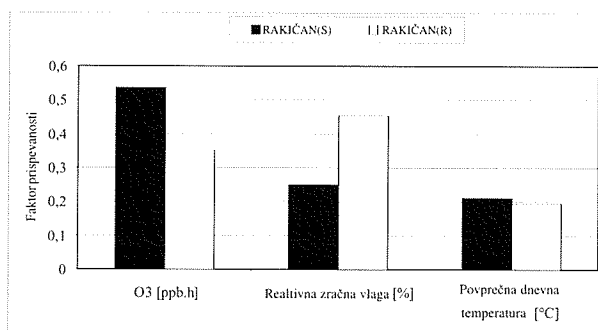
Preglednica 3: Dnevni potek meteoroloških parametrov, koncentracije ozona in neto-fotosinteze na ozon občutljivih (S) in odpornih (R) klonov plazеče detelje 29. 6. 2000 v Rakičanu.

Table 3: Daily course of meteorological parameters, ozone concentration and net photosynthesis of ozone sensitive (S) and ozone resistant (R) clone of white clover on June 29th 2000 at the experimental site Rakičan.

ura meritve	O3 [ppb.h]	Sevanje [W/m ²]	Rel. zračna vlaga [%]	T [°C]	Odporni klon (R) PS [mmol-2s-1]	Občutljiv klon (S) PS [mmol-2s-1]
8	10	353	66	16,9		9,39
9	28	336	64	17,8	13,47	10,57
10	44	433	61	18,6	12,65	11,46
11	69	840	51	20,4	12,28	13,26
12	82	908	44	22,3	12,22	12,12
13	85	775	41	23,0	13,15	11,67
14	88	550	42	23,2	9,17	11,79
15	93	358	42	23,2	8,65	9,75
16	92	250	41	23,3	7,97	7,94
17	96	202	43	23,1	5,69	7,39
18	95	111	46	22,8	5,33	4,58

Slika 3: Vpliv meteoroloških parametrov in ozona na neto fotosintezo na ozon občutljivih (S) in odpornih (R) klonov plazеče detelje 29. 6. 2000 na poskusnem polju Rakičan.

Figure 3: Influence of meteorological parameters and ozone on net photosynthesis of ozone sensitive (S) and ozone resistant (R) clone of white clover on June 29th 2000 at the experimental site Rakičan.



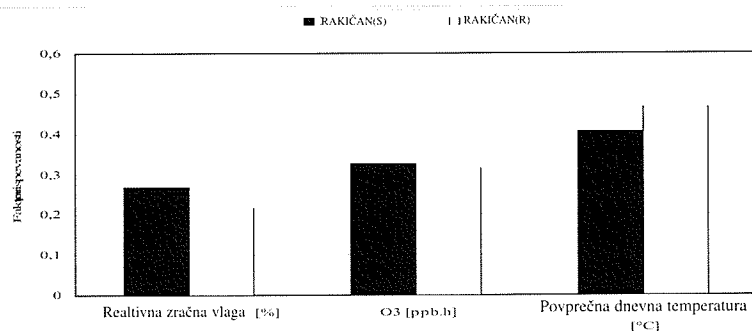
Preglednica 4: Dnevni potek meteoroloških parametrov, koncentracije ozona in neto fotosinteze na ozon občutljivih (S) in odpornih (R) klonov plazeče detelje 29. 7. 2000 na poskusnem polju Rakičan.

Table 4: Daily course of meteorological parameters, ozone concentration and net photosynthesis of ozone sensitive (S) and ozone resistant (R) clone of white clover on July 29th 2000 at the experimental site Rakičan.

ura meritve	O3 [ppb.h]	Sevanje [W/m ²]	Rel. zračna vlaga [%]	T [°C]	Odporni klon(R) PS [m mol-2s-1]	Občutljiv klon(S) PS [mmol-2s-1]
8	28	243	87	15,1	10,88	12,48
9	26	619	79	17,6	13,66	11,33
10	40	740	62	20,5	13,28	9,09
11	59	635	54	22,0	15,35	11,39
12	87	802	51	22,7	15,23	20,15
13	94	848	47	23,7	28,20	22,24
14	97	270	49	22,9	14,65	15,48
15	95	600	46	23,6	10,08	10,91
16	100	583	46	24,4	10,21	10,27
17	99	428	44	24,7	5,60	7,22
18	102	227	47	24,4	5,13	6,98

Slika 4: Vpliv meteoroloških parametrov in koncentracije ozona na neto fotosintezo na ozon občutljivih (S) in odpornih (R) klonov plazeče detelje 29. 7. 2000 na poskusnem polju Rakičan.

Figure 4: Influence of meteorological parameters and ozone concentration on net photosynthesis of ozone sensitive(S) and ozone resistant (R) clone of white clover on July 29th 2000 at the experimental site Rakičan.



V preglednici 3 in 4 je za mesece junij in julij vidno da se je neto fotosinteza spreminjala z globalnim sevanjem, prav tako je razvidno, da je neto fotosinteza pri občutljivih klonih ob isti uri nekoliko manjša kot pri klonih odpornih na ozon, kar je lahko posledica zmanjšanja fotosintetske površine in delovanja ozona znotraj rastline.

Slika 3 kaže da je koncentracija ozona tista ki najbolj vpliva na potek neto fotosinteze pri klonih ki so občutljivi na večje koncentracije ozona (faktor prispevanosti preko 50%), med tem ko je faktor prispevanosti pri klonih odpornih na ozon največji pri relativni zračni vlagi (pribl. 45%).

Slika 4 kaže da je na potek neto fotosinteze v mesecu juliju najbolj vplivala povprečna dnevna temperatura (faktor prispevanosti 45%) tako za odporne kot za občutljive klone plazeče detelje.

4. SKLEPI

Rezultati izvedenega poskusa so pokazali, da so koncentracije ozona na eksperimentalnih lokacijah bile dovolj velike za nastanek vidnih poškodb na listih plazeče detelje (*Trifolium repens* 'Regal'), prav tako so te koncentracije vidno vplivale na potek neto fotosinteze poskusnih rastlin. Plazeča detelja je bila v poskusu dober bioindikator delovanja ozona kot polutanta, zelo dobro pa se je izražala odpornost na delovanje ozona, saj se je v rezultatih izrazila vidna razlika med poškodovanostjo listov ter potekom neto fotosinteze odpornih in neodpornih klonov.

5. VIRI

- Batič F. et al. 1996. Onesnaževanje ozračja in vplivi na kmetijsko proizvodnjo. University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Agronomy department. Novi izzivi v poljedelstvu, 121-125.
- Batič, F., Bienelli, A., Celar, F., Cigar, R., Džuban, T., Čuhalev, I., Kopusar, N., Mikuž, T., Pačnik, P., Sinkovič, T., Šircelj, H., Turk, B., Turza, J., Zupančič, B. 1998. Results of the ICP-Crops project carried out in Slovenia. V: (Rečnik, M & Verbič, J., eds) Agriculture and Environment; Zbornik posveta, Bled, 12.-15. 3.1998. 565-572.
- ICP-crops Artificial neural networks workshop, 1998.
- Krupa, S. V., Manning, W. J. 1988. Atmospheric Ozone: Formation and Effects on Vegetation. Environmental Pollution, 50, 101 - 137.
- McKersie, B. D. & Leshem, Y. Y. 1994. Stress and stress coping in cultivated plants. Kluwer Academic Publishers, 256 pp.
- Pačnik, L., Batič, F., Šircelj, H. 1999: Vpliv ozona na pojav listnih poškodb in spremembe izbranih biokemičnih parametrov pri plazeči detelji (*Trifolium repens* L.). V (Kreft, I.) Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, 73, 1:123-134.
- Tonneijck, A. E. G., Van Dijk, C. J. 1997. Assessing effects of ambient ozone on injury and growth of *Trifolium subterraneum* at four rural sites in the Netherlands with ethylenediurea (EDU). Agriculture, Ecosystems and Environment, 65:79 - 88.
- Ward systems group, Inc. 1996. Neuroshell 2, s. 1-4.