

# MORFOLOŠKE ZNAČAJKE KLIJANACA OBIČNE SMREKE (*Picea abies* L., H. Karst.) U RAZLIČITIM PH OTOPINAMA

## MORPHOLOGICAL PROPERTIES OF NORWAY SPRUCE (*Picea abies* L., H. Karst.) IN DIFFERENT PH SOLUTIONS

Damir DRVODELJIĆ<sup>1</sup>, Milan ORŠANIĆ<sup>1</sup>, Vibor ROJE<sup>1</sup>, Marko TEPŠIĆ<sup>2</sup>

### Sažetak:

U radu su prikazni rezultati morfoloških značajki klijanaca obične smreke (*Picea abies* L., H. Karst.) u različitim pH otopinama. Sjeme je tretirano s 10 različitih pH otopina, u rasponu pH od 1,5 do 6,0 (povećanje svakih 0,5). Vodene otopine priređene su susljednim razrjeđivanjem ishodne, koncentrirane sumporne kiseline (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) i ultračiste vode (<18 MΩ cm). Za kontrolu je korištena ultračista voda. Ispitivanje je provedeno u laboratoriju prema uvjetima koje propisuje ISTA (International Seed Testing Association).

U tri navrata (7, 14 i 21 dan) obavljena je procjena klijanaca u skladu s pravilima ISTA. Digitalnim fotoaparatom fotografirani su svi nepravilni klijanci. Izrađen je katalog sa slikom i opisom nepravilnih klijanaca s obzirom na pH otopine. Rezultati ovog istraživanja od velike su koristi za razumijevanje morfologije klijanaca kod prirodne obnove smrekovih šuma u promijenjenim ekološkim uvjetima (kisele kiše, zakiseljavanje tala). Osim dobrog uroda, preduvjet uspješne prirodne obnove smrekovih šuma između ostaloga su i pravilni klijanci.

KLJUČNE RIJEČI: morfologija klijanca, pravilan klijanac, nepravilan klijanac, pH-otopina, obična smreka

### UVOD

#### Introduction

Areal obične smreke (*Picea abies* L., H. Karst.) prostire se na više od 200 000 000 ha, pa je i najzastupljenija vrsta drveća na Zemlji (Oršanić, 2001). Prema Vajdi (1933) u Hrvatskoj se prirodno javlja u reljefno uvjetovanim depresijama visokog gorja Gorskog kotara, Velebita i ostalog dijela Like, posebice u mrazištima, gdje nema ozbiljnu konkurenciju drugih vrsta drveća. Prema Čavloviću i dr. (2008) ukupna drvna zalih smreke u Republici Hrvatskoj je 13 200 000 m<sup>3</sup>, što čini 2,4 % ukupnog drvnog volumena. Young i Young (1992)

pišu kako je sjeme obične smreke za razliku od drugih vrsta najviše istraživano, te pokazuje veliku varijabilnost s obzirom na geografsku širinu i nadmorsku visinu. Sjeme sa sjevernih geografskih širina i na višim nadmorskim visinama ima manju masu u odnosu na sjeme s južnih geografskih širina i nižih nadmorskih visina. Sjeme je sitno, duguljasto, na bazi ušiljeno s jednim dobro razvijenim krilcem koje je 2–4 puta dulje od same sjemenke. Sjemena ljuska zrelog sjemena je smeđa ili crna, a broj kotiledona kreće se od 4–15.

U posljednja tri desetljeća atmosferska zagađenja uzrokuju znatne probleme u prirodi, kao i mnogim biološkim proce-

<sup>1</sup> Doc. Dr. sc. Damir Drvodelić, Prof. dr. sc. Milan Oršanić, Doc. Dr. sc. Vibor Roje, Faculty of Forestry, Department of Forest Ecology and Silviculture, University of Zagreb, Svetošimunska 25, 10002 Zagreb, Croatia., e-mail: ddrvodelic@inet.hr

<sup>2</sup> Marko Tepšić, mag. ing. silv., Gornja Stupnica 16/2, 44440 Dvor

sima (Miquel Anglès Marín, 2004). Ho (1992) je utvrdila negativan utjecaj povećane kiselosti na rast korijena i nadzemnog dijela klijanaca. Utjecaj kiselih kiša na visoko planinska šumska tla najviše je izražen tijekom ljetnih oborina. Nagle količine onečišćivača i kiselina tijekom proljeća u trenutku kad većina stabala završava razdoblje zimskog mirovanja i kreće s vegetacijom, mogu izazvati toksičan šok kod novo izraslog korijena. Prema Vogelmann i dr. (1985) rana proljetna kiša na području Camels Humpa imala je pH 3,1. Linkens i Bormann (1977, 1995) pišu kako je 1950-ih godina prošloga stoljeća pH vrijednost oborina na sjeveroistoku SAD-a bila konstantno u granicama normale, a nakon tog perioda pH vrijednost se konstantno i značajno smanjuje. Kisele kiše i ostale kisele oborine formiraju se kada se onečišćeni zrak miješa s kišom, snijegom ili maglom. Izrazito kisele kiše dovode do povećanja toksičnih tvari u atmosferi i tlu. Povećava se udio slobodnog olova, cinka, bakra, kroma i aluminija. Ovi toksični metali u zraku, tlu i vodi usporavaju rast biljaka i reduciraju populaciju bakterija fiksatora dušika u tlu. Zbog kiselih kiša remeti se usvajanje biogenih elemenata iz tla. Sulfati i hidrogen sulfati u kiselim kišama mogu dovesti do ispiranja kalcija i magnezija iz tla. Najznačajniji je utjecaj pH na dostupnost hranjiva za biljku.

Prema Dudalu (1976), danas u svijetu ima približno 2,6 biliona ha jako kiselih tala s izraženim toksičnim djelovanjem  $Al^{3+}$  kationa. Kod kiselih tala povećava se topivost i koncentracija  $Al^{3+}$  kationa u rizosferi.  $Al^{3+}$  kationi djeluju inhibitory na rast biljaka zbog remećenja regulatornih procesa rasta i razvoja korijena (Foy 1988, Taylor 1988, Kochian 1995). Vrijednosti pH tala u Hrvatskoj kreću se u rasponu od 2,70–8,10. Niže vrijednosti pH uglavnom su distribuirane u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, na Bilogori, Pokupskome bazenu te panonskome gorju, a više u dalmatinskom zaleđu, otocima i sjeveroistočnoj Baranji. Od ukupno 2222 profila tla na kojima su mjerene vrijednosti tala, samo 0,38% imaju pH vrijednost nižu od 3. Prosječna pH vrijednost iznosi  $5,71 \pm 1,26$ , a maksimalno izmjerena 8,1. Pri tomu treba naglasiti da značajan utjecaj na ove vrijednosti ima antropogeni čimbenik u smislu gospodarenja šumama, degradacije šuma i šumskih tala te poljoprivrede. Jako alkalni uvjeti u tlu nastaju nakon požara zbog visoke pH vrijednosti pepela. Štetan utjecaj na klijanje sjemena, rast i razvoj klijanaca događa se nakon kontroliranog požara na gredici prije sjetve sjemena ili u slučaju kad se pepeo od drva miješa sa supstratima za klijanje ili punjenje kontejnera. Pri niskom pH, većina biljnih hranjiva se ispiru ili su netopiva poput kalcija, fosfora i kalija. Prema Seeberu (1976), pri visokim pH događa se deficijencija fosfora, željeza, mangana i ostalih mikrohranjiva. Stupanj kiselosti tla može utjecati na rasprostranjenost i pokrovnost biljaka. U kiselom ( $pH < 3$ ) i alkalnom tlu ( $pH < 9$ ), toksične koncentracije  $H^+$  i  $OH^-$  iona oštećuju protoplazmu stanica korijena. Kisele kiše koje padaju na biljke djeluju destruktivno na lišće, voštane zaštitne

prevlake se oštećuju, čime se omogućuje ulazak kiselinama u biljku. U biljci kiseline premještaju vodu, sprječavaju usvajanje ugljičnog dioksida te smanjuju ili čak zaustavljaju proces fotosinteze. Oštećeno lišće slabo podnosi mraz, što povećava opasnost od ugibanja stabla tijekom zime. Prema Schmidt (2000), tijekom rasta i razvoja klijanaca, karakteristike medija za rast (pH, sadržaj soli i drenaža) postaju izrazito važni. Isti autor spominje kako su sjeme, odnosno klijanci tijekom klijanja i faze početnog rasta i razvoja izuzetno osjetljivi na fiziološki stres, mehanička oštećenja i infekcije.

Ciljevi ovog istraživanja su:

- Utvrditi postotak pravilnih i nepravilnih klijanaca obične smreke s obzirom na pH otopine
- Prikazati nepravile klijance obične smreke u skladu s pravilima ISTA

## MATERIJALI I METODE RADA

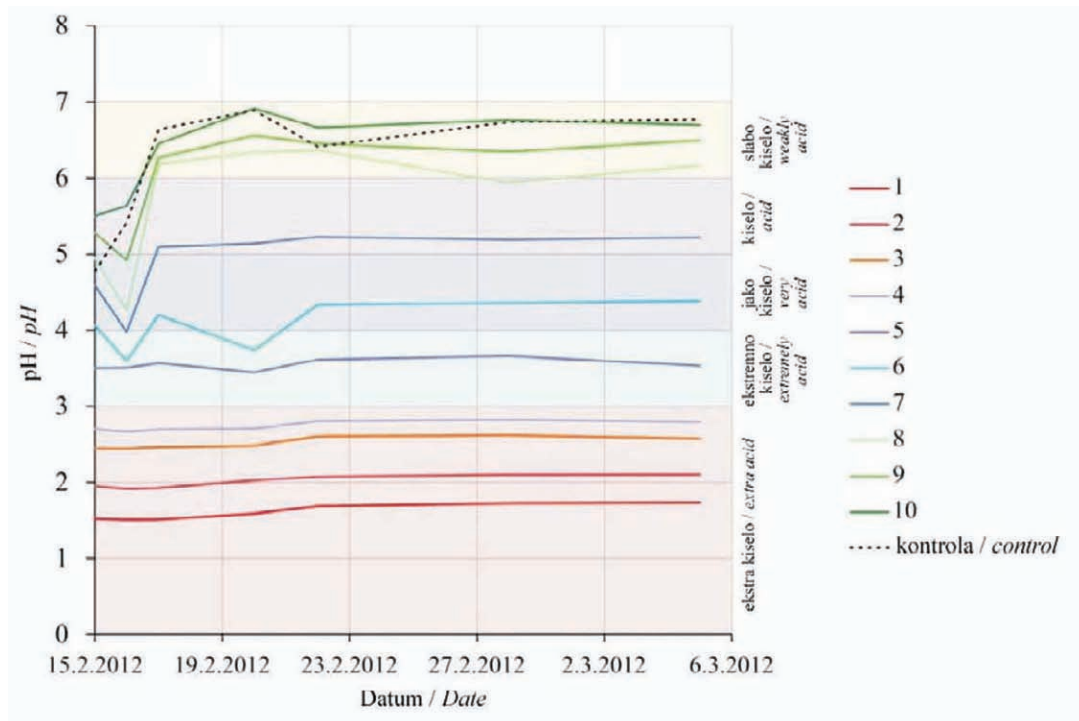
### Materials and methods

Za tretiranje sjemena upotrijebili smo 10 serija vodenih otopina s rasponima pH od 1,5–6,0 (povećanje svakih 0,5). Vodene otopine priređene su susljednim razrjeđivanjem ishodne, koncentrirane sumporne kiseline ( $H_2SO_4$ , p.a., 96 %, »Kemika«, Zagreb) i ultračiste vode ( $< 18 M\Omega\text{ cm}$ ). Za kontrolu je korištena ultračista voda kojoj smo prije ispitivanja klijavosti izmjerili pH. Svako tretiranje činila su 4 ponavljanja po 100 sjemenki. Morfološki razvoj klijanaca u različitim pH otopinama ispitivan je u Češkim klijalicama i na podlozi od filter papira. Češke klijalice postavljene su u zatvorenu klijalicu Snijders (model ECD01E, Tilburg, the Netherlands) s umjetnim svjetlom i programiranom temperaturom 20–30°C. Vrijednosti pH otopina mjerene su elektrokemijski uz pomoć pH-metra »Schott« (Njemačka) s kombiniranom staklo/kalomel elektrodom. Mjerenja pH ponavljana su 6 puta tijekom trajanja pokusa. U radu smo koristili prosječne vrijednosti pH otopine. Procjena klijanaca obavljena je u tri navrata (7, 14 i 21 dan), u skladu s pravilima ISTA (International Rules for Seed Testing, Edition 2006/1, Chapter 5: The Germination Test). Digitalnim fotoaparatom snimljeni su svi nepravilni klijanci. Izrađen je katalog sa slikom i opisom nepravilnih klijanaca s obzirom na vrijednost pH otopine. Prema ISTA Handbook on Seedling Evaluation (2003) vrste roda *Picea* L. pripadaju u kategoriju B (drveće i grmlje), sekciju 22 (tip klijanca H i grupu klijanca B-3-1-1-1).

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA

### Research results

U istraživanju smo koristili otopine u rasponu od ekstremno kiselih do slabo kiselih. Niska početna vrijednost pH kod slabo kiselih otopina i kontrolnom mjerenju (ultračista



Slika 1. Mjerene pH vrijednosti otopina tijekom razdoblja ispitivanja

Figure 1. Measured pH values of solutions during the research period

Tablica 1. Prosječne vrijednosti mjerenih varijabli u različitim vrijednostima pH otopina (df=4).

Table 1. Average values of measured variables in different values of pH solutions (df=4)

Tretiranje Treatments	pH	Pravilni klijanci (%) Normal seedlings (%)	Nepravilni klijanci (%) Abnormal seedlings (%)	Ukupno proklijalo (%) Total germinated seed (%)	Energija klijavosti (%) Germination energy (%)	Gnjilo sjeme (%) Decayed seeds (%)	Svježe neisklijalo sjeme (%) Fresh non germinated seed (%)
1	1,72	0,00	8,75	8,75	0,00	30,25	61,00
2	2,10	0,00	24,50	24,50	0,00	24,25	51,25
3	2,60	37,50	33,75	71,25	11,50	13,25	15,50
4	2,81	55,50	19,25	74,75	20,00	10,25	15,00
5	3,60	68,50	14,25	82,75	11,50	7,75	9,50
6	4,36	69,00	10,00	79,00	23,00	9,00	12,00
7	5,21	75,50	9,75	85,25	21,50	6,75	8,00
8	6,16	70,75	10,00	80,75	28,00	7,50	11,75
9	6,43	68,75	10,75	79,50	25,75	11,50	9,00
10	6,71	71,75	9,25	81,00	32,50	9,25	9,75
Kontrola Control	6,64	69,75	12,25	82,00	16,75	9,50	8,50

voda) nakon 2 dana povećala se prema neutralnijim vrijednostima (slika 1). S obzirom da su u istraživanju korištene zatvorene klijalice, vjerojatno je došlo do otapanja CO<sub>2</sub> u otopinama, što je dovelo do oscilacija u pH vrijednostima.

U tablici 1. prikazane su prosječne vrijednosti mjerenih varijabli u različitim pH otopinama.

Najviše pravilnih klijanaca utvrđeno je u rasponu pH vrijednosti od 2,81–6,71, u prosjeku 68,54%, dok je udio svježe neprokljalog sjemena iznosio 10,64%.

Najveći postotak nepravilnih klijanaca utvrđen je u pH otopinama od 2,10 (24,50%) i 2,60 (33,75%). Kod pH otopine 2,81 postotak nepravilnih klijanaca iznosio je 19,25 % a s porastom pH vrijednosti njihov udio pada. Mali postotak nepravilnih klijanaca (8,75%) u extra kiseljoj pH otopini (1,72) može se tumačiti destruktivnim djelovanjem otopine na sjeme. U najkiseljoj otopini ujedno je utvrđen i najveći postotak gnjilog sjemena. U otopinama s pH od 1,72 i 2,10 nije zabilježen niti jedan pravilni klijanac, odnosno svi klijanci procijenjeni su kao nepravilni.

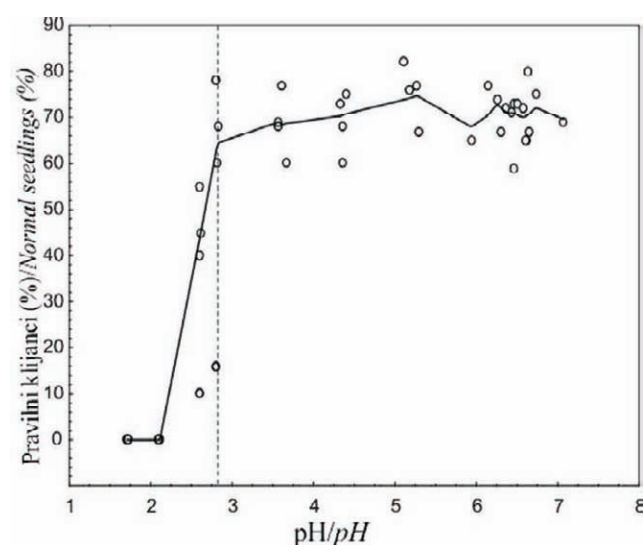
**Tablica 2.** Rezultati Post-hoc test između repeticija s obzirom na pH vrijednosti otopina.**Table 2.** Results of the Post-hoc test between repetitions with respect to pH values of solutions

Tretiranje Treatments	Pravilni klijanci Normal seedlings	Nepravilni klijanci Abnormal seedlings	Gnjilo sjeme Decayed seeds	pH pH	Energija klijavosti Germination energy	
1	3-Kont.	2,3	1,3,4,5,6,7,8,9,10, Kont.		4,6,7,8,9,10, Kont.	
2	3-Kont.	6,7,8,10	5,7,8		4,6,7,8,9,10, Kont.	
3	1	1,4,5,6,7,8,9,10, Kont.	1		10	
4	1,2,3	3		<b>Razlika u svemu</b> <i>The difference in all</i>	1,2	
5	1,2,3	3	2		10	
6	1,2,3	3			1,2	
7	1,2,3,4	3	2		1,2	
8	1,2,3	3	2		1,2	
9	1,2,3	3			1,2	
10	1,2,3,4	3			1,2,3,5	
Kontrola Control	1,2,3	3			Nema raz. <i>No. Diff.</i>	1,2

Jednostrukom analizom varijance (One-way ANOVA) utvrđena je statistički značajna razlika u energiji klijavosti sjemena između tretiranja 1 i 2 koje imaju najniže vrijednosti pH (1,72 i 2,10) u odnosu na ostale (Tablica 2). Značajna razlika u prosječnim vrijednostima dobivena je i za postotak normalno proklijalog sjemena između tretiranja od 4 – kontrole i najkiselijih otopina.

Na slici 2. prikazan je odnos između pravilnih klijanaca obične smreke i pH otopine. Granična pH vrijednost za klijanje sjemena i pravilan razvoj klijanaca obične smreke, s obzirom na laboratorijsku vrijednost pH otopine, iznosila je 2,6.

Istraživanje je provedeno u 10 različitih pH otopina, koje generalno možemo svrstati u pet kategorija: ekstra kiselo, ekstremno kiselo, jako kiselo, kiselo i slabo kiselo.



**Slika 2.** Odnos između pravilnih klijanaca obične smreke (*Picea abies* L., H. Karst.) i pH vrijednosti otopine. Crtkana linija predstavlja graničnu pH vrijednost za klijanje sjemena i pravilan razvoj klijanaca.

**Figure 2.** The relationship between normal Norway spruce (*Picea abies* L., H. Karst.) seedlings and pH solution values. The broken line represents border pH value for seed germination and normal seedling development.

U tablici 3. prikazano je postotno učešće nepravilnih klijanaca prema dijelovima klijanca, šifri nepravilnosti i ukupno za svako tretiranje, a na slici 3. prikazani su nepravilni klijanci prema dijelovima klijanca u skladu s pravilima ISTA.

U ekstra kiselim pH otopinama najveći postotak (75,39%) nepravilnih klijanaca pripada u kategoriju gdje je primarna infekcija uzrokovala trulež radikule (šifra-11/12).

U ekstremno kiselim otopinama učešće nepravilnih klijanaca s primarnom infekcijom koja je uzrokovala trulež radikule iznosilo je 35,09%, u vrlo kiseloj otopini 25,00%, u kiseloj otopini 12,82%, odnosno u slabo kiseloj otopini prosječno 20,96%. U otopinama koje su ekstremno kisele utvrđeno je 42,11% nepravilnih klijanaca kod kojih je hipokotil (stručak) presavinut ili zavnut (21/06). Postotno učešće nepravilnih klijanaca s presavinutim ili zavnutim hipokotilom, izraženo od ukupnog postotka nepravilnih klijanaca unutar pojedinog tretiranja, raste od ekstremno kiselih do slabo kiselih otopina.

Nepravilni klijanci kojima nedostaje vrh ili su kratki (11/01) zastupljeni su u ekstra kiselim otopinama s 8,71%, odnosno u ekstremno kiselim otopinama s 21,05%. U ostalim tretiranjima nepravilni klijanci kojima nedostaje vrh ili su kratki zauzimaju mali postotni udio ili ih uopće nema.

## RASPRAVA

### Discussion

Pravilni klijanac obične smreke prema ISTA pravilima mora biti neoštećen ili su dozvoljena manja oštećenja na primarnom korijenu, hipokotilu i kotiledonima. Na primarnom korijenu dopuštena su nebojena ili nekrotična područja i površinska napuknuća i rascjepi koji ne utječu na provodne elemente. Na hipokotilu su dopuštene nebojene ili nekrotične mrlje, srasla napuknuća i rascjepi te labava prepletenost. Na terminalnom pupu i okolnom tkivu nisu dopu-

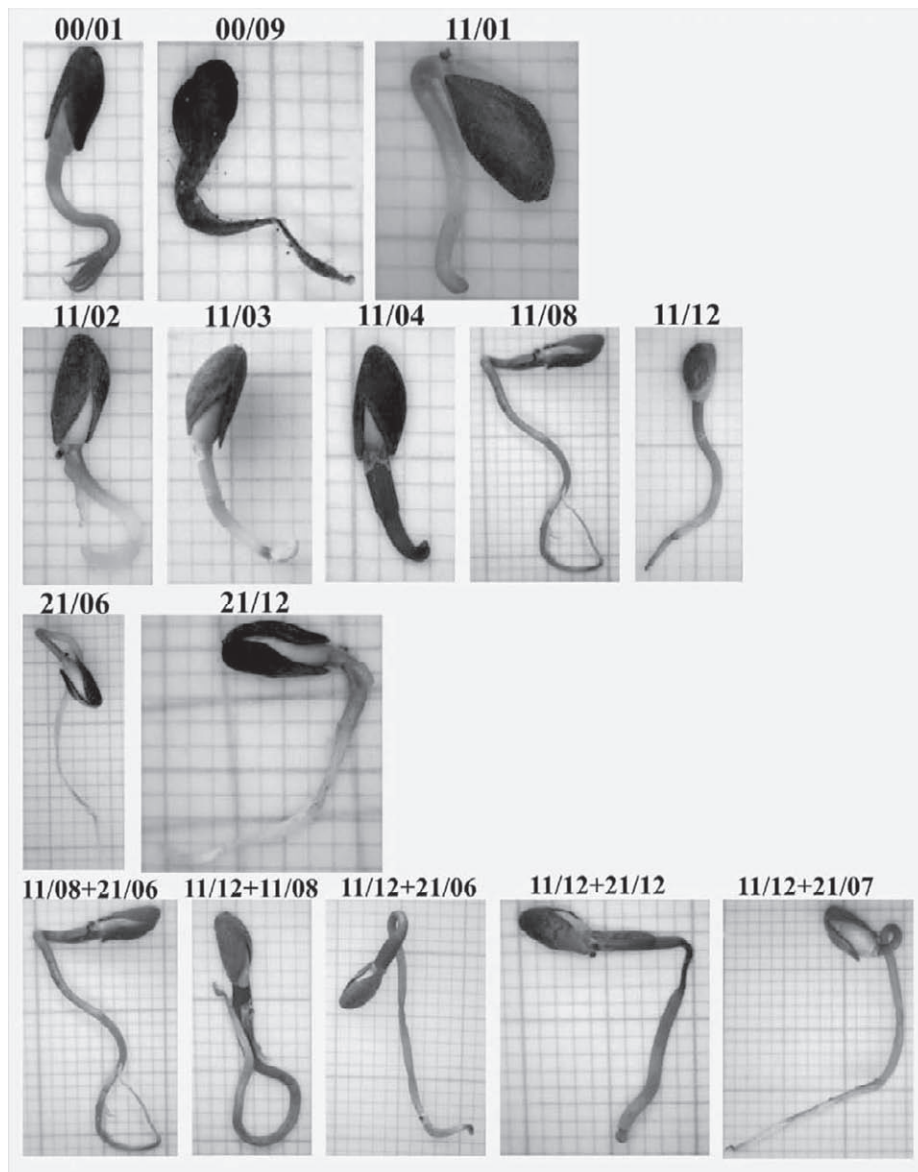
Tablica 3.

pH / Kljanac <i>pH / Seedling</i>	Čiji kljanac <i>Seedling as a whole</i>	Primarni korijen <i>The primary root</i>	Hipokotil <i>The hypocotil</i>	Nadzemni dio <i>Shoot system</i>	Šifra <i>Index</i>	Opis <i>Description</i>	Šifra (%) <i>Index(%)</i>	Udio nepravilnih kljanaca od ukupnog broja sjemenki (%) <i>Percentage of abnormal seedlings in the total number of seeds (%)</i>
1,72		•			11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	8,57	8,75
					11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	80,00	
					21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	2,86	
					11/12+11/08	primarna infekcija uzrokovala trulež + negativan geotropizam <i>decayed as a result of primary infection + shows negative geotropism</i>	8,57	
2,10		•			11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	9,19	24,50
					11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	81,63	
					21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	1,02	
					11/12+21/06	primarna infekcija uzrokovala trulež + presavinut ili zavinut <i>decayed as a result of primary infection + bent over or forming a loop</i>	4,08	
					11/12+21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež (oba) <i>decayed as a result of primary infection (both)</i>	4,08	
2,60		•			11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	6,67	33,75
					11/02	kratak <i>stubby</i>	0,74	
					11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	76,30	
					21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	1,48	
					11/08+21/06	negativan geotropizam + presavinut ili zavinut <i>shows negative geotropism + bent over or forming a loop</i>	2,96	
					11/12+11/08	primarna infekcija uzrokovala trulež + negativan geotropizam <i>decayed as a result of primary infection + shows negative geotropism</i>	3,70	
					11/12+21/06	primarna infekcija uzrokovala trulež + presavinut ili zavinut <i>decayed as a result of primary infection + bent over or forming a loop</i>	7,41	
					11/12+21/07	primarna infekcija uzrokovala trulež + spiralno zavinut <i>decayed as a result of primary infection + forming a spiral</i>	0,74	
2,81	•	•			00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	1,30	19,25
					11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	10,39	
					11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	1,30	
					11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	63,64	
					21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	14,29	
					11/12+21/06	primarna infekcija uzrokovala trulež + presavinut ili zavinut <i>decayed as a result of primary infection + bent over or forming a loop</i>	7,79	
					11/12+21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež (oba) <i>decayed as a result of primary infection (both)</i>	1,30	
3,60	•	•			00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	1,75	14,25
					11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	21,05	
					11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	35,09	
					21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	42,11	



4,36	•	00/01	deformiran <i>deformed</i>	2,50	10,00
	•	00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	7,50	
	•	11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	2,50	
	•	11/03	nedovoljno razvijen <i>retarded</i>	2,50	
	•	11/04	nedostaje <i>missing</i>	2,50	
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	5,00	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	25,00	
	•	21/06	presavinut ili zavnut <i>bent over or forming a loop</i>	40,00	
	•	21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	7,50	
	•	•	11/12+21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež (oba) <i>decayed as a result of primary infection (both)</i>	5,00
5,21	•	00/01	deformiran <i>deformed</i>	5,13	9,75
	•	00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	2,56	
	•	11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	7,69	
	•	11/02	kratak <i>stubby</i>	2,56	
	•	11/04	nedostaje <i>missing</i>	2,56	
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	2,56	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	12,82	
	•	21/06	presavinut ili zavnut <i>bent over or forming a loop</i>	61,54	
	•	•	11/12+21/06	primarna infekcija uzrokovala trulež + presavinut ili zavnut <i>decayed as a result of primary infection + bent over or forming a loop</i>	
6,16	•	00/01	deformiran <i>deformed</i>	2,50	10,00
	•	00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	2,50	
	•	11/03	nedovoljno razvijen <i>retarded</i>	2,50	
	•	11/04	nedostaje <i>missing</i>	2,50	
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	2,50	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	25,00	
	•	21/06	presavinut ili zavnut <i>bent over or forming a loop</i>	57,50	
	•	21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	2,50	
	•	•	11/12+21/06	primarna infekcija uzrokovala trulež + presavinut ili zavnut <i>decayed as a result of primary infection + bent over or forming a loop</i>	
6,43	•	11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	6,98	10,75
	•	11/04	nedostaje <i>missing</i>	2,34	
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	2,34	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	25,58	
	•	21/06	presavinut ili zavnut <i>bent over or forming a loop</i>	53,49	
	•	21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	6,98	
	•	•	11/08+21/06	negativan geotropizam + presavinut ili zavnut <i>shows negative geotropism + bent over or forming a loop</i>	

6,71	•	00/09	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	5,41	9,25
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	8,11	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	10,81	
	•	21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	75,68	
Kontrola Control	•	11/01	nedostaje vrh <i>stunted</i>	8,16	12,25
	•	11/04	nedostaje <i>missing</i>	2,04	
	•	11/08	negativan geotropizam <i>shows negative geotropism</i>	4,08	
	•	11/12	primarna infekcija uzrokovala trulež <i>decayed as a result of primary infection</i>	22,45	
	•	21/06	presavinut ili zavinut <i>bent over or forming a loop</i>	61,23	
	•	11/12+21/12	primarna infekcija uzrokovala trulež (oba) <i>decayed as a result of primary infection (both)</i>	2,04	



**Slika 3.** Prikaz nepravilnih klijanaca obične smreke (*Picea abies* L., H. Karst.) prema dijelovima klijanca u skladu s pravilima ISTA.  
**Figure 3.** Pictures of abnormal Norway spruce (*Picea abies* L., H. Karst.) seedlings according to seedling parts in line with ISTA rules

štena nikakva oštećenja za razliku od kotiledona kod kojih su dopuštena oštećenja do maksimalno 50%.

Embriji u sjemenu rastu u smjeru gravitacije i taj se prirodni fenomen naziva geotropizam. Radikula uvijek raste prema dolje u tlo, a hipokotil prema gore, bez obzira u kojem smjeru je orijentirana mikropila kroz koju probija radikula. Sjeme u fazi klijanja, kao i tek razvijeni klijanci, posebno su osjetljivi na biljne bolesti i štetnike.

Prema Hrabiju (2002), postotak nepravilnih klijanaca obične smreke iznosio je od 0,0 do 8,0 %. Spomenuti autor istraživao je 8 uzoraka sjemena s različitih nadmorskih visina, pri čemu su u čak sedam uzoraka utvrđeni nepravilni klijanci koji se pripisuju klijanju zelenim dijelovima epikotila. Slične rezultate morfološkog razvoja klijanaca obične smreke dobio je Hrabí (1993) i ranije. U našim istraživanjima nisu registrirani klijanci s ovim tipom nepravilnosti. Na klijavost sjemena, rast i razvoj klijanaca može utjecati pH supstrat za klijanje. Prema Lacey i Line (1994) pH iznad 8,5 smanjuje ukupnu klijavost sjemena i preživljenje klijanaca. Pri pH 10,0 klijavost sjemena bila je jako niska, a preživljenje klijanaca nakon dva tjedna nula. Naša istraživanja mogu se poboljšati na način da se ispituju morfološke značajke klijanaca obične smreke i u lužnatoj pH otopini. Na rast smreke utječe ne samo odnos hranjiva, nego i pH supstrata ili otopine tla. Prema Ingestad (1967), optimalan pH kreće se od 4,5 do 5,0 iako smreka može dobro uspijevati čak i kod pH između 3,6–4,2 (Fiedler 1975). U istraživanju Schönamsgrubera (1958), dvogodišnje sadnice smreke u hidroponskim uvjetima absorbirale su najviše mineralnih soli pri pH od 5,5.

Abrahamsen i dr. (1976) pišu kako je klijavost sjemena smreke u kiselom mineralnom tlu imala negativan učinak kod pH od 4,0 ili nižem. S povećanjem kiselosti tla, smanjuje se klijavost i početni rast klijanaca. Abouguendia i Redmann (1979) istraživali su utjecaj bufferne otopine (pH 2,2; 3,0 i 9,0) na klijanje sjemena i početni rast klijanaca vrste *Pinus contorta* Douglas u laboratorijskim uvjetima. Klijavost sjemena *Pinus contorta* Douglas pri niskom pH bila je veća nego u kontroli (destilirana voda, pH 6,5), klijavost sjemena vrsta *Picea glauca* (Moench) Voss i *Pinus banksiana* Lamb. pri niskim pH bila je jednaka klijavosti u destiliranoj vodi, dok je klijavost vrste *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenburg bila signifikantno niža. Možemo zaključiti kako se rezultati naših istraživanja sa sjemenom obične smreke podudaraju s istraživanjima gore spomenutih autora jedino u slučaju sjemena vrste *Picea mariana* (Mill.) Britton Sterns & Poggenburg, koje očito reagira vrlo slično na niski pH otopine kao i sjeme vrste *Picea abies* L., H. Karst. U ekstremno alkalnim uvjetima (pH 9,0) klijavost sjemena vrsta *Pinus contorta* Douglas, *Picea glauca* (Moench) Voss, *Pinus banksiana* Lamb. i *Picea mariana* (Mill.) Britton, Sterns & Poggenburg bila je manja nego u destili-

ranoj vodi. Rast klijanaca spomenutih vrsta drveća bio je statistički značajno manji pri visokom i niskom pH u odnosu na kontrolu. Klijanci vrste *Pinus contorta* Douglas, za razliku od ostalih spomenutih vrsta, najbolje rastu pri pH 9,0, dok klijanci vrste *Pinus banksiana* Lamb. najbolje rastu pri pH 3,0.

Hou i Wang (2000) istraživali su utjecaj simulirane kisele kiše pH vrijednosti 2,0; 3,5; 5,0 i 6,0 te kontrole (destilirana voda) na klijavost sjemena pet vrsta listača (*Cinnamomum camphora* L., *Ligustrum lucidum* W. T. Aiton, *Castanopsis fissa* Rehd. et Wils., *Melia azedarach* L. i *Koelreuteria bipinnata* Franch.). Značajno inhibitorno djelovanje na sjemenu tri istraživane vrste dogodilo se kod pH 2,0. Kod klijanaca svih pet istraživanih vrsta utvrđeno je signifikantno oštećenje listova, smanjivanje sadržaja klorofila i usporavanje rasta kod pH 2,0. Klijanci su bili potaknuti na rast kod pH između 3,5 i 5,0. Autor je utvrdio donju kritičnu granicu pH ispod koje se događa inhibicija klijanja i rast klijanaca. Prema Puchalski i Prusinkiewicz (1990) te Schmidt-Vogt (1991), optimalni uvjeti za klijanje sjemena obične smreke su u supstratima dobrih vodo zračnih odnosa s pH vrijednosti oko 5,5 i na temperaturama između 15 i 25°C. Isti autori naglašavaju kako svjetlo ne utječe na klijanje sjemena obične smreke, ali je vrlo važno u određenoj fazi rasta biljke. Prema istraživanju Abrahamsena (1976) u Norveškoj, pH vrijednost ispod 4,0 smanjuje klijavost sjemena obične smreke. U našem istraživanju dokazana je donja granica pH od 2,6 ispod koje nisu zabilježeni pravilni klijanci (u skladu s ISTA pravilima).

## ZAKLJUČCI Conclusions

S obzirom na postavljene ciljeve istraživanja i dobivene rezultate možemo zaključiti sljedeće:

- Granična pH vrijednost otopine za klijanje i pravilan razvoj klijanaca obične smreke iznosila je 2,60. Prosječno visoko klijanje sjemena utvrđeno je u pH otopinama većim od 2,81. Najveća energija klijavosti sjemena dobivena je u slabo kiselim otopinama, dok je najveći postotak gnjilog sjemena zabilježen u najkiselijoj otopini (pH 1,72).
- Najveći postotak nepravilnih klijanaca procijenjen je kod pH otopina 2,10 (24,50%) i 2,60 (33,75%). U otopinama pH od 1,72 i 2,10 nije utvrđen niti jedan pravilni klijanac, odnosno svi klijanci procijenjeni su kao nepravilni. U ekstra kiselim pH otopinama najveći postotak (75,39%) nepravilnih klijanaca pripada u kategoriju gdje je primarna infekcija uzrokovala trulež radikule. U ekstremno kiselim otopinama prosječno učešće nepravilnih klijanaca s primarnom infekcijom koja je uzrokovala trulež radikule iznosilo je 35,09%, u vrlo kiseljoj otopini 25,00%, u kiseljoj otopini 12,82%, odnosno u slabo kiseljoj otopini 20,96%.



Postotno učešće nepravilnih klijanaca s presavinutim ili zavnutim hipokotilom raste od ekstremno kiselih do slabo kiselih otopina. Nepravilni klijanci kojima nedostaje vrh ili su kratki, zastupljeni su u ekstra kiselim otopinama s 8,71%, odnosno u ekstremno kiselim otopinama 21,05%.

Rezultati ovog istraživanja poslužiti će boljem razumijevanju morfoloških značajki klijanaca kod prirodne obnove smrekovih sastojina u promjenjivim ekološkim uvjetima (kisele kiše, zakiseljavanje tala i dr.). Osim dobrog uroda, preduvjet uspješne prirodne obnove smrekovih šuma između ostaloga su pravilni klijanci. Pozitivna je činjenica kako su tla u Republici Hrvatskoj većinom iznad granične pH vrijednosti za klijanje sjemena i pravilan razvoj klijanaca obične smreke, dok samo mali dio tala (0,38%) ima pH vrijednost nižu od 3.

## LITERATURA

### References

- Abouguendia, Z. M., R. E., Redmann, 1979: Germination and Early Seedling Growth of Four Conifers on Acidic and Alkaline Substrates. *Forest Science*, 25(2): 358–360.
- Abrahamsen, G., 1976: Acid precipitation – effect on forest ecosystems. *Ecological Bulletins*, 21: 79–86.
- Abrahamsen, G., R. Horntvedt, B. Tveite, 1976: Impacts of acid precipitation on coniferous forest ecosystems. In: Dochinger, L. S.; Seliga, T. A., eds. *Proceedings of the first international symposium on acid precipitation and the forest ecosystem*; Gen. Tech. Rep. NE-23. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. 991–1009.
- Čavlović, J., T. Dubravac, V. Roth, S. Dekanić, K. Teslak, 2008: Succession processes and development of the stand structure of a 161-year-old Norway spruce plantation under regime without silvicultural treatment. *Periodicum biologorum*, 110(2): 187–193.
- Dudal, R., 1976: Inventory of the major soils of the world with special reference to mineral stress hazards. In: *Plant adaptation to mineral stress problem soils. Proceedings workshop*, M. J. Wright (Ed.). Beltsville Cornell University Press, Ithaca, p. 3–13, NY.
- Fiedler, H. J. 1975: Abhängigkeit des Ernährungszustands der Baumart Fichte von Boden und Klima. *Beitz. Forstwirtschaft*, 9: 118–122.
- Foy, C. D., 1988: Plant adaptation to acid, aluminium toxic soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19: 959–987.
- Ho, M., 1992: Red Spruce Germination and Growth in Soil-mediated Regeneration Microcosms Under Acid Precipitation. *Duke University*, Durham, p. 238, NC (United States).
- Hou Bac Fan, Yi Hong Wang, 2000: Effects of simulated acid rain on germination, foliar damage, chlorophyll contents and seedling growth of five hardwood species growing in China. *Forest Ecology and Management*, 126: 321–329.
- Hrabí, L., 1993: Změny vnitřní struktury a klíčivosti semen kleče. *Opera corcontica*, 30: 79–83.
- Hrabí, L., 2002: Quality and germination of the Norway spruce seeds *Picea Abies* (L.) Karsten. *Biologica*, 39–40: 7–11.
- Ingestad, T., 1967: Methods for uniform optimum fertilization of forest tree plants. *Proc. 14<sup>th</sup> Congr. IUFRO, Munich Pt. III, Sec. 22*: 265–269.
- ISTA (International Seed Testing Association), 2003: *Handbook on Seedling Evaluation 3<sup>rd</sup> Edition*, Bassersdorf, Switzerland.
- ISTA (International Seed Testing Association), 2006: *International Rules for Seed Testing, Edition 2006/1, Chapter 5: The Germination Test*, Bassersdorf, Switzerland.
- Kochian, L.V., 1995: Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 46: 237–260.
- Lacey, M. J., M. A. Line, 1994: Influence of soil pH on the germination and survival of *Eucalyptus regnans* F. Muell. in southern Tasmania. *Australian Forestry*, 57(3): 105–108.
- Likens, G. E., F. H. Bormann, R. S. Pierce, J. S. Eaton, N. M. Johnson, 1977, 1995: *Biogeochemistry of a forested ecosystem*. Springer-Verlag. p. 146.
- Miquel Anglès Marín, 2004: Effect of nitrate on the germination of a soil seed bank in a Norway spruce forest in relation to liming and clear-felling. Thesis for Master of Science in Biology, Department of Ecology and Environmental Research, Swedish University of Agricultural Sciences, p. 26.
- Oršanić, M., 2001: Strukturne osobine i dinamika šumskih sastojina obične smreke (*Picea abies* (L.) Karst) na sjevernom Velebitu. *Disertacija. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, p. 150, Zagreb.
- Puchalski T., Z. Prusinkiewicz, 1990: *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego. (Ecological principals of forest habitat study)*. PWRiL, p. 619, Warszawa.
- Schmidt, L., 2000: *Guide to Handling of Tropical and Subtropical Forest Seed*. Danida Forest Seed Centre, p. 1–22.
- Schmidt-Vogt, H., 1991: *Die Fichte II/3*. Hamburg-Berlin, p. 804, Parey.
- Schönnamsgrubera, H., 1958: Die Aufnahme der Phosphorsäure aus Thomasphosphat durch junge Holzpflanzen, Phosphorsäure, *Essen* 18(1). 24–41.
- Seeber, G., 1976: Nursery techniques. In: *Manual of reforestation and erosion control for the Philippines* (Weidelt, H.J, comp.). 229–389. GTZ, Eschborn.
- Taylor, G. J.; 1988: Mechanism of aluminium tolerance in *Triticum aestivum* L. nitrogen nutrition, plant induced pH and tolerance to aluminium: correlation without causality. *Can. J. Bot.*, 66: 694–699.
- Vajda, Z., 1933: Studija o prirodnom rasprostranjenju i rastu smreke u sastojinama Gorskog Kotara. *Šumarski list*, 57: 217–253, 289–329.
- Vogelmann, H. W., M. Bliss, G. J. Badger, R. M. Klein, 1985: Forest decline on Camels Hump, Vermont. *Bull. Torrey Bot. Club*, 112: 274–287.
- Young, J. A., C. G. Young, 1992: *Seeds of Woody Plants in North America*, 407 p, Portland.

**ABSTRACT:**

The paper presents the results of morphological properties of Norway spruce (*Picea abies* L., H. Karst.) seedlings in various pH solutions. The seed was treated with 10 different pH solutions with pH ranging from 1.5 to 6.0 (increase at every 0.5). Water solutions were prepared by sequential dilution of the original concentrated sulfuric acid ( $H_2SO_4$ ) and the ultrapure water ( $<18 M\Omega\text{ cm}$ ). The ultrapure water was used for the control. The testing was carried out in the laboratory in line with the ISTA (International Seed Testing Association) prescribed conditions. The evaluation of seedlings was performed on three occasions (days 7, 14 and 21) according to the ISTA rules. A digital camera was used to photograph all abnormal seedlings. A catalogue was made containing photographs and descriptions of abnormal seedlings with respect to pH solutions. The results of this research help understand the seedling morphology present during natural regeneration of Norway spruce forests in altered ecological conditions (acid rains, soil acidification). Besides a good yield, the prerequisite for a successful natural regeneration of Norway spruce forests are normal seedlings.

---

KEY WORDS: seedling morphology, normal seedling, abnormal seedling, pH – solution, Norway spruce.