

UDC 582.772.2 : 581.522.5 : 504.3.054 (497.11)  
Original scientific paper

MARINA MAČUKANOVIĆ, GORDANA DRAŽIĆ<sup>1</sup>, BRANKA  
STEVANOVIĆ<sup>2</sup>

**UTICAJ AEROZAGADENJA NA EKOFIZIOLOŠKE I ANATOMSKE  
KARAKTERISTIKE VRSTA *ACER NEGUNDO* I *ACER  
PSEUDOPLATANUS***

Veterinarski fakultet, Beograd, <sup>1</sup>INEP, Zemun,

<sup>2</sup>Institut za botaniku i botanička bašta „Jevremovac“, Biološki fakultet, Beograd

Mačukanović, M., Dražić, G., Stevanović, B. (1992-1993): *Effect of air pollution on ecophysiological and anatomical characteristics of the species Acer negundo and Acer pseudoplatanus*. – Glasnik Instituta za botaniku i botaničke bašte Univerziteta u Beogradu, Tom XXVI-XXVII, 49 - 62.

The ecophysiological and coanatomical investigations were carried out on the species *Acer negundo* and *A. pseudoplatanus* in order to establish their vitality and ability to survive in polluted urban areas of Belgrade.

The investigations were concerned with the seasonal dynamics of chlorophyll content as well as the leaves structure injuries of both species analyzed from the downtown localities and from the city neighbourhood respectively.

*A. pseudoplatanus* was established as more resistant species although the pollution damages were observed in both trees studied.

Key words: air pollution, *Acer negundo*, *Acer pseudoplatanus*, anatomical adaptations, chlorophyll content.

Ključne reči: aerozagadenje, *Acer negundo*, *Acer pseudoplatanus*, anatomske adaptacije, sadržaj hlorofila.

## UVOD

Zagađenost vazduha kao posledica intenzivne urbanizacije, industrijalizacije i saobraćaja, jedan je od gorućih problema razvijenih gradova. Na području Beograda, takođe, sve je upadljivije negativno dejstvo zagađivača iz vazduha, vode i zemljišta na biljni i životinjski svet, odnosno na populaciju gradskog stanovništva.

Glavni izvori zagađenja vazduha u razvijenim gradovima, pa i u Beogradu, potiču od ljudske aktivnosti: industrije, komunalnih delatnosti (individualne kotlarnice u kojima sagorevaju čvrsta i tečna goriva za zagrevanje domaćinstava, deponije smeća i drugo) i saobraćaja. U atmosferu se oslobadaju primarni i sekundarni polutanti (sumpor-dioksid, vodonik-halogenidi, oksidi azota, ozon, peroksiacetil-nitrat, ugljovodonici, dim, čađ i prašina), dok se u zemljištu i vodi često povećava koncentracija štetih i otrovnih hemijskih supstanci (fenolnih derivata, jedinjenja teških metala, deterdženata, veštačkih đubriva). Fitotoksične substance prodiru u biljke iz okolne, vazdušne sredine ili ih one apsorbuju korenovima iz zemljišta i vode.

Pod dejstvom atmosferskih polutanata različite koncentracije, biljke trpe akutna i hronična oštećenja. Ponekad, to su lako vidljivi simptomi, hloroze ili nekroze biljnih tikiva, pre svega listova, sušenje, ubrzano starenje i opadanje lišća, pa čak i umiranje cele biljke. Pri malim koncentracijama fitotoksičnih supstanci, za određeno vreme, nema lako uočljivih promena na biljkama. Dugotrajno dejstvo malih koncentracija gasovitih zagađivača izaziva hronična oštećenja sa kojima se biljka bori i opstaje, zavisno od granica tolerancije. Hronične promene, međutim, dovode do stalnog, postepenog smanjenja produkcije biomase (Kozłowski, 1980; Ormrod, et al., 1981; Crawford, 1989). Zbog toga je značajno ustanoviti rane simptome nepovoljnog uticaja aerozagađivača na biohemijske i fiziološke procese kod biljaka, kao i prve promene anatomske strukture listova biljaka koje rastu na urbanom području.

U strogom centru Beograda, duž gradskih saobraćajnica, drveće je godinama izloženo izduvnim gasovima i drugim polutantima. Koncentracija zagađivača se menja, zavisno od vremenskih uslova, pre svega prisustva vetra (košave). Pod dejstvom aerozagađivača, ali i promenjenih gradskih klimatskih uslova, na lišću drveća se javljaju hlorotične mrlje i požutele ivice, ono ranije stari i prevremeno opada (već krajem avgusta, pa i ranije). Čitava biljka, tokom vremena postaje neotporna, stvara sve manju biomasu, kruna postaje sve prorednija, naročito u vršnom delu koji se sve slabije snabdeva vodom, grane se postepeno suše i otpadaju i drvo najzad umire. Simptomatologija oštećenja od aerozagađivača je veoma različita i nespecifična. Stoga, veliki praktični značaj ima analiza ranih znakova oštećenja, utvrđivanje rezistentnosti i adaptacija biljaka u uslovima urbane sredine.

U tom cilju analizirana je dinamika količine hlorofila, kao parametar fizioloških promena, i anatomska grada listova, kao parametar strukturnih promena, kod drvenastih biljaka *Acer negundo* i *A. pseudoplatanus* pod dejstvom urbanog aerozagađenja. Ispitivanja su obavljena na biljkama iz strogog centra Beograda, koji je, prema merenjima koje svakodnevno obavlja Gradski zavod za zaštitu zdravlja, izložen visokoj koncentraciji različitih atmosferskih polutanata. Radi preciznije interpretacije rezultata obavljena je uporedna analiza istih parametara, na istim vrstama drveća koje raste u parku (bašti) istraživačkog centra INEP, desetak kilometara udaljenog od strogog centra Beograda.

## MATERIJAL I METODIKA

Biljni materijal za morfo-fiziološka ispitivanja uziman je u strogom centru grada, na opštini Stari Grad. Na prvom lokalitetu, u ulici Đure Đakovića, analizirani su listovi *Acer pseudoplatanus*, a na drugom lokalitetu, u ulici Dunavskoj, listovi *Acer negundo*. Ove gradske saobraćajnice, kojima prolazi laki, putnički i teški, transportni saobraćaj, nalaze se u neposrednoj blizini Ulice 29. novembra u kojoj postoji merna stanica Gradskog zavoda za zaštitu zdravlja. Pomenuti lokaliteti označeni su u radu kao zagađena sredina.

Provera analiziranih karakteristika listova javora obavljena je upoređivanjem sa istim, morfo-fiziološkim parametrima, na listovima javora koji su rasli u daljoj okolini grada, na prigradskom lokalitetu, u dvorištu INEP-a. Ovaj lokalitet označen je kao nezagađena sredina.

### Analiza hlorofila

Sadržaj hlorofila i ukupnih pigmenata u biljnim ekstraktima u DMF izmeren je simultanom spektrofotometrijskom metodom na aparatu AMINCO DW 2. Pigmenti su ekstrahovani u DMF u toku 72 sata na 4°C, u mraku. Za određivanje količine pigmenata korišćeni su koeficijenti po Moranu (Moran, 1982). Rezultati predstavljaju srednju vrednost najmanje četiri nezavisna merenja. Dobijeni podaci obrađeni su kompjuterski, standardnim statističkim metodama.

### Anatomska analiza

Listovi biljaka za anatomsku analizu sakupljeni na terenu, radi trajnog čuvanja, stavljeni su u rastvor alkohola i formalina, a u laboratoriji preneti u fiksativ Navašina (Prozina, 1960). Trajni preparati pravljeni su standardnim postupkom koji obuhvata obradu fiksnog materijala parafinskom metodom, sečenje preseka na ručnom mikrotomu (15 µm debljine) i dvojno bojenje preparata svetlo-zelenim i safraninom (Chamberlain, 1921, Prozina, 1960).

### Kontrola zagađenosti vazduha

Kontrola zagađenosti vazduha u Beogradu obavljena je svakodnevno od strane Gradskog zavoda za zaštitu zdravlja. Preuzeti rezultati ovih merenja prikazani su u tabeli 1.

Tab. 1.

Ulica 29. novembra				
Izvor aerozagađivanja				
stacionarni izvori			motorna vozila	
mesec	SO <sub>2</sub>	čadj	CO	olovo
V	86	56	4,7	4,3
VI	79	68	4,6	4,3
VII	80	71	3,7	3,5
VIII	92	75	3,4	3,2

Na tabeli su date srednje mesečne vrednosti izražene u µg/cm<sup>3</sup>, a, prema standardima, maksimalna dozvoljena doza (MDK) za SO<sub>2</sub> je 150 µm/m<sup>3</sup>, a za čadj 50 µm/m<sup>3</sup>.

### Zagađena sredina

Stablo *Acer negundo* sa kojeg su uzeti listovi za analizu, visoko je oko 15 metara, sa razgranatom, proređenom krošnjom, i nalazi se neposredno uz kolovoz u Dunavskoj ulici.

Stablo *Acer pseudoplatanus* čiji su listovi analizirani nalazi se na trotoaru, okruženo asfaltom, u ulici Đure Đakovića i visoko je oko 10 metara, sa relativno dobro razvijenom i u vršnom delu proređenom krošnjom.

### Nezagađena sredina

Stabla *A. negundo* i *A. pseudoplatanus* sa kojih su uzimani listovi radi kontrolnih merenja, visoka su oko 15 m, približne starosti oko 25 godina, odlikuju se veoma razgranatom i gustom krošnjom, kao i neoštećenim, zelenim listovima.

## REZULTATI

Vrsta *Acer negundo* L. pajasen ili jasenolosni javor poreklom je iz Severne Amerike, gde je rasprostranjen od Kanade do Meksika i Floride. Raste u dolinama reka i jezera, uglavnom na dovoljno vlažnim zemljištima. Jasenolisni javor je severnoamerički florni element i značajna adventivna drvenasta biljka, uspešno introdukovana u Evropi i drugim delovima sveta. Izuzeto često se gaji po parkovima, baštama i drvoredima, zbog čega, na širem prostoru, na takvim mestima, raste i samoniklo. Ovaj javor je heliofilno drvo, ali je osetljiv na nedostatak vode u podlozi i jake vetrove. Relativno je kratkotrajno, tako da u drvoredima dolazi do propadanja delova ili čitave krune već posle 25-30 godina. Cveta rano, već u martu, a cvetovi su dvodomi. Rasejava se i razmnožava vetrom.

Veoma je pogodno drvo za urbane uslove jer brzo raste, naročito u mladosti i veoma je dekorativnog izgleda. Na gradskim „zelenim” površinama u Beogradu spada među najčešće gajeno drveće u drvoredima i parkovima (Jovanović, 1950).

Vrsta *Acer pseudoplatanus* L., javor, rasprostranjena je u celoj Evropi, izuzev na Pirinejskom poluostrvu. Najčešće se sreće u brdskom šumskom pojasu, dok u južnoj Evropi raste u regionu bukve ili mešovitim šuma bukve i jele. Pripada srednjeevropskom flornom elementu. Najbolje uspeva na umereno vlažnim i umereno hladnim staništima, sa dobro razvijenim zemljištem. Ovo drvo u prirodi može da dostigne veliku starost (do 300 godina). Počinje da cveta tek kad dostigne oko 20 godina starosti. U isto vreme cveta i lista, i to od aprila do juna. Raste brzo, formira stablo sa velikom i dekorativnom krunom zbog čega se često gaji u parkovima, baštama i gradskim drvoredima. U hortikulturi su cenjene ukrasne forme ovog javora sa lišćem od svetlo do tamno zelene i zeleno-crvene boje. Dostiže visinu od oko 30 m i širinu stabla od oko 2,5 m.

Rezultati merenja količine ukupnog hlorofila kod vrsta *A. negundo* i *A. pseudoplatanus* iz nezagađene (prigradske) i zagađene (gradske) sredine prikazani su na tabeli 2.

Tab. 2. – Količina hlorofila ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) u listovima *Acer negundo* i *A. pseudoplatanus* tokom vegetacijskog perioda, u zagadenoj i nezagadenoj sredini.

Chlorophyll content ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) in leaves of *A. negundo* and *A. pseudoplatanus* during vegetation period in polluted and unpolluted area.

datum (date)	Acer pseudoplatanus		Acer negundo	
	Chl <sub>a+b</sub> " ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Chl <sub>a+b</sub> ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Chl <sub>a+b</sub> ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	Chl <sub>a+b</sub> ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
	nezagadeno (unpolluted)	zagadeno (polluted)	nezagadeno (unpolluted)	zagadeno (polluted)
22/5/90	61.36	70.50	42.68	42.06
25/6/90	69.87	56.80	45.44	58.30
23/7/90	82.86	39.03	31.72	57.75
30/8/90	70.05	39.28	38.88	37.15
3/10/90	67.30	15.76	36.73	17.43

### *Acer negundo*

#### Sadržaj hlorofila

Kod mladih listova jasenolisnog javora, u maju, izmerena je skoro podjednaka količina hlorofila kako u nezagadenoj ( $42,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) tako i u zagadenoj sredini ( $42,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Tokom sezone, međutim, koncentracija hlorofila se neznatno povećavala u listovima biljke iz nezagadene sredine, tako da je u junu postigla vrednost od  $45,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , a zatim se, do kasno jesenjeg perioda zadržala na nešto manjim, ali konstantnim vrednostima (prosečno za period juli-oktobar  $35,7 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). U istom periodu, koncentracija hlorofila u listovima biljke iz zagadene sredine dostigla je visoku vrednost u junu od  $58,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ , a zatim se naglo smanjivala krajem leta i početkom jeseni. U oktobru je konstatovana vrednost od svega  $17,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  što je upola manja koncentracija hlorofila od one konstatovane kod listova jasenolisnog javora iz nezagadene sredine (Sl. 1).

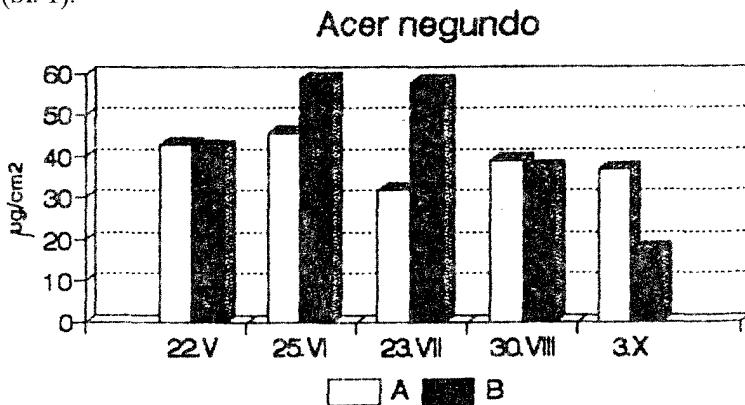


Fig. 1. – Sezonska dinamika količine hlorofila ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) u listovima *Acer negundo* u A – nezagadenoj i B – zagadenoj sredini.

Seasonal variations of chlorophyll content in leaves of *Acer negundo* from A – unpolluted, and B – polluted area.

## Ekoanatomske odlike

Listovi *A. negundo* su neparno perasto složeni, najčešće od 5 listića dugih oko 5-10 cm, na vrhu zašiljenih, a pri osnovi okruglastih, i po obodu fino nazubljenih.

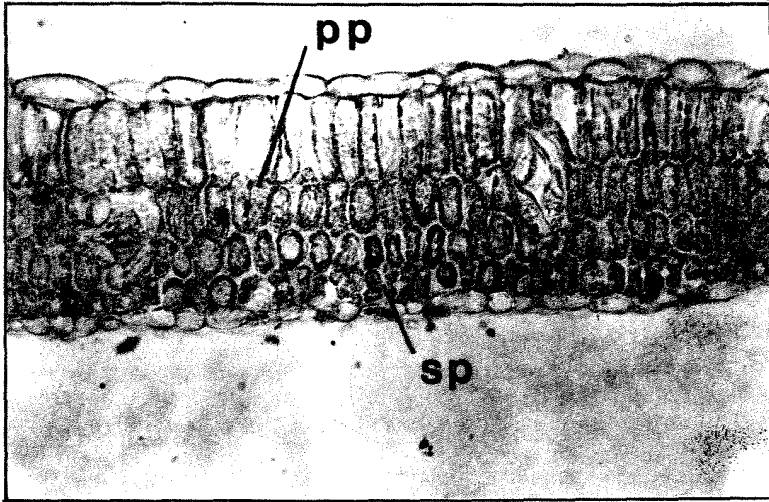


Fig. 2. – Poprečni presek kroz list *Acer negundo* iz nezagađene sredine: pp – palisadni parenhim, sp – sunderasti parenhim.

Cross section of *Acer negundo* leaf from unpolluted area: pp – palisade parenchyma, sp – spongy parenchyma.

List jasenolisnog javora je hipostomatičan, slabo izražene dorziventralne strukture mezofila. Čelije epidermisa su relativno krupne, izrazito većih dimenzija na licu u odnosu na naličje lista, sa slabo razvijenom kutikulom. Mezofil čine četiri jasno izdvojena sloja ćelija čija se veličina pravilno, a postepeno smanjuje od lica ka naličju lista. U sva četiri niza ćelije su raspoređene na način uobičajen za ćelije palisadnog parenhima, tako da se teško zapaža diferencijacija na palisadno i sunderasto tkivo. Ipak, dva niza (samo retko tri sloja) ćelija, ispod epidermisa lica, čine duguljastije i pravilne, gusto naslagane palisadne parenhimske ćelije, dok jedan do dva sloja ćelija ispod njih, odnosno iznad epidermisa naličja, čine nešto okruglastije i manje uredno raspoređene ćelije sunderastog tkiva (Sl. 2). Pored toga, u mezofilu se zapažaju krupne ćelije ispunjene izuzetno velikim pojedinačnim kristalima. Stome su sitne, mnogobrojne na poprečnom preseku, u nivou ćelije epidermisa naličja, čak, sasvim neupadljivo ispupčene. Sitni kristali prisutni su u parenhimskim ćelijama oko povodnih snopića, naročito u regionu centralnog nerva lista.

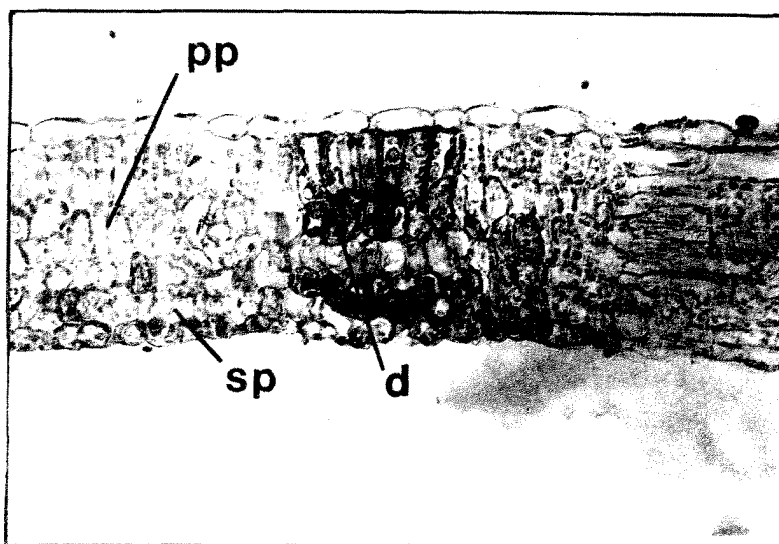


Fig. 3. – Poprečni presek kroz list *Acer negundo* iz zagađene sredine: pp – palisadni parenhim, sp – sunderasti parenhim, d – oštećene i deformisane ćelije.

Cross section of *Acer negundo* leaf from polluted area: pp – palisade parenchyma, sp – spongy parenchyma, d – injured and deformed cells.

List biljke iz zagađene sredine je bledo-zelene do bledo-žute boje. Hlorotične mrlje su upadljive, česte po obodu liske ili razbacane po površini liske, između nerava.

Promene u anatomskoj građi lista iz zagađene sredine zapažaju se u oštećenjima na epidermisu, na stomama, ali i u ćelijama mezofila. Na više mesta oštećen je spoljašnji zid epidermalnih ćelija, ili su potpuno uništene jedna ili više epidermalnih ćelija. Oštećenja su upadljiva na naličju lista (retko na licu lista), polaze od epidermisa i zahvataju manju ili veću zonu tkiva mezofila. Uglavnom, oštećenja stižu do drugog niza palisadnih ćelija, tako da prvi sloj ćelija palisadnog tkiva, odmah ispod epidermisa lica, ostaje neoštećen (Sl. 3). List jasenolisnog javora iz zagađene sredine je manje debljine od onog iz nezagađene sredine. Kod ovog lista ćelije mezofila su kraće i nešto šire. U ćelijama palisadnog tkiva uočavaju se okruglasti, nabrekli hloroplasti, neravnomerno raspoređeni, za razliku od vretenastih hloroplasta u ćelijama mezofila listova iz nezagađene sredine, koji su kao brojanice nanizani duž zidova palisadnih ćelija. Pored toga, u listu su prisutni brojni kristali, rede u ćelijama mezofila, a izuzetno često oko, a naročito ispod, provodnih snopića.

#### *Acer pseudoplatanus*

##### Sadržaj hlorofila

U listovima ovog javora konstatovana je značajna količina hlorofila, pre svega kod biljaka iz nezagađene sredine ( $61,4-82,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), ali i kod biljaka iz zagađene sredine ( $79,5-15,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). Sezonska dinamika količine hlorofila, međutim, ima različiti tok kod listova iz nezagađene (prigradske) i zagađene (urbane) sredine.

Kod biljaka iz nezagadene sredine, u mladim listovima, količina hlorofila iznosila je  $61,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Tokom vegetacijske sezone koncentracija hlorofila se postepeno povećavala i u julu dostigla maksimalne vrednosti od  $82,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ . Prema jeseni, sa starenjem listova, koncentracija hlorofila postepeno opada do vrednosti od  $67,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  izmerene u oktobru (Sl. 4)

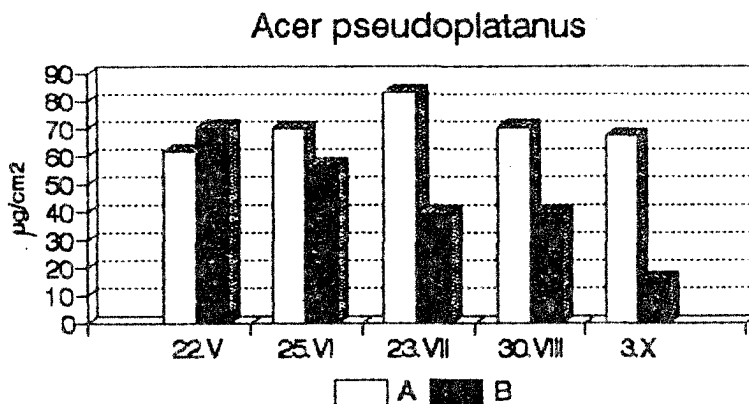


Fig. 4. – Sezonska dinamika količine hlorofila ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) u listovima *Acer pseudoplatanus* u A – nezagadenoj i B – zagadenoj sredini.

Seasonal variations of chlorophyll content in leaves of *Acer pseudoplatanus* from A – unpolluted, and B – polluted area.

Nasuprot tome, mladi listovi *Acer pseudoplatanus* iz zagadene sredine odlikovali su se značajnom količinom hlorofila od  $70,50 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  u maju. Kako su listovi sazrevali i starili, tako se sadržaj hlorofila konstantno i naglo smanjivao. Skorog upola manje vrednosti zabeležene su već u julu ( $39,0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) i avgustu ( $39,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ). U oktobru, sasvim požuteli listovi sadržali su svega  $15,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$  hlorofila (Sl. 4).

#### Ekoanatomske odlike

Vrsta *Acer pseudoplatanus* odlikuje se listom široke osnove i liskom usečenom na pet režnjeva. Listovi su tamnozeleni, na licu glatki, a na naličju slabo dlakavi, ili sa čupercima dlaka uz nerve.

List ovog javora je hipostomatičan i dorziventralne građe. Čelije epidermisa su relativno krupne, na licu lista veće, uglavnom pravougaone, dok su na naličju lista sitnije, okruglaste i papilozne (Sl. 5). Palisadno tkivo čini jedan red izrazito izduženih, stubastih i pravilno raspoređenih ćelija. U dvo- do troslojnom sunderastom tkivu ćelije su nepravilno četvorouglaste do okruglaste, razdvojene intercelularima znatnih dimenzija. Odnos palisadnog i sunderastog tkiva je 1:1. Stome su sitne, brojne, u nivou unutrašnjeg tangencijalnog zida papilozne epidermalne ćelije naličja lista. Dlake su dugačke, višeceljske i nerazgranate.

Znatna oštećenja listova na stablu iz zagadene sredine uočavaju se već krajem juna. Mrke fleke javljaju se na ivicama liske i šire se ka sredini (centralnom delu) liske, kako po površini, tako i u dubini lista zahvatajući tkiva mezofila. Kod ovog javora vidljiva su oštećenja i na licu lista. Ukupna širina lista je manja, naročito su kraće ćelije palisadnog tkiva, tako da je sunderasto tkivo neznatno šire od palisadnog parenhima (Sl. 6). Palisadno tkivo čini jedan sloj ćelija u kojima se zapažaju uvećani, okruglasti



hloroplasti, raštrkano raspoređeni u okviru jedne ćelije. U ćelijama sunderastog tkiva česti su krupni kristali. Oštećenja su vidljiva na pojedinačnim ćelijama, ili obuhvataju grupu ćelija, pre svega na donjoj strani lista, ili su, čak, kompletno nekrotični manji ili veći delovi svih tkiva mezofila. Na mestima oštećenja ćelije sunderastog ili palisadnog parenhima su promenjenog oblika, uvećane i ispunjene specifičnim, u ovom slučaju nedefinisanih sadržajem ili velikim kristalima.

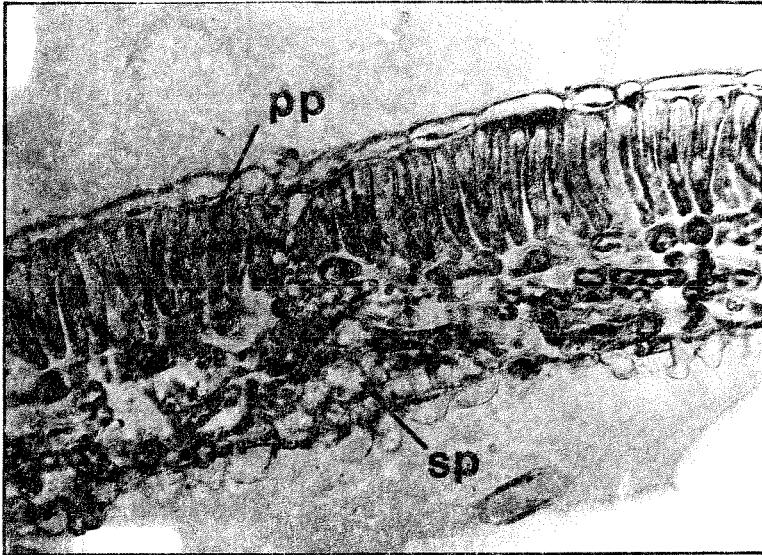


Fig. 5. – Poprečni presek kroz list *Acer pseudoplatanus* iz nezagadene sredine: pp – palisadni parenhim, sp – sunderasti parenhim.

Cross section of *Acer pseudoplatanus* leaf from unpolluted area: pp – palisade parenchyma, sp – spongy parenchyma.

Nekrotična oštećenja različitog porekla zahvataju velike delove starijih listova, počevši od sredine leta.

## DISKUSIJA

Sadržaj ukupnog hlorofila ispitivanih vrsta javora varira shodno ekofiziološkim odlikama i starosti listova ovih drvenastih biljaka, kao i u zavisnosti od sezonskih promena spoljašnje sredine, tokom vegetacijskog perioda. Pored toga, u uslovima zagadene sredine u Beogradu, gde se izmerene vrednosti  $SO_2$  nalaze blizu maksimalno dozvoljenih koncentracija, a količina čadi prevazilazi MDK, ove promene su naglašene, tako da je evidentno smanjenje količine ukupnih pigmenata kod ispitivanih vrsta drveća iz uskog gradskog područja.

U strogom gradskom centru Beograda, vrste *Acer negundo* i *A. pseudoplatanus* izložene su višestrukim stresnim uslovima. Sinergističko dejstvo polutanata, deficita vlažnosti i visokih letnjih temperatura kontinentalne klime ovog područja utiče na brže

starenje listova ovih biljaka, pojavu nekrotičnih mrlja već u rano leto, manji prinos biomase listova i proređivanje krune drveća. Najčešće mala količina zemljišta u uličnim drvoredima oko pojedinačnog drveća i nedovoljno navodnjavanje (zalivanje) pojačava uslove nepovoljnog vodnog režima neizbežno termofilnijih urbanih staništa.

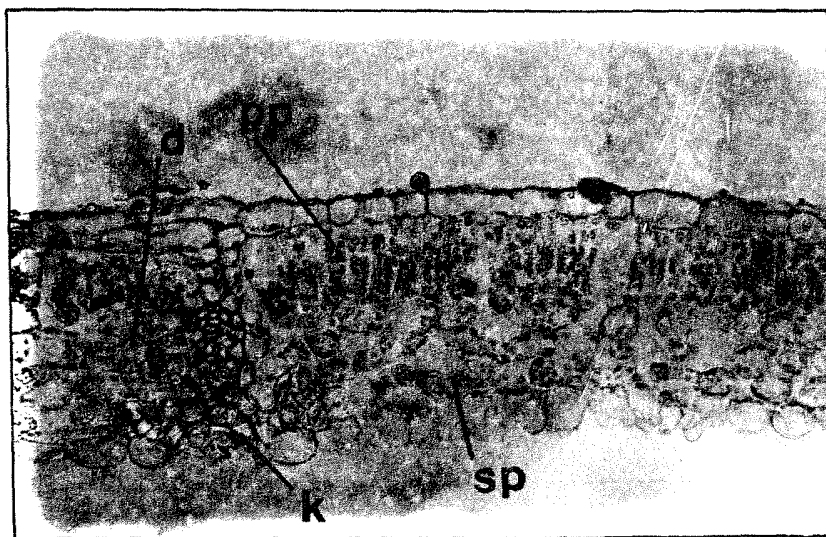


Fig. 6. – Poprečni presek kroz list *Acer pseudoplatanus* iz zagađene sredine: pp – palisadni parenhim, sp – sunderasti parenhim, d – oštećene i deformisane ćelije, k – kristali.

Cross section of *Acer pseudoplatanus* leaf from polluted area: pp – palisade parenchyma, sp – spongy parenchyma, d – injured and deformed cells, k – crystals.

U urbanoj sredini biljke rastu izložene kombinovanom dejstvu više polutanata (Kozłowski, 1980), a pre svega sumpordioksida i nekih oksidacionih supstanci (Black and Black, 1979; Black and Unsworth, 1980; Krizek et al., 1985), pri čemu, najčešće, dolazi do bržeg zatvaranja stoma (Elkiey and Ormrod, 1979; Constantinidou and Kozłowski, 1979), razgradnje hloroplasta, ograničavanja fotosinteze i prinosa biljaka (Dugger and Ting, 1970; Hallgren and Huss, 1975; Phillips et al., 1977). Hlorotične i nekrotične mrlje na liskii, i između nerava, kao i na obodu lista, uočene kod obe vrste javora odgovaraju promenama koje nastaju usled štetnog delovanja kombinacije nekoliko aerozagadivača. Promene na listovima *A. negundo* i *A. pseudoplatanus* iz urbanog područja Beograda konstatovane su, pre svega, u epidermisu naličja lista i donjem delu mezofila (prema naličju lista). Najčešće pod dejstvom gasovitih aerozagadivača oštećenja počinju oko stominih i okolnih epidermalnih ćelija, zalaze u tkiva mezofila i utiču na promenu i smrt ćelija sunderastog tkiva, ispod stominih otvora.

Pored toga, listovi ispitivanih biljaka, naročito vrste *Acer negundo*, bili su spolja pokriveni prljavštinom, prašinom i česticama čadi koje su pristanale za lepljivu površinu liske. Lepljiva prevlaka ili „medna rosa” na listu može se povezati i sa povećanim prisustvom fitofagnih filobionata, koji, sa svoje strane, takode, ubrzavaju negativne promene kod biljaka izloženih fitotoksičnim substancama (Keller and Muller, 1958; Fluckiger et al., 1979).

Opšte nepovoljne urbane uslove za razvoj drvenastih biljaka zbog zagađenja, nespecifičnih konkurentskih odnosa, kidanja mladica i grana, „higijenskih seča” krune drveća i drugog, pogoršavaju i sledeće okolnosti:

- nepovoljan vodni režim uskog prstena zemljišta oko stabala, naročito u drvoredima na asfaltiranim trotoarima ulica. Ova mala površina zemljišta je, pored toga, najčešće gažena i utabana, bez dobre aeracije, zagađena naftom, benzinom, olovom, insekticidima i raznim drugim otpadnim materijama.

- promenjeni gradski klimatski uslovi koji se odlikuju, uopšte uzev, višim temperaturama vazduha i zemljišta i, često, manjom ukupnom količinom padavina.

- često prisustvo fitofagnih filobionata (koji sišu ili bodu list i stvaraju lepljivu prevlaku – „mednu rosu”) ili, čak, patogenih mikroorganizama zbog poremećenih odnosa ekološke ravnoteže.

Nepovoljni uslovi urbane sredine deluju na sličan način kao i uslovi stresa (suša, niske temperature, preterano zračenje, nedostatak mineralnih elemenata) u nenarušenoj, prirodnoj sredini na morfo-fiziološke karakteristike biljaka. Osnovne promene, u ovakvim okolnostima, odgovaraju adaptacijama kserofilnog (kseromorfnog) tipa. Konstatovano je da su listovi ispitivanih javora iz centra Beograda manjih dimenzija, da im je redukovana mezofil, pre svega je smanjen broj palisadnih slojeva, a palisadne ćelije su kraće. Promene manje ili više kseromorfnog tipa su prvi stepen odbrane ovih biljaka u nepovoljnim uslovima urbane sredine. Na taj način se pojačava njihova rezistentnost i odlaže konačni negativni efekat već prisutnih oštećenja.

S obzirom na svoje poreklo, ekološko-evolucijsku prilagodенost i rasprostranjenje, *Acer negundo* i *A. pseudoplatanus* pokazuju različit stepen rezistentnosti, odnosno osetljivost na delovanje aerozagadivača i druge antropogene uticaje u gradskim sredinama

Ekofiziološka i morfo-anatomska istraživanja su pokazala da se *Acer negundo* odlikuje većom osetljivošću na promene u sastavu vazduha u urbanoj sredini grada Beograda u odnosu na *A. pseudoplatanus*.

Vrsta *Acer negundo* u gradskim uslovima odlikuje se manjom ukupnom količinom hlorofila u odnosu na *A. pseudoplatanus*, kao i velikim variranjima u sadržaju hlorofila tokom vegetacijske sezone. Ovakve promene, verovatno, utiču na fotosintezu i mogu se posredno povezati sa smanjenom opštom produkcijom i prirastom biljke. Hloroze, registrovane već na mladim listovima ovog javora, ukazuju na direktne i indirektne negativne efekte urbane spoljašnje sredine. Pojava hloroza i kod listova iz dalje okoline grada, mada manjeg obima i učestalosti, uočena tek sredinom leta, posledica je, najverovatnije, izrazito sušnih uslova klime u godini kada su vršena ispitivanja. Inače, 1990. godina karakterisala se velikom sušom, tako da je prosečna, mesečna količina padavina tokom vegetacijske sezone (u periodu između aprila i oktobra) iznosila 44 mm, srednja mesečna temperatura, u istom periodu, bila je 18°C (prema podacima Republičkog hidrometeorološkog zavoda). Uopšte uzev, jasenolisni javor, koji raste, pre svega, na dovoljno vlažnim mestima, sa manjom ekološkom

plastičnošću podnosi zagađenja vazduha u šumo-stepskim uslovima klime područja Beograda. Povećana količina ukupnog hlorofila tokom prva tri meseca, u proleće i rano leto, u zagađenoj sredini, uprkos vidljivim hlorotičnim promenama na listu, govore o maksimalnim mogućnostima biljke da fiziološki produži rezistentni odgovor na uslove aerozagađenja.

Medutim, kod vrste *Acer pseudoplatanus*, maksimalna vrednost koncentracije hlorofila ( $70,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), izmerena u prolećnim mesecima, naglo opada tokom leta. Istovremeno se uočavaju znatna oštećenja listova kod biljaka sa centralnog gradskog područja. Sve ove promene predstavljaju simptome ranog sušenja i istarenja listova. Oni počinju da opadaju već tokom kasnog leta (krajem avgusta). Prema tome, ovo drveće se odlikuje skraćenim vegetacijskim periodom tokom kojeg obrazuje manju količinu nove biomase. Ovakve ekološke okolnosti, tokom vremena, utiču na smanjenje adaptivnih mogućnosti i kompetitivnosti ove vrste javora u okviru urbanih vegetacijskih celina. Pored toga, drveće sa oštećenim lišćem i smanjenom ukupnom biomasom krune slabo doprinosi popravljaju opštih ekoloških uslova grada. Zbog toga se, u gradskim sredinama mora, s jedne strane, nastojavati na smanjenju aerozagađenja da bi se održale već postojeće vrste biljaka (drveća), a s druge strane, treba negovati i održavati rezistentne vrste drveća. Time se obezbeđuje dugotrajnija i efikasnija uloga vegetacije, kao i njena veća estetska vrednost u gradovima.

Ipak, *A. pseudoplatanus* se odlikuje značajnom vitalnošću. Uprkos negativnim promenama tokom vegetacijske sezone pod uticajem, pre svega aerozagađivača, ovo drvo se, svakog proleća dobro i konstantno obnavlja, razvija snažnu krunu sa relativno neoštećenim listovima sve do sredine leta. Prilagodan na umereno vlažne i umereno tople uslove na svojim prirodnim staništima na brdsko-planinskom području, ovaj javor se trajnije suprotstavlja negativnom dejstvu urbane sredine. Već u bližoj okolini grada *A. pseudoplatanus* se nesmetano normalno razvija i odlikuje dužom vegetacijskom sezonom, s obzirom da je u svojim ekološkim zahtevima dovoljno plastičan i prilagodljiv. Ekološki monitoring ove vrste javora, na različitim mestima u gradu, pomogao bi otkrivanju ranih simptoma oštećenja, kao i u ustanovljavanju adaptivnih osobina rezistentnih formi *A. pseudoplatanus* na uslove povećane koncentracije gasovitih zagađivača.

## ZAKLJUČAK

Introdukovani jasenolisni javor *Acer negundo* i autohtoni javor *A. pseudoplatanus* spadaju u izuzetno često gajene biljke u najužem delu Beograda. Oštećenja ovog drveća, njihovo brže starenje i propadanje, u urbanoj sredini Beograda izazvalo je sinergističkim delovanjem aerozagađivača (sumpordioksid, supstance sa oksidacionim dejstvom, čad, prašina) i ksero-termofilnih uslova gradske klime šumostepskog područja. Akutne i hronične promene kod obe vrste javora konstatovane su na osnovu analize dnevne i sezonske dinamike količine hlorofila i promene anatomske strukture listova.

Količina ukupnog hlorofila listova *Acer negundo* u prvoj polovini vegetacijske sezone fluktuirala, a zatim naglo opada. Na listovima su vidljive brojne hlorotične i nekrotične mrlje i fleke, između nerava i duž oboda liske. U anatomske strukturi lista uočavaju se oštećenja epidermisa (veći broj izumrlih ćelija), gubitak pravilne slojevitosti ćelija mezofila, kao i brojne oštećene ili promenjene, oblikom i sadržajem, ćelije sunderastog, rede palisadnog tkiva.

Kod *Acer pseudoplatanus* količina ukupnog hlorofila konstantno, a u drugoj polovini leta naglo opada, tako da se visok sadržaj hlorofila u maju svodi na upola manju količinu krajem jula. Već početkom leta zapažaju se oštećenja ćelija epidermisa i deformacije ćelija mezofila.

Iako su kod obe vrste javora konstatovana strukturna oštećenja i smanjenje količine hlorofila u listovima, ipak, u uslovima urbane sredine Beograda, *A. pseudoplatanus* pokazuje veću rezistentnost od *A. negundo*. Naime, uprkos konstantnim i ranim oštećenjima već na mladim listovima, *A. pseudoplatanus* zadržava nepromenjenju sposobnost obnavljanja i svakog proleća razvija krunu velikih dimenzija, te, makar i u kraćem periodu, veoma efikasno obavlja proces fotosinteze. S druge strane, aerozagadenje u sprezi sa drugim nepovoljnim faktorima urbane sredine izaziva hronične promene kod *A. negundo*; tokom godine, na ovom drvetu se uočavaju ne samo oštećenja listova, već i vidljivo proređivanje i smanjenje ukupnog obima krune.

#### LITERATURA

- Black, C.R. & Black, V.J. (1979): The effect of low concentration of sulphur dioxide on stomatal conductance and epidermal cell survival in field bean (*Vicia faba* L.). - J. exp. Bot. 30: 291-298.
- Black, V.J. & Unsworth, M.H. (1980): Stomatal responses to sulphur dioxide and vapor pressure deficit. - J. exp. Bot. 31: 667-677.
- Chamberlain, C. (1921): Mikrotehnika i botanički praktikum. - Zagreb.
- Constantinidou, H.A. & Kozlowski, T.T. (1979): Effect of sulphur dioxide and ozone on *Ulmus americana* seedlings. - Can. J. Bot. 57: 176-184.
- Crawford, R.M.M. (1989): Studies in plant survival. - Blackwell publications, Oxford.
- Dijak, M. & Ormrod, D.P. (1982): Some physiological and anatomical characteristics associated with differential ozone sensitivity among cultivars. - Envir. Exp. Bot. 22: 395-402.
- Dugger, W.M. & Ting, I.P. (1970): Air pollution oxidants - their effects on metabolic processes in plants. - Ann. Rev. Plant Physiol. 21: 215-234.
- Elkley, T. & Ormrod, D.P. (1979): Ozone and sulphur dioxide effects on leaf water potential. - Z. Pflanzenphysiol. 91: 177-181.
- Fischer, K., Kramer, D. & Ziegler, H. (1973): Elektronemikroskopische Untersuchung  $SO_2$  begaster Blätter von *Vicia faba*. - Protoplasma 76: 83-96.
- Fluckiger, W., Oertli, J.J. & Fluckinger, H. (1979): Relationship between stomatal diffusive resistance and various applied particle sizes on leaf surfaces. - Z. Pflanzenphysiol. 91: 173-179.
- Hallgren, J-E. & Huss, K. (1975): Effects of  $SO_2$  on photosynthesis and nitrogen fixation. - Physiol. Plant. 34: 171-176.
- Jovanović, B. (1950): Nesamonikla dendroflora Beograda i okoline. - Glas. šum. fa., 1: 75-116.
- Kozlowski, T.T. (1980): Responses of shade trees to pollution. - Annual Meeting of Inter. Soc. Arboriculture, 6(2): 29-41, San Diego, California.
- Krizek, D., Wregan, W. & Semeniuk, P. (1985): Morphological and physiological properties of poinsettia leaves and bracts in relation to sulfur dioxide sensitivity. - Environ. Exp. Bot., 25 (2): 165-173.
- Malhotra, S.S. (1976): Effects of sulphur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needle chloroplasts. - New Phytol., 76: 239-246.
- Moran, R. (1982): Formulae for determination of chlorophyllous pigment extracted with DMF (dimetil formamid). - Plant Physiol. 69: 1376-1381.
- Ormrod, D.P., Black, V.J. & Unsworth, M.H. (1981): Depression of net photosynthesis in *Vicia faba* L. exposed to sulphur dioxide and ozone. - Nature. 291: 585-586.
- Phillips, S.O., Skelly, J.M. & Burkhardt, H.E. (1977): Eastern white pine exhibits growth retardation by fluctuating air pollution levels: Interaction of rainfall, age, and symptom expression. - Phytopathol., 67: 721-725.
- Prozina (1963): Botaničeskaja mikrotehnika. - Moskva.

- Sharma, G. K. (1975): Leaf surface effects of environmental pollution on sugar maple (*Acer saccharum*) in Montreal. – Can. J. Bot., 53: 2312-2314.
- Taylor, J. S., Reid, D. M. & Pharis, R. P. (1981): Mutual antagonism of sulphur dioxide and abscisic acid in their effect on stomatal aperture in broad bean (*Vicia faba*) epidermal strips. – Plant physiol., 68: 1504-1507.
- Thompson, W. W., Dugger, W. W. & Palmer, R. L. (1966): Effects of ozone on the fine structure of the palisade parenchyma cells of bean leaves. – Can. J. Bot., 44: 1677-1683.
- Unsworth, M. H., Biscoe, P. V. & Pinckney, H. R. (1972): Stomatal responses to sulphur dioxide. – Nature, 239: 458-459.

### Summary

MARINA MAČUKANOVIĆ, GORDANA DRAŽIĆ<sup>1</sup>, BRANKA STEVANOVIĆ<sup>2</sup>

#### EFFECTS OF AIR POLLUTION ON ECOPHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF *ACER NEGUNDO* AND A. *PSEUDOPLATANUS*

Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, <sup>1</sup>INEP, Zemun,  
<sup>2</sup>Institute of Botany and Botanical Garden „Jevremovac“ Faculty of Biology,  
University of Belgrade

The introduced boxelder (*Acer negundo*) and autochthonous sycamore (*A. pseudoplatanus*) are commonly grown trees along the streets, in parks and squares of Belgrade. The injuries of these trees, their faster senescence and perishing, in the urban area, are caused by synergistic effects of air pollutants (sulphur dioxide, nitrogen oxides, ozone and other oxidants, soot and dust) and general climatic conditions (of the forest-steppe region) in and around Belgrade. The acute and chronic damages in both species were established on the basis of diurnal and seasonal variations of chlorophyll content and changes in leaf anatomical structure.

Total chlorophyll content in *Acer negundo* leaves is varying during first half of vegetation season, and then abruptly decreased.

Irregular numerous marginal and interveinal necrotic and chlorotic blotches are evident on boxelder expanded leaves. As for anatomical leaf structure, epidermis shows injury symptoms (dead cells), layers of mesophyll are disordered, and many cells of spongy, more rarely of palisade parenchyma are either injured or their shape and content changed.

In *A. pseudoplatanus* the total chlorophyll content constantly decreases, whereas in the second half of the summer it sharply declines so that its high content in May is reduced to half that toward the end of July.

Already at the beginning of summer injury symptoms on the epidermal cells and deformations of mesophyll tissue cells are evident on sycamore leaves.

It should be noted, however, that *A. pseudoplatanus* is more resistant to air pollution in Belgrade urban environment than *A. negundo*. Namely, in spite of injury symptoms appearing already on the young leaves, sycamore retains the unaltered ability of renewal so that each spring it restores a large crown, which enables very efficient photosynthesis though over a shorter period of time. On the other hand, air pollution, in combination with other unfavourable urban environmental stresses causes chronic changes in boxelder reflected not only in leaf chlorosis or necrosis but also in obvious thinning and decrement of three crown.