

# Mogući štetni učinci troposferskog ozona na mediteranske šumske ekosustave



Lucija Lovreškov

Zavod za ekologiju šuma

Hrvatski šumarski institut

lucijal@sumins.hr

Dr. sc. Tamara Jakovljević, znanstveni savjetnik

Zavod za ekologiju šuma

Hrvatski šumarski institut

Zagreb, rujan 2021.

# SADRŽAJ

## 1. UVOD

- Ozon
- Stanje u EU
- Stanje u RH

## 2. MATERIJALI I METODE

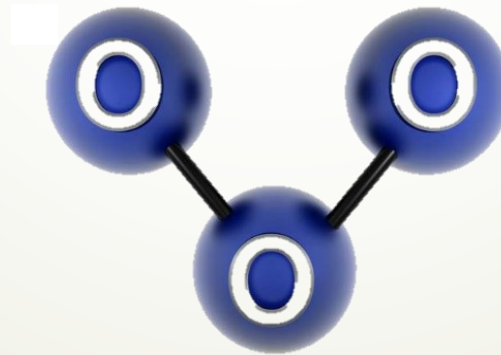
- Mjerenje pasivnog ozona
- Parametri procjene utjecaja onečišćenja na vegetaciju - AOT40 i PODY
- Vizualna procjena oštećenja

## 3. REZULTATI

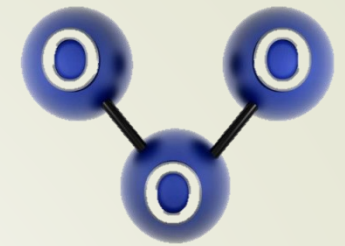
## 4. ZAKLJUČAK

# 1. UVOD

- Prizemni ozon ( $O_3$ )
- Nastaje kao produkt fotokemijske reakcije koju uzrokuju spojevi poput metana ( $CH_4$ ), dušikovih oksida ( $NO_x$ ), ugljičnog monoksida ( $CO$ ) i isparljivih organskih spojeva (VOC) pri visokim temperaturama i sunčevoj svjetlosti



Slika 1. Molekula ozona ( $O_3$ )

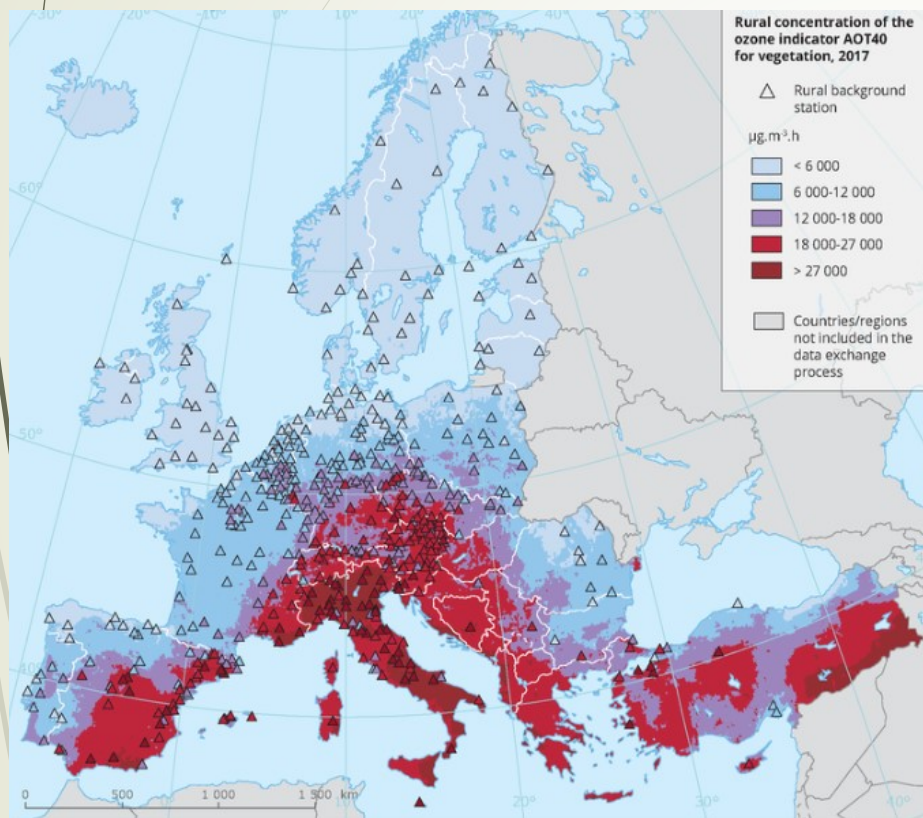


## 1. UVOD

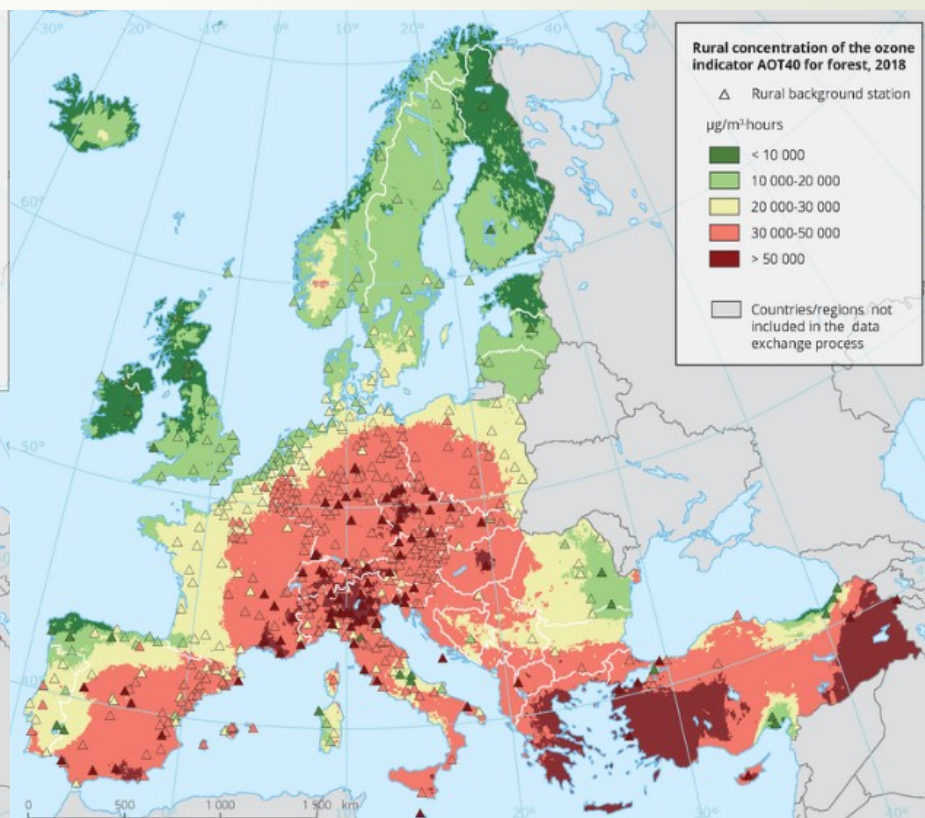
- Ozon kroz puči ulazi u list/iglice -> oštećenje
- Osjetljivost šuma na ozon
  - reakcije na ozon variraju ovisno o vrsti, genotipu, fenologiji biljaka, lišću, položaju u krošnji i dostupnosti hranjivih tvari
- Uzrokuje u kombinaciji s drugim faktorima poput suše i zatopljenja defolijaciju, oštećenje lišća/iglica i smanjenje rasta i prinosa
- Parametri procjene utjecaja onečišćenja na vegetaciju - AOT40 i PODY

# Direktiva 2008/50/EC

2017



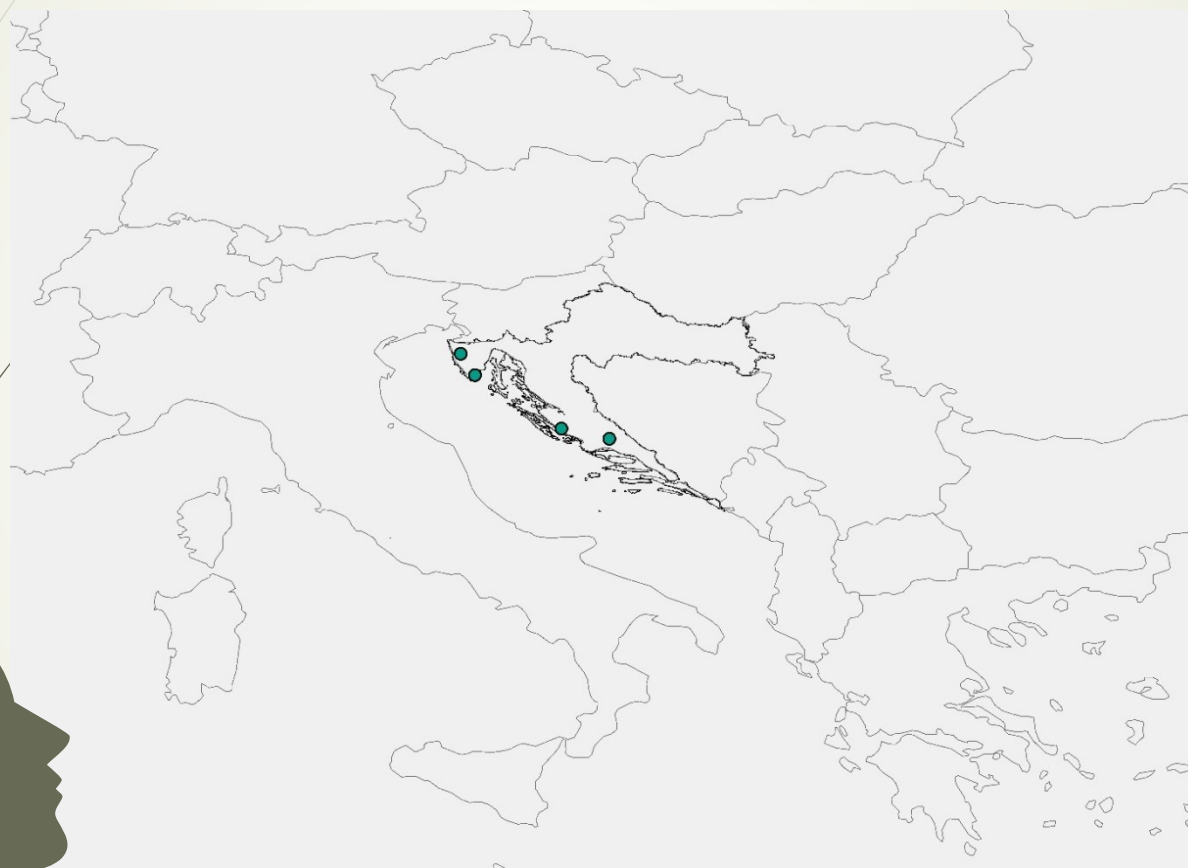
2018



Slika 2. Koncentracija ozona prema AOT40 za vegetaciju, 2017. i 2018. (European Environmental Agency)



# Stanje u Hrvatskoj?

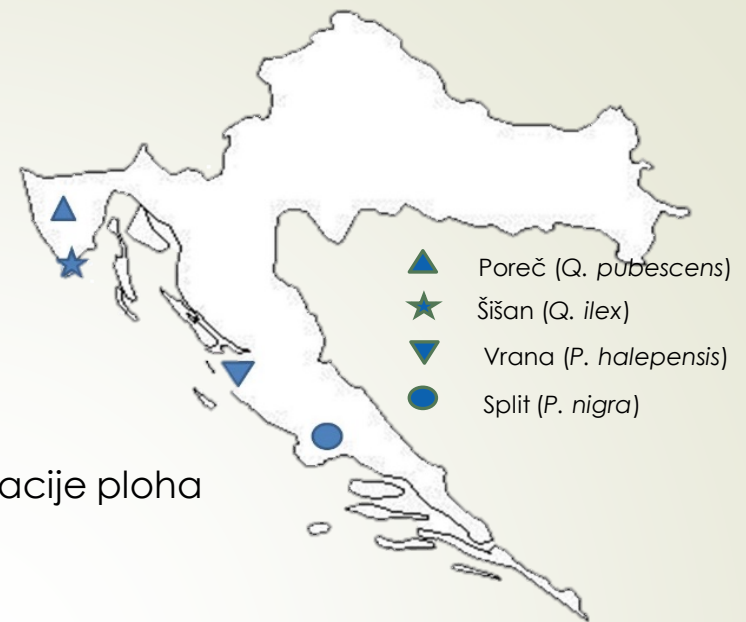


## 2. MATERIJALI I METODE

- Uzorkovanje i analize rađene prema metodologiji Međunarodnog programa za procjenu i motrenje utjecaja zračnog onečišćenja na šume (UNECE – ICP Forests)



## 2. MATERIJALI I METODE



Slika 3. Lokacije ploha

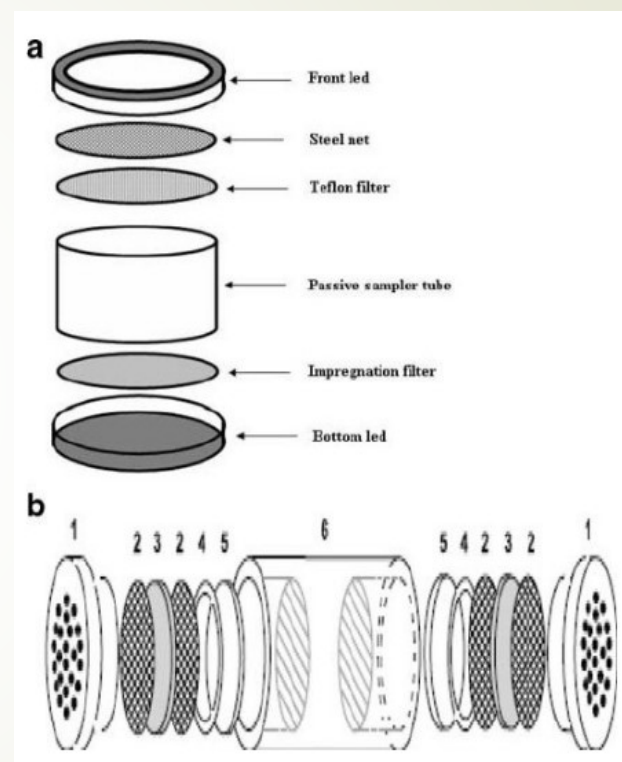
Tablica 1. Opis ploha

	<b>POREČ</b>	<b>ŠIŠAN</b>	<b>VRANA</b>	<b>SPLIT</b>
Glavna vrsta	Hrast medunac ( <i>Quercus pubescens</i> )	Crni hrast ( <i>Quercus ilex</i> )	Alepški bor ( <i>Pinus halepensis</i> )	Crni bor ( <i>Pinus nigra</i> )
Regija	Istra	Istra	Dalmacija	Dalmacija
Zemljopisna širina	45° 14'59.2" N	44° 51'41.2" N	43° 53'23" N	43° 41'59" N
Zemljopisna dužina	13° 43'52.9" E	13° 59'24.4" E	15° 33'47" E	16° 26'34" E
Nadmomska visina (m)	264	3	20	550
Vrsta tla	Terra rossa	Terra rossa	Calcocambisol	Calcocambisol
Biogeografska zona	Mediteran	Mediteran	Mediteran	Mediteran



# Mjerenje pasivnog ozona

- Prema ICP Forests metodologiji
- Mjerenja: Ogawa mjerac
- Uzorkovanje: Svaka dva tjedna
- Lokacija: na otvorenom
- Koncentracija ozona preračunat iz nitrata određenih na ionskom kromatografu
- Podaci pasivnih mjeraca su iz dvotjednih prebačeni na satne podatke pomoću Loibl jednadžbe za izračune parametara AOT40 i PODY



Slika 4. Ogawa mjerac  
(Izvor: Salem i sur., 2009)

# AOT40

- Parametar AOT40 - Accumulated dose of ozone Over a Threshold of 40 ppb
- „AOT40 je zbroj razlika između srednje satne koncentracije  $O_3$  (u ppb) i granične vrijednosti od 40 ppb  $O_3$  kada koncentracija premašuje 40 ppb tijekom dnevnog vremena, akumulirane u navedenom vremenskom razdoblju“

# AOT40

Direktiva 2008/50/EC

$$\rightarrow \text{AOT40}_{dir} = \int_{t=1 \text{ April}}^{30 \text{ September}} \max([O_3] - 40, 0) \cdot dt \quad (1)$$

[O<sub>3</sub>] – koncentracija ozona  
dt – vremenski korak (1 h)

ICP Vegetation

$$\rightarrow \text{AOT40}_{ICP} = \int_{t=SGS}^{EGS} \max([O_3] - 40, 0) \cdot dt \quad (2)$$

SGS – početak vegetacijskog razdoblja  
EGS – kraj vegetacijskog razdoblja

**Mediterranske zimzelene vrste i četinjače** – 1. siječnja do 31. prosinca

**Listopadne vrste** - od 1. travnja do 30. rujna

# AOT40<sub>pheno</sub> i MOTTLES



- MOTTLES je utemeljen kao dio LIFE 2015 programa za zaštitu šuma od ozona uzrokovanih klimatskim promjenama
- Iz MOTTLES-a proizašla je jednačba:

$$\text{➤ } \mathbf{AOT40}_{pheno} = \int_{t=aSGS}^{aEGS} \mathbf{max}([O_3] - 40, 0) \cdot dt \quad (3)$$

[O<sub>3</sub>] – koncentracija ozona  
dt – vremenski korak (1 h)

aSGS – stvarni početak vegetacijskog razdoblja  
aEGS – stvarni kraj vegetacijskog razdoblja

# PODY

- PODY (eng. *Phytotoxic O<sub>3</sub> Dose above a threshold flux of Y*)-akumulirani stomatalni unos ozona tijekom određenog vremenskog razdoblja
- $DO_3SE$  (Deposition of O<sub>3</sub> for Stomatal Exchange) koristi se za određivanje parametra PODY
- Prag Y: 0, 1 i 2 mmol m<sup>-2</sup>
- POD0, POD1 i POD2



# PODY

$$\rightarrow g_{sto} = g_{max} \times [f_{phen} \times f_{light} \times \max\{f_{min} (f_{temp} \times f_{VPD} \times f_{SWC})\}] \quad (4)$$

$$\rightarrow PODY = \int_{i=1}^n [((g_{sto} \times [O_3]) - Y), 0]. dt \quad (5)$$

$g_{sto}$  - hourly stomatal conductance of  $O_3$  ( $\text{mmol } O_3 \text{ m}^{-2}$ )

$g_{max}$  - specific maximum stomatal conductance of a plant species to  $O_3$  ( $\text{mmol } O_3 \text{ m}^{-2} \text{ PLA s}^{-1}$ )

$f_{phen}$  - species phenology

$f_{light}$  - photosynthetically flux density at the leaf surface (PPFD,  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )

$f_{temp}$  - surface air temperature (T,  $^{\circ}\text{C}$ )

$f_{VPD}$  - vapor pressure deficit (VPD, kPa) estimated through the surface air humidity

$f_{SWC}$  - soil water content (SWC,  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ).

$f_{min}$  - minimum  $g_{sto}$  expressed as a fraction of  $g_{max}$

\*these functions are limiting factors expressed in relative terms in values from 0 to 1 to a proportion of  $g_{max}$

(ICP Vegetation, 2017)

# VIDLJIVA OŠTEĆENJA

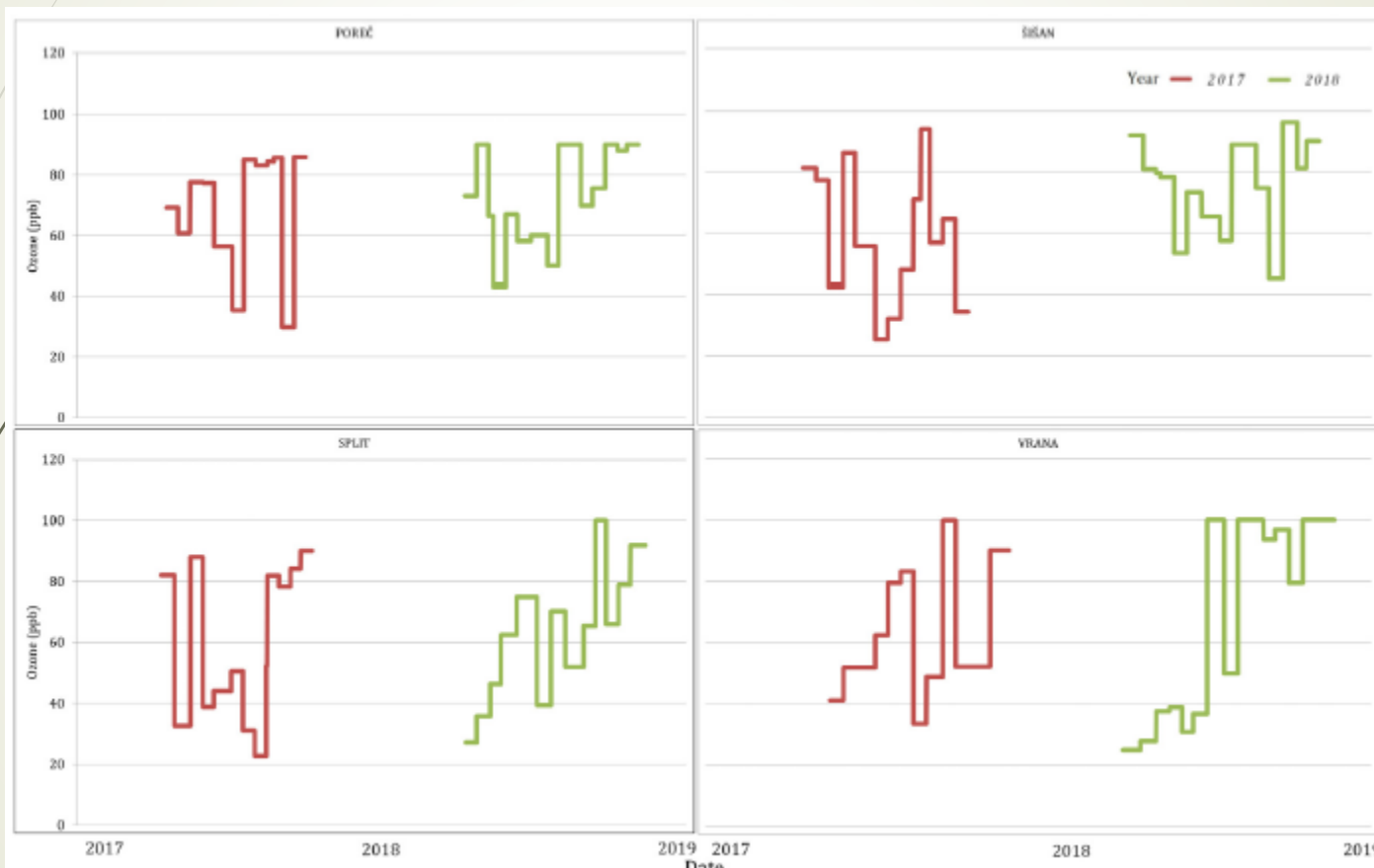
- Prema ICP Forests metodologiji
- Vrše dva iskusna promatrača
- Gleda se strana izložena suncu
- Potpuno razvijeno lišće
- Vidljivi simptomi na lišću mogu se pikazat kao male žute, crne ili ljubičasto-crvene točke ili samo promjena u boji lista



Slika 5. Vidljiva oštećenja na lišću  
(Izvor: dr. sc. N. Potočić, i dr. sc. I. Seletković, HŠI)

### 3. REZULTATI

**100 ppb** - preporučeno kao gornja granica za zaštitu šuma (IV Forests)



Slika 6. Pasivni ozon u ppb u 2017. i 2018.

Tablica 2. Rezultati pasivnog ozona za POD0, POD1, POD2, AOT40<sub>dir</sub>, AOT40<sub>ICP</sub> i AOT40<sub>pheno</sub>

Ploha	Godina	POD0	POD1	POD2	AOT40 <sub>dir</sub>	AOT40 <sub>ICP</sub>	AOT40 <sub>pheno</sub>
		mmol m <sup>-2</sup>			ppb h		
PORE	2017	11.53	4.73	0.47	7870.19	7068.57	7221.03
SISA	2017	3.33	0.09	0.00	2486.57	2379.27	2379.27
SPLI	2017	32.64	24.24	14.80	57359.01	57895.57	57895.57
VRAN	2017	6.81	2.45	0.29	20170.01	25297.37	25297.37
PORE	2018	16.32	7.58	0.93	13112.74	11543.69	16590.08
SISA	2018	3.30	0.12	0.00	4479.54	5829.34	5829.34
SPLI	2018	31.88	21.81	9.06	55880.15	68677.81	68677.81
VRAN	2018	9.23	3.20	0.39	39692.13	45760.95	45760.95

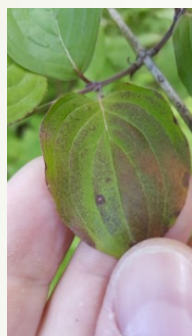


# VIDLJIVA OŠTEĆENJA

Uočeno  
na niskom  
raslinju



Oštećenja što liče na oštećenja O<sub>3</sub>



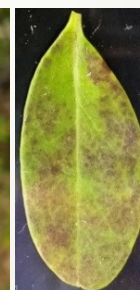
Simptomi oštećenja na lišću + mikroskopski validirani



Višnjan 2016



Višnjan 2017



Višnjan 2018 +  
validacija **Da**

Izvor: dr. sc. Nenad Potočić i  
dr. sc. Ivan Seletković, HŠI

Izvor: Pierre Vollenweider, WSL, Švicarska  
Ekspert za procjenu vidljivih oštećenja uzrokovanih O<sub>3</sub>



## 4. ZAKLJUČAK

- Ozon na sve četiri plohe bio blizu ili je dosegnuo vrijednost 100 ppb
- Veće doze izloženosti ozonu (AOT40) opažene su kod crnog i alepskog bora, dok za PODY na plohi crnog bora
- PODY je prikladniji za procjenu ozona jer je biološki i klimatološki značajniji od AOT40
- Vidljiva oštećenja se pojavljuju na grmlju



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



## Impact of ground-level ozone on Mediterranean forest ecosystems health

Tamara Jakovljević<sup>a</sup>, Lucija Lovreškov<sup>a</sup>, Goran Jelić<sup>b</sup>, Alessandro Anav<sup>c</sup>, Ionel Popa<sup>d,g</sup>, Maria Francesca Fornasier<sup>e</sup>, Chiara Proietti<sup>e</sup>, Ivan Limić<sup>b</sup>, Lukrecija Butorac<sup>b,\*</sup>, Marcello Vitale<sup>f</sup>, Alessandra De Marco<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Croatian Forest Research Institute, Cvjetno naselje 41, 10450 Jastrebarsko, Croatia

<sup>b</sup> Institute for Adriatic Crops and Karst Reclamation, Put Duilova 11, 21000 Split, Croatia

<sup>c</sup> Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), CR Casaccia, Viale Anguillarese 301, 00123 Rome, Italy

<sup>d</sup> National Institute for Research and Development in Forestry "Marin Drăscu", Calea Bucureștilor 73 bis, Compiulung Moldoveza, Romania

<sup>e</sup> Italian National Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA), Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Rome, Italy

<sup>f</sup> Sapienza University of Rome, Department of Environmental Biology, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Rome, Italy

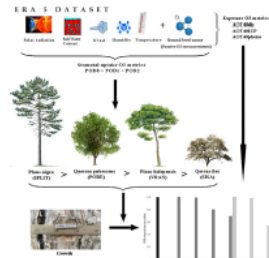
<sup>g</sup> Centre of Mountain Economy – CE-MONT, Vatra Dornei, Romania



### HIGHLIGHTS

- Ozone metrics from passive O<sub>3</sub> measurements in Mediterranean forests were estimated.
- Higher ozone exposure doses (AOT40) were observed in *P. nigra* and *P. halepensis* plot, while higher ozone fluxes (PODY) in *P. nigra*.
- Relationships between environmental parameters and forest health response indicators were assessed.
- Defoliation was significantly correlated with soil water content at various depths.
- The most important predictors affecting tree growth were AOT40 and POD0.

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 30 December 2020  
 Received in revised form 2 April 2021  
 Accepted 2 April 2021  
 Available online xxx

Edited by: Jay Gan

#### Keywords:

Crown defoliation  
 Growth  
 Mediterranean forest types  
 Ozone levels  
 Ozone metrics

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [tamara.jakovljevic@sumins.hr](mailto:tamara.jakovljevic@sumins.hr) (T. Jakovljević), [lucija@sumins.hr](mailto:lucija@sumins.hr) (L. Lovreškov), [goranjelic@krs.hr](mailto:goranjelic@krs.hr) (G. Jelić), [alessandro.anav@enea.it](mailto:alessandro.anav@enea.it) (A. Anav), [chiara.proietti@sprambiente.it](mailto:chiara.proietti@sprambiente.it) (C. Proietti), [ivan.limic@krs.hr](mailto:ivan.limic@krs.hr) (I. Limić), [lukrecijabutrac@krs.hr](mailto:lukrecijabutrac@krs.hr) (L. Butorac), [marcello.vitale@uniroma1.it](mailto:marcello.vitale@uniroma1.it) (M. Vitale), [alessandramarco@enea.it](mailto:alessandramarco@enea.it) (A. De Marco).

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147063>  
 0048-9697/© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

➤ Jakovljević, T., Lovreškov, L., Jelić, G., Anav, A., Popa, I., Fornasier, M. F., Proietti, C., Limić, I., Butorac, L., Vitale, M., De Marco, A. (2021). **Impact of ground-level ozone on Mediterranean forest ecosystems health.** Science of The Total Environment 783, 147063.

➤ DOI:  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147063>





# HVALA NA PAŽNJI!

