

THE INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS ON RADIAL GROWTH IN THE SPECIES OF THE GENUS *PAULOWNIA*

ГОРДАНА РАДОШЕВИЋ¹
ДРАГИЦА ВИЛОТИЋ¹

Abstract: This article presents results of the analysis of the current radial growth of two species belonging to the genus *Paulownia*: *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl. and *Paulownia elongata* S.Y.Hu from a plantation which was artificially established in 1996 and 1997 in the location Bela Crkva in Serbia. Based on this analysis of the current radial growth of the species *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl. and *Paulownia elongata* S.Y.Hu and the impact of rainfall and the climate index, we reached the conclusion that there is apparent correlation between the climatic elements and the culmination of the current radial growth. The climate in the period during our research (1996 – 2008) varied from arid (E) to slightly humid (B1). The first culmination of the current radial growth appears as early as in the second and the third years of age, and the second culmination occurs in the fourth and the fifth years of age. After that there is an abrupt decrease in radial growth until the third culmination in the ninth year of age. On the basis of research results we can deduce that there is significant correspondence with and influence of climatic factors on the current radial growth of the above-mentioned species.

Keywords: *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl., *Paulownia elongata* S.Y.Hu, current radial growth, pluviometric regime, climate index.

1. INTRODUCTION, ISSUE AND ASSIGNMENT OF THE RESEARCH

Since a long time ago *Paulownia* has been grown in China, Korea and Japan, primarily due to its rapid growth and good quality of wood that can be used for different purposes. In 1996 scientific research of two species of this genus in Serbia began by establishing the plantations of *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl. and *Paulownia elongata* S.Y.Hu. in the area of Bela Crkva. For the purpose of thorough research, one of the tasks was to investigate anatomical properties of these tree species. By sampling tress for dendrometric analysis and the analysis of growth ring widths for each year we collected the data on the current radial growth. The species' property to have high annual radial growth rates enabled the analysis of each year. The resulting data were related to the rainfall and the calculated climate indices after Thornthwaite for each year. The results of the comparison of these data proved considerable dependence of current radial growth on rainfall and the climate index. For the time period of 13 years rainfall varied annually from 315 mm to 964 mm, and the climatic index varied from – 42, 131 (E) to 35,0662 (B1), which implies the possibility of significant influence on current radial growth. Similar researches on the impact of climatic factors on diameter and height

¹ mr Gordana Radošević; dr Dragica Vilotić, Professor; University of Belgrade - Faculty of Forestry

increment of different species were conducted by Jovanović, B. and Stojanović, Lj. (1982); Vučković, M., Stajić, B. (2003), Koprivica, M., Matović, B. (2004); Vukin, M., Isajev, V. (2004) etc. However, as the object of these researches were fast-growing tree species, the very relation between climatic factors and radial growth was even more obvious.

With regard to the above mentioned issues the following assignments were set:

- Analysis of climatic factors and the climate index after Thornthwaite for the investigated area;
- Study of diameter development and current radial growth for the species *Paulownia fortunei* and *Paulownia elongate*;
- The influence of pluviometric regime and the climate index on current radial growth of the analyzed species.

2. MATERIAL AND METHOD

In the course of this research weather conditions for the period from 1997 – 2008 for the meteorological station Bela Crkva, Serbia, were processed in detail with special attention paid to pluviometric regime and air temperature; the climate index was calculated (after Thornthwaite) for each year of the investigated period. Dendrometric analysis involved 6 trees, that is, 3 mean trees for each species from 20 % of the largest trees. Also, the analysis of tree-ring width was performed for each year.

By comparative analysis and statistical data processing some parameters of correlation of the analyzed factors were obtained using the methods of regression analysis and analysis of variance.

3. RESULTS

3.1. Research sites

The studied plantation is located in the area of Bela Crkva (44°54' N, 21°25' E). The plantation is established at the altitude of 90 m and a flat terrain in 1996 by planting *Paulownia fortunei* and in 1997 by planting *Paulownia elongate*. The spacing grid was 4 x 4 m with the total planting density of about 625 seedlings per hectare. The research was conducted during 2008 when the trees were at the age of 12 and 11, respectively.

The plantation was established on agricultural land in conditions similar to those for forest stand development. The only significant change during the process of plantation development is climate, particularly rainfall and air temperature – the parameter which varied a lot in the past 12 years, which significantly influenced current radial growth.

3.2. The analysis of climatic factors

Air temperature

Average air temperatures for the investigated area in the analyzed period of time are shown in table 1.

Table 1. Average monthly air temperatures ($^{\circ}$ C) for the period 1996 – 2008

Month	Year													\bar{x}^s
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
I	0,3	0,5	2,9	1,1	-2,2	4,1	-0,6	-0,3	-1,3	1,1	-1,1	5,1	1,3	0,8
II	-0,3	3,3	4,5	1,1	3,6	4,0	6,8	-2,5	1,5	-2,2	1,5	6,0	4,3	2,4
III	2,6	4,9	3,5	8,0	6,6	10,7	9,4	5,8	6,8	5,0	5,6	9,5	8,5	6,7
IV	11,9	7,1	13,4	12,8	15,2	11,4	11,6	10,7	13,1	11,8	12,9	12,3	13,1	12,1
V	18,6	17,2	16,1	16,7	18,5	18,2	19,5	20,4	15,4	16,8	16,6	18,4	18,3	17,7
VI	21,0	20,8	21,7	20,5	21,6	18,3	21,6	24,2	20,1	19,5	19,4	22,8	21,7	21,0
VII	21,3	20,1	22,2	22,5	22,6	22,9	23,8	22,5	23,0	22,0	23,3	24,6	22,1	22,5
VIII	21,6	20,1	22,2	22,0	24,7	23,5	21,5	24,7	21,6	20,4	20,4	23,8	23,1	22,3
IX	13,6	16,0	16,9	19,3	17,2	16,0	16,4	17,2	16,6	18,2	18,2	15,4	16,2	16,7
X	11,9	8,5	13,7	12,0	14,4	14,6	12,2	9,9	14,8	12,2	13,8	11,2	13,4	12,5
XI	8,8	7,9	4,5	4,7	11,7	4,2	10,2	8,2	7,1	6,0	7,5	5,0	8,5	7,2
XII	1,6	3,5	-2,2	2,1	4,3	-2,5	0,9	2,4	3,5	2,3	2,8	0,7	3,9	1,8
Average	11,1	10,8	11,7	12,0	13,2	12,2	12,8	12,0	11,9	11,2	11,8	13,0	12,9	12,0

Basic characteristics of the air temperature regime are:

- Average annual air temperature for the investigated period amounts to 12° C.
- Average mean air temperature for the vegetation period (April – September) is 18.7° C, and in different seasons: spring 12.2° C, summer 21.9° C, fall 12.1° C, and winter 1.7° C.
- The warmest month on average is July with the average temperature of 22.5° C, and the coldest month is January with 0.8° C.
- For the period 1996 – 2008 the average annual temperature varied from 10.8° C (year 1997) to 13.2° C (year 2000).
- The lowest recorded temperature was -22.8° C in January of 2000.
- The highest recorded temperature was 42.8° C in July of 2007.

Pluviometric regime

Basic data on the rainfall are shown in table 2.

Table 2. Rainfall (mm) for the period 1996 – 2008

Month	Year													\bar{x}^s
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
I	17,1	27,6	34,9	43,2	39,5	30,1	18,9	42,9	75,9	51,9	39,2	81,4	28,5	40,8
II	64,5	41,8	2,5	81,5	20,6	28,4	9,6	13,5	42,5	95,9	49,3	66,4	11,4	40,6
III	30,3	15,6	11,8	10,0	34,0	51,7	14,6	8,5	15,6	27,9	71,6	73,7	91,6	35,1
IV	21,9	55,6	43,1	74,9	65,9	131,5	36,6	38,1	38,8	125,7	102,0	5,0	56,0	61,2
V	82,6	49,9	51,8	49,3	24,2	28,0	60,9	55,1	56,4	107,9	45,5	81,2	49,7	57,1
VI	33,6	48,2	97,4	66,5	6,7	159,2	103,9	18,5	30,8	64,8	178,4	55,3	70,1	71,8
VII	21,4	155,5	64,3	234,0	6,9	53,4	94,3	98,5	37,0	131,4	32,9	12,2	38,7	75,4
VIII	88,8	116,1	35,8	8,7	17,5	68,2	70,9	0,5	49,3	161,0	162,7	64,1	51,4	68,8
IX	107,3	37,1	69,7	65,9	45,2	190,0	61,1	66,5	48,4	44,4	15,4	91,2	55,1	69,0
X	27,4	105,4	74,9	22,9	2,5	24,8	60,4	115,4	38,4	38,9	19,3	99,4	41,6	51,6
XI	59,8	33,1	42,1	47,1	14,9	51,0	38,3	34,0	137,6	22,4	36,0	80,9	42,7	49,2
XII	83,2	53,1	17,3	113,9	37,8	17,8	47,6	27,2	24,8	92,2	48,5	40,0	56,5	50,8
Σ	637,9	739,0	545,6	817,9	315,7	834,1	617,1	518,7	595,5	964,4	800,8	750,8	593,3	671,6

Average rainfall for the period 1996 – 2008 amounts to 671.6 mm varying from 315.7 mm (year 2000) to 964.4 mm (year 2005). Years 1999, 2001, 2005 and 2006 are distinctive with the rainfall of over 800 mm annually.

The driest season of the year is winter with an average of 132.2 mm or 19.7 % of the total annual rainfall; followed by spring with 153.4 mm or 22.8 % and fall with 169.8 mm or 25.3%. Summer is the rainiest of all seasons with 216.0 mm or 32.2 %. Throughout the vegetation period rainfall amounts to 403.3 mm or 60.0 % of the total rainfall, which is highly favourable for plant development. The analysis per years showed that in the vegetation period rainfall varies from 41.2 % (year 2007) to 75.6 % (year 2001). In seven years out of the analyzed 13 years more than 60% of the total annual rainfall is reached during the vegetation period, whereas the amount of rainfall during the vegetation period exceeds 50% of the total annual rainfall in 11 years.

The Water Balance after Thornthwaite

The water balance is determined on the basis of average monthly and annual rainfall values and air temperatures for the period 1996 – 2008 (Table 3).

Table 3. The water balance after Thornthwaite

	T °C	i	(PE)	PE	P	R	SE	M	V
I	0,8	0,06	1	1	41	100	1	0	21
II	2,4	0,33	6	4	41	100	4	0	36
III	6,7	1,56	22	23	35	100	23	0	12
IV	12,1	3,81	48	54	61	100	54	0	7
V	17,7	6,78	79	104	57	53	104	0	0
VI	21,0	8,78	99	128	72	0	124	3	0
VII	22,5	9,75	108	147	75	0	75	71	0
VIII	22,3	9,62	107	134	69	0	69	65	0
IX	16,7	6,21	73	76	69	0	69	7	0
X	12,5	4,00	50	48	52	3	48	0	0
XI	7,2	1,74	24	19	49	33	19	0	0
XII	1,8	0,21	4	3	51	81	3	0	0
GOD.	12,0	52,85		742	671		595	147	76
V.P.	18,7			643	403		496	147	7

In. hum.= 10,2959

In. arid. 19,8155

Kl. ind. = -1,5934

CLIMATE:: SUB-HUMID DRIER - (C1)

CLIMATE-DIAGRAM

Potential evapotranspiration (PE), that is to say the potential amount of water that would evaporate from the soil and plants in given energetic and temperature conditions amounts to 742 mm, and real evapotranspiration (SE) amounts to 595 mm. Consequently, the soil retains water surplus (V) of 76 mm, and water deficiency (M) appears to be 147 mm. In table 3 and the climate diagram it is shown that water surplus is present in the first 4 months of the year (from January to April) when the vegetation is not in need of water as it is in the period of dormancy. Conversely, water deficiency

appears from June to September, that is, in the vegetation period. This implies that plants do not receive adequate amount of moisture from the soil for regular growth throughout the entire year.

The climate index (Im) after Thornthwaite

The average annual value of the general climate index calculated for the studied period of 13 years, in the investigated area of Bela Crkva, ranges from - 42.13 to 35.07, that is, the climate varies from arid (E) to slightly humid (B1) climate type. The average value of the general climate index was calculated on the basis of average monthly and annual values of rainfall and air temperatures and it amounts to 1.59, which means that the climate is sub-humid drier (C1).

Diagram 1 illustrates the values of the climate index on a yearly basis in the investigated period and it indicates periodic interchange of dry and wet periods with certain, higher oscillations. Additionally, in table 4 there are annual data on the humidity index (ih), the aridity index (ia) and the climate index (im) along with the climate type after Thornthwaite's classification for the investigated period. These data are important for comparative analysis of their impact primarily on the rate of current radial growth of the studied species.

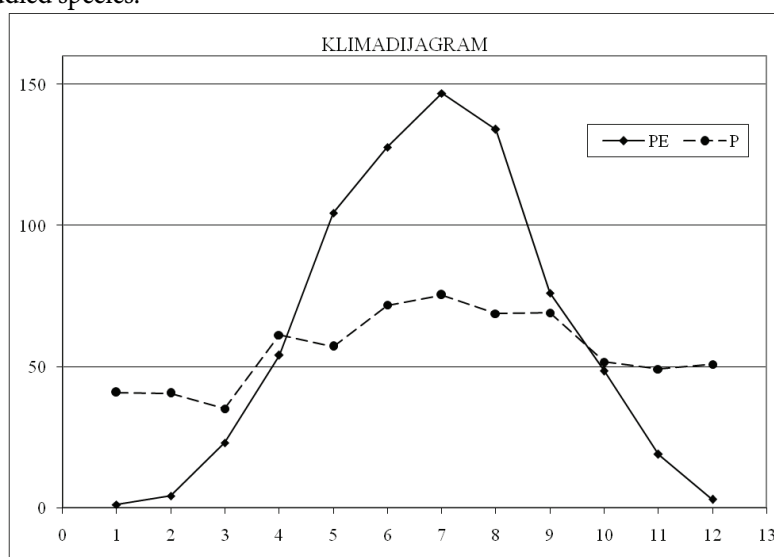


Diagram 1. The climate index (Im) on annual basis

Conclusion on the climate

Macroclimate of the studied area can be classified as sub-humid drier type (C1), that is moderately continental area that makes the transition from southern type towards middle European type since it mostly demonstrates sub-humid drier to wetter conditions (C1 to C2) with one year characterized by slightly humid (B1), over semi-arid (D) to arid (A) climate.

Table 4. The climate index after Thornthwaite

Year	Ih	Ia	Im	Climate type
1996.	15,5645	30,7513	-2,8863	SUB-HUMID DRIER – (C1)
1997.	15,0814	8,21699	10,1512	SUB-HUMID WETTER – (C2)
1998.	-6,3658	25,7982	-21,845	SEMI-ARID – (D)
1999.	19,7612	12,3849	12,3302	SUB-HUMID WETTER- (C2)
2000.	-6,0613	60,1159	-42,131	ARID
2001.	23,7784	12,8868	16,0464	SUB-HUMID WETTER – (C2)
2002.	-12,881	19,9303	-24,839	SEMI-ARID – (D)
2003.	6,58342	42,4361	-18,878	SUB-HUMID DRIER – (C1)
2004.	15,6295	39,8121	-8,2578	SUB-HUMID DRIER – (C1)
2005.	35,0662	0	35,0662	SLIGHTLY HUMID (B1)
2006.	20,5419	11,5252	13,6268	SUB-HUMID WETTER – (C2)
2007.	27,2224	37,1248	4,94755	SUB-HUMID WETTER – (C2)
2008.	7,37078	30,6991	-11,049	SUB-HUMID DRIER – (C1)
Average	10,2959	19,8155	-1,5934	SUB-HUMID DRIER – (C1)

Beside the noticeable deviations and oscillations of the climate in the investigated area certain regularity can be observed. However, due to the relatively short period of research monitoring it is not possible to draw firm conclusion regarding the changes from wet periods to dry periods and vice versa, although this is perceptible to some extent.

Finally, regarding topography and terrain relief where *Paulownia* plantation was established regardless of the altitude, it can be stated that the microclimate of the studied area is significantly different not only from distant places but also from the surrounding landscapes with a different plant cover. All these facts should be taken into account when microclimate of the investigated stands is concerned. These stands with their canopy, vertical and horizontal structure influence the macroclimate modifying it in order to create favourable conditions for tree development in a specific stand.

3.3. Tree radial growth

Basic data on diameter development and current radial growth rate for the analyzed trees (average values for three selected trees of each species) are shown in diagram 2.

The analysis of data indicates that diameter increment is significant in the initial period up to the sixth year of age in both species. After that it decreases abruptly to relatively low values. Interestingly, in the initial period *Paulownia elongate* had some more intensive radial growth compared to *Paulownia fortunei*. From the age of 4 to 6 it lags behind in radial growth to maintain the same level with *Paulownia fortunei* for the period between the 7th and the 11th year of age, with a consequently smaller diameter by about 2 cm or about 1%.

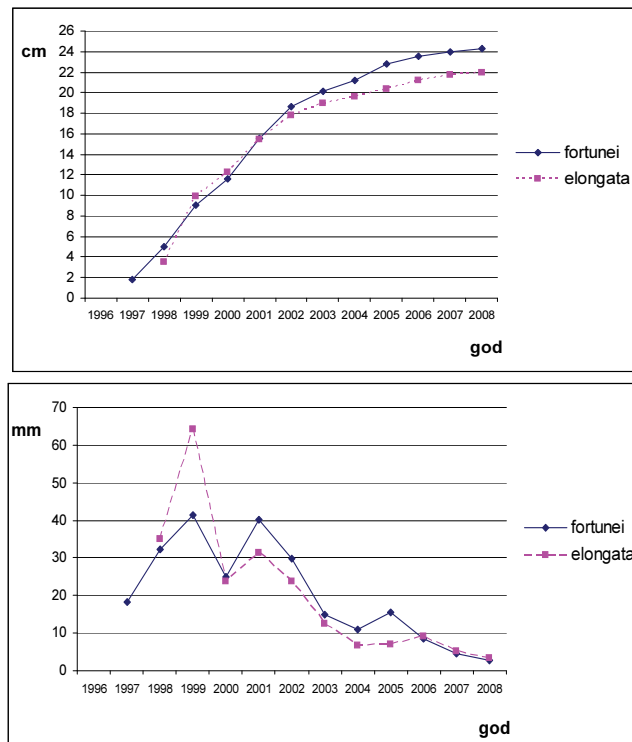


Diagram 2. Diameter development and current radial growth

Using the model of linear regression equation was obtained:
 $idpf = -399778 + 402,947g - 0,1015g^2$; $R^2 = 80,56\%$; $Se = 6,8$ mm;
 $idpe = 1,56569 - 1558,75g + 0,3879g^2$; $R^2 = 72,62\%$; $Se = 6,3$ mm;
 idpf – diameter increment *Paulownia fortunei*;
 idpe – diameter increment *Paulownia elongate*;
 g – year.

The results showed the usability of this model linear regression equations to create the relationship between the independent variables. The trend is statistically significant in both species with $p = 0.01$. Statistical analysis shows the method applied explains for 80.56% (*Fortune Paulownia*) and 72.62% (*Paulownia elongate*) variability. The standard error estimates depending on diameter increment of years was 6.8 mm and 6.3 mm and these values can be taken to limit the construction of new observations to predict these dependencies.

The first culmination of current radial growth in the species *Paulownia fortunei* appears in the third year, followed by the second culmination in the fourth year, and the third culmination in the ninth year. *Paulownia elongate* has a similar rate of current radial growth: the first culmination happens in the second year, the second culmination in the fourth year, and the third culmination in the ninth year of age. The first and the second culmination in both species happened in the same calendar year but in different years of age of the trees, which is a consequence of different climatic conditions for the

period from 1999 – 2001. The third culmination occurs at the same age as a consequence of biological properties of the species, and in different calendar years since climatic conditions were quite similar in the period from 2005 – 2006.

Detailed analysis of diameter development and the current radial growth showed an abrupt decrease of the rate of current radial growth in the year 2000 due to very unfavourable climatic conditions during that year (insufficient rainfall).

The resulting data lead to the conclusion that the first culmination of current radial growth appears very early, more precisely, in the second and the third years of age of a tree, and the second culmination happens in the fourth and the fifth years of age, respectively; the third culmination with lower maximum values emerges in the ninth year of age in both species. However, we can deduce that the year 2000 was not that critical in terms of rainfall as the first and the second culmination would appear as one culmination at some time between the 2nd and 5th year of age, and the second culmination would occur in the ninth year of age. All this implies that the studied species are among the fastest-growing species introduced in these areas, and that climatic conditions had significant impact on their development. Therefore, from the silvicultural point of view, rotation period should not be longer than 10 years.

3.4. The impact of climatic factors on radial growth

Influence of climatic factors, in first place rainfall and the climate index after Thornthwaite, on the rate of radial growth is shown in diagram 3 (3a, 3b, 3c).

Based on the data from the correlation matrix (table 5) it can be concluded that in addition to the above, dependence on the connection is not significant in terms of correlation relationships of the investigated characteristics. The only connection is the climatic index and the rainfall during the vegetation period which is statistically significant with $p = 0.01$. It is especially characteristic that the relationship between diameter increment and precipitation in the vegetation period is not statistically significant (Diagram 3b).

Table 5. Correlation matrix

	g	Ik	idpf (mm)	idpe (mm)	P (mm)	Pvp (mm)
g		0,33 0,32	-0,89 0,00	-0,82 0,00	0,27 0,41	-0,02 0,99
Ik	0,33 0,32		-0,04 0,89	-0,01 0,95	0,97 0,00	0,83 0,00
idpf (mm)	-0,86 0,00	-0,05 0,89		0,89 0,00	0,05 0,87	0,34 0,30
idpe (mm)	-0,83 0,00	-0,02 0,95	0,89 0,00		0,06 0,86	0,23 0,49
P (mm)	0,27 0,41	0,97 0,00	0,05 0,87	0,06 0,86		0,89 0,00
Pvp (mm)	-0,00 0,99	0,83 0,00	0,34 0,30	0,23 0,49	0,88 0,00	

g – years; P – rainfall; Ik – Climate index; r – correlation; p value

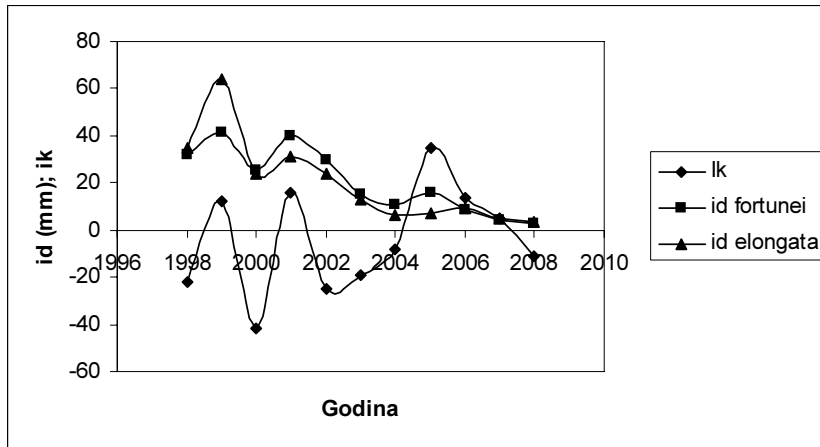


Diagram 3a. The accordance of the radial growth trendline with the climate index



Diagram 3b. The accordance of the radial growth trendline with the rainfall



Diagram 3c. The accordance of the radial growth trendline with the rainfall in vegetation period

The accordance of radial growth trendline with the climate index, as well as with the rainfall, is even more emphasized for the data from the vegetation period. The first and the second culminations of the current radial growth appear very early in both *Paulownia* species in the same calendar years (1999 and 2001) which can be explained for by the abundant rainfall. The abrupt decline in the current dbh growth in the year 2000 occurred as a consequence of drought and it had a clear reflection on both species regardless of tree age. The third, weakly noticeable culmination of current radial growth occurred in the ninth year of age in both species as a result of plantations' age i.e. the biological properties of these tree species.

On the basis of the above listed data it is possible to draw a clear conclusion that accordance of radial growth trendline with the climatic index and rainfall, explains for the significant impact of these climatic factors on the culmination of radial growth.

Statistical data processing revealed that there is a statistically significant trend between current diameter growth and the analyzed climatic factors in both studied species.

4. CONCLUSIONS

The research in this paper was conducted in the plantation of the species *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl. and *Paulownia elongata* S.Y.Hu and it was based on the analysis of climatic conditions, diameter development and the current radial growth of the trees.

The investigated plantation of *Paulownia* is located in the area of Bela Crkva, Serbia, at the altitude of 90 m on a flat terrain. The plantation was established in 1996 and 1997. During the research, the age of *Paulownia fortunei* trees in 2008 was 12 years, and of *Paulownia elongate* trees it was 11 years. The following conclusions were drawn on the basis of the obtained results:

- The annual rainfall oscillated from 316 mm (year 2000) to 964 (year 2005), which proved to have significant influence on the development of individual trees and the entire stand. The investigated climatic data in the period of plantation development indicated that the climate is sub-humid drier (C1), and that it varied from arid E (year 2000) to humid B1 (year 2005).
- The first culmination of current radial growth in both species appears very early: in the second or the third year, respectively, while the second culmination occurs in the fourth and the fifth years of age, respectively, whereas the third culmination for both species appears at the age of nine. The reason why the first and the second culmination occurred in the same calendar years is the consequence of the extreme drought in 2000, which caused drastic decrease of the current radial growth. If climatic conditions in that period had been similar, the first culmination of the current radial growth would have occurred at the age between the third and the fifth year of age, and the second culmination around the ninth year of age.
- This study clearly proves the accordance of tree radial growth trendline with the climate index, as well as with the rainfall.

On the bases of the above considerations, it can be concluded that the studied fast-growing tree species should not be managed with a rotation period longer than 10 years.

LITERATURE

- Hu, Shiu-Ying (1959): A monograph of the genus Paulownia. Quarterly Journal of the Taiwan Museum 7 (1,2): 1-54.
- Jovanović, B., Stojanović, Lj. (1982): Razvoj kultura nekih vrsta četinarara na ekstremnom staništu bukve (*Musco-fagetum*) u istočnoj Srbiji. Šumarstvo 1. Beograd str. 3-11.
- Koprivica, M., Matović, B. (2004): Uticaj klimatskih faktora i proreda na debljinski prirast crnog bora u ibarskoj klisuri. Zbornik radova Instituta za šumarstvo. Collection 50-51, Beograd. Str.22-31.
- Vučković, M., Stajić, B. (2003): Uticaj promena klime na rast i vitalnost šuma. Zaštita životne sredine gradova i prigradskih naselja. Novi Sad, str. 227-232.
- Vukin, M., Isajev, V. (2004): Istraživanje uticaja određenih klimatskih činilaca na visinski prirast crnog bora u semenskoj plantaži na Jelovoj Gori. Glasnik Šumarskog fakulteta br. 90. Str 91-106.
- Čokeša, V., Koprivica, M., Marković, N., Stajić, S. (2005): Rezultati plantažnog uzgoja paulovnije u Beloj Crkvi. Zbornik radova VII, specijalni rezervat prirode Deliblatska peščara, str. 421-429.

УТИЦАЈ КЛИМАТСКИХ ЧИНИОЦА НА ДЕБЉИНСКИ ПРИРАСТ ВРСТА РОДА *PAULOWNIA*

ГОРДАНА РАДОШЕВИЋ¹
ДРАГИЦА ВИЛОТИЋ¹

Извод: У раду су дати подаци о анализи текућег дебљинског прираста две врсте рода *Paulownia*: *Paulownia fortunei* Сеем. Хемсл. и *Paulownia elongata* С. Ђ. Ху са плантаже подигнуте 1996. и 1997. године у Белој Цркви - Србија. На основу анализе текућег дебљинског прираста за врсте *Paulownia fortunei* Сеем. Хемсл. и *Paulownia elongata* С. Ђ. Ху и утицаја падавина и климатског индекса дошло се до закључка о јасној зависности између климатских елемената и кулминације текућег дебљинског прираста. Клима је у истраживаном периоду (1996-2008. год) варијала од аридне (Е) до благо хумидне (В₁). Прва кулминација текућег дебљинског прираста наступа врло рано, већ у другој, односно трећој години, а друга у четвртој, односно петој години, а затим нагло опада, да би трећа кулминација наступила у деветој години старости. На основу добијених резултата закључено је да постоји велики утицај и подударност између климатских чинилаца и текућег дебљинског прираста.

Кључне речи: *Paulownia fortunei* Сеем. Хемсл. и *Paulownia elongata* С. Ђ. Ху, текући дебљински прираст, плувиометријски режим, климатски индекс.

1. УВОД, ПРОБЛЕМ И ЗАДАТАК РАДА

Од давнина, пауловнија се гаји у Кини, Кореји и Јапану пре свега због брзог раста и квалитета дрвета које се може користити за различите намене. На подручју Србије 1996. године започињу научна истраживања две врсте овога рода: *Paulownia fortunei* Сеем. Хемсл. и *Paulownia elongata* С. Ђ. Ху., оснивањем плантаже на подручју Беле Цркве. У циљу комплексних проучавања, један од задатака је био да се проуче анатомска својства ових врста дрвећа. Узимањем стабала за дендрометријску анализу и анализом ширине прстенова прираста за сваку годину дошло се и до података о текућем дебљинском прирасту. Особина врсте да има високе вредности дебљинског годишњег прираста омогућио је да се анализа врши за сваку годину. Добијени подаци су упоређени са одређеним климатским чиниоцима, односно количином падавина и израчунатим климатским индексима по Thornthwaite-у за сваку годину. Резултати тог поређења су показали велику зависност између количине падавина и Климатског индекса и вредности текућег дебљинског прираста. У истраживаном периоду од 13 година, количина падавина је варијала од 315-964 мм годишње, односно Климатски индекс од -42,131 (Е) до 35,0662 (В₁), што указује на могућност значајног утицаја на текући дебљински прираст. Слична проучавања о утицају и значају климатских чиниоца на дебљински и висински прираст

¹ мр Гордана Радошевић; др Драгица Вилотић, редовни професор; Универзитет у Београду – Шумарски факултет, Београду

код разних врста дрвећа вршили су: Јовановић, Б., Стојановић, Љ., 1982; Вучковић, М., Стајић, Б., 2003; Копривица, М., Матовић, Б., 2004; Вукан, М., Исајев, В., 2004, Чокеша, В. *et al.* (2005) и др. Међутим, како су предмет ових истраживања брзорастуће врсте дрвећа, то је још јасније дошла до изражаја веза између климатских чинилаца и дебљинског прираста.

На основу свега изложеног, постављени су следећи задаци рада:

- анализа климатских чиниоца и климатског индекса по Thornthwaite-у за истраживано подручје;
- истраживање развоја пречника и текућег дебљинског прираста код врста *Paulownia fortunei* и *Paulownia elongata*;
- утицај плувиометријског режима и климатског индекса на текући дебљински прираст проучаваних врста дрвећа.

2. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

У оквиру ових истраживања детаљно су обрађене климатске прилике за период 1997-2008. године за метеоролошку станицу Бела Црква – Србија, пре свега плувиометријски режим и температура ваздуха и израчунат је климатски индекс по Thornthwaite-у за сваку годину у истраживаном периоду. За дендрометријску анализу узето је 6 стабала, односно по 3 средња стабла за сваку врсту дрвећа, од од 20% најјачих стабала. Анализа ширине прстена прираста, односно дебљинског прираста извршена је за сваку годину.

Упоредном анализом и статистичком обрадом добијени су одређени параметри о зависности између анализираних чиниоца по методама Регресионе анализе и Анализе варијансе.

3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

3.1 Објекат проучавања

Истраживана плантажа налази се на подручју Беле Цркве, на 44°54' северне географске ширине и 21°25' источне географске дужине. На надморској висини од 90м и равном терену, плантажа је подигнута 1996. године садњом врсте *Paulownia fortunei* и 1997. године садњом врсте *Paulownia elongata* са густином садње од 4x4м (625 стабала/ха). Истраживања су вршена у току 2008. године када је старост стабала била 12, односно 11 година.

Плантажа је подигнута на пољопривредном земљишту у једнородним условима за развој састојине. Једина од значајнијих промена у току развоја ове плантаже су климатске прилике, тј. падавине и температура ваздуха која је доста осцилирала у протеклих 12 година, што је значајно утицало на текући дебљински прираст.

3.2 Анализа климатских чинилаца

Т е м п е р а т у р а в а з д у х а

Просечне температуре ваздуха за наведено подручје у анализираном периоду приказане су у табели 1.

Табела 1. Средње месечне температуре ваздуха (°C) у периоду 1996-2008. год.

месец	год													x ^c
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
I	0,3	0,5	2,9	1,1	-2,2	4,1	-0,6	-0,3	-1,3	1,1	-1,1	5,1	1,3	0,8
II	-0,3	3,3	4,5	1,1	3,6	4,0	6,8	-2,5	1,5	-2,2	1,5	6,0	4,3	2,4
III	2,6	4,9	3,5	8,0	6,6	10,7	9,4	5,8	6,8	5,0	5,6	9,5	8,5	6,7
IV	11,9	7,1	13,4	12,8	15,2	11,4	11,6	10,7	13,1	11,8	12,9	12,3	13,1	12,1
V	18,6	17,2	16,1	16,7	18,5	18,2	19,5	20,4	15,4	16,8	16,6	18,4	18,3	17,7
VI	21,0	20,8	21,7	20,5	21,6	18,3	21,6	24,2	20,1	19,5	19,4	22,8	21,7	21,0
VII	21,3	20,1	22,2	22,5	22,6	22,9	23,8	22,5	23,0	22,0	23,3	24,6	22,1	22,5
VIII	21,6	20,1	22,2	22,0	24,7	23,5	21,5	24,7	21,6	20,4	20,4	23,8	23,1	22,3
IX	13,6	16,0	16,9	19,3	17,2	16,0	16,4	17,2	16,6	18,2	18,2	15,4	16,2	16,7
X	11,9	8,5	13,7	12,0	14,4	14,6	12,2	9,9	14,8	12,2	13,8	11,2	13,4	12,5
XI	8,8	7,9	4,5	4,7	11,7	4,2	10,2	8,2	7,1	6,0	7,5	5,0	8,5	7,2
XII	1,6	3,5	-2,2	2,1	4,3	-2,5	0,9	2,4	3,5	2,3	2,8	0,7	3,9	1,8
просек	11,1	10,8	11,7	12,0	13,2	12,2	12,8	12,0	11,9	11,2	11,8	13,0	12,9	12,0

- Основне карактеристике температурног режима су следеће:
- средња годишња температура за истраживани период износи 12°C;
- просечна средња температура ваздуха у току вегетационог периода (април-септембар) износи 18,7°C, а по годишњим добима: пролеће 12,2°C, лето 21,9°C, јесен 12,1 °C и зима 1,7°C;
- најтоплији месец је у просеку јули са просечним вредностима од 22,5°C, а најхладнији јануар са 0,8°C;
- у истраживаном периоду (1996-2008.год) средња годишња температура је варијала од 10,8°C (1997. год) до 13,2°C (2000.год);
- најнижа забележена температура у истраживаном периоду од -22,8°C измерена је у јануару 2000. године;
- највиша забележена температура измерена је у јулу 2007. године и износила је 42,8°C.

Р е ж и м п а д а в и н а

Основни подаци о количини падавина дати су табели 2.

Просечна количина падавина у истраживаном периоду износи 671,6 mm и варира од 315,7 mm (2000) до 964,4 mm (2005). Карактеристичне су четири године, и то 1999, 2001, 2005. и 2006, са преко 800 mm падавина годишње.

Најсувље годишње доба је зима са просечних 132,2 mm или 19,7% од укупне годишње суме падавина, па пролеће са 153,4 mm или 22,8%, затим јесен са 169,8 mm или 25,3% и лето најкишовитије са 216,0 mm или 32,2%. У току вегетационог периода падне 403,3 mm или 60,0% од годишње количине падавина, што је врло повољно за развој биљног света. Анализом по годинама у вегетационом периоду падне од 41,2 (2007. год.) до 75,6% (2001. год). У 7 година од тринаест анализираних падне преко 60% падавина од годишње количине а у 11 година падне преко 50% од годишње суме падавина у току вегетационог периода.

Табела 2. Количина падавина у периоду 1996-2008. год (mm)

месец	год													x ^c
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
I	17,1	27,6	34,9	43,2	39,5	30,1	18,9	42,9	75,9	51,9	39,2	81,4	28,5	40,8
II	64,5	41,8	2,5	81,5	20,6	28,4	9,6	13,5	42,5	95,9	49,3	66,4	11,4	40,6
III	30,3	15,6	11,8	10,0	34,0	51,7	14,6	8,5	15,6	27,9	71,6	73,7	91,6	35,1
IV	21,9	55,6	43,1	74,9	65,9	131,5	36,6	38,1	38,8	125,7	102,0	5,0	56,0	61,2
V	82,6	49,9	51,8	49,3	24,2	28,0	60,9	55,1	56,4	107,9	45,5	81,2	49,7	57,1
VI	33,6	48,2	97,4	66,5	6,7	159,2	103,9	18,5	30,8	64,8	178,4	55,3	70,1	71,8
VII	21,4	155,5	64,3	234,0	6,9	53,4	94,3	98,5	37,0	131,4	32,9	12,2	38,7	75,4
VIII	88,8	116,1	35,8	8,7	17,5	68,2	70,9	0,5	49,3	161,0	162,7	64,1	51,4	68,8
IX	107,3	37,1	69,7	65,9	45,2	190,0	61,1	66,5	48,4	44,4	15,4	91,2	55,1	69,0
X	27,4	105,4	74,9	22,9	2,5	24,8	60,4	115,4	38,4	38,9	19,3	99,4	41,6	51,6
XI	59,8	33,1	42,1	47,1	14,9	51,0	38,3	34,0	137,6	22,4	36,0	80,9	42,7	49,2
XII	83,2	53,1	17,3	113,9	37,8	17,8	47,6	27,2	24,8	92,2	48,5	40,0	56,5	50,8
Σ	637,9	739,0	545,6	817,9	315,7	834,1	617,1	518,7	595,5	964,4	800,8	750,8	593,3	671,6

Хидрички биланс по Thornthweite-у

Хидрички биланс установљен на основу средњих месечних и годишњих вредности падавина и температуре ваздуха за период од 13 година (1996-2008. год) је дат у табели 3.

Табела 3. Хидрички биланс по Thornthweite-у

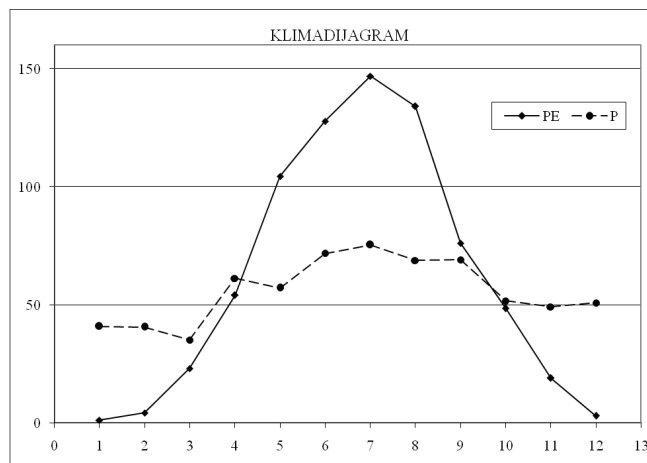
	T °C	и	(PE)	PE	P	R	SE	M	V
I	0,8	0,06	1	1	41	100	1	0	21
II	2,4	0,33	6	4	41	100	4	0	36
III	6,7	1,56	22	23	35	100	23	0	12
IV	12,1	3,81	48	54	61	100	54	0	7
V	17,7	6,78	79	104	57	53	104	0	0
VI	21,0	8,78	99	128	72	0	124	3	0
VII	22,5	9,75	108	147	75	0	75	71	0
VIII	22,3	9,62	107	134	69	0	69	65	0
IX	16,7	6,21	73	76	69	0	69	7	0
X	12,5	4,00	50	48	52	3	48	0	0
XI	7,2	1,74	24	19	49	33	19	0	0
XII	1,8	0,21	4	3	51	81	3	0	0
год.	12,0	52,85		742	671		595	147	76
В.П.	18,7			643	403		496	147	7

Ин. хум.= 10,2959

Ин. арид. = 19,8155

Кл. инд. = -1,5934

КЛИМА: СУБХУМИДНА СУВЉА - (C₁)

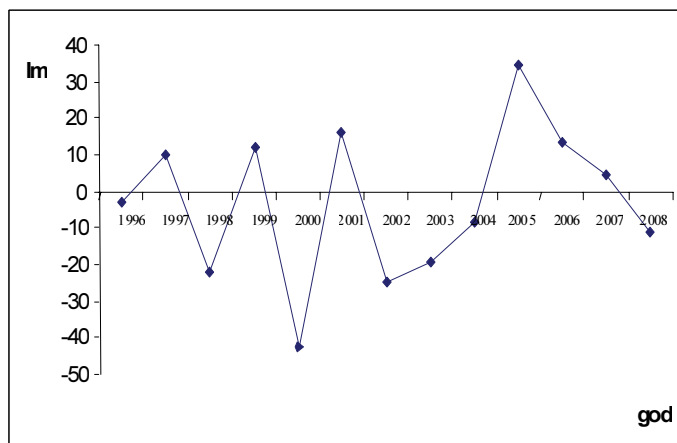


Потенцијална евапотранспирација (PE), тј. количина могуће воде која би испарила из земљишта и биљног света, при датим енергетско-температурним условима, износи 742 mm, а стварна евапотранспирација је 595 mm. Према томе у земљишту као вишак (В) влаге остаје 76 mm, а појављује се и мањак (М) влаге од 147 mm. У табели 3 и климадијаграму се види да је вишак влаге у прва 4 месеца у години, и то од јануара до априла, када биљном свету није неопходна влага, јер је то период мировања вегетације. Напротив, мањак влаге се појављује у VI, VII, VIII и IX месецу, тј. у вегетационом периоду. Све ово указује на то да биљке у току целе године немају довољну количину влаге у земљишту за нормалан развој.

КЛИМАТСКИ ИНДЕКС (I_M) ПО THORNTHWEITE-У

Просечна годишња вредност општег климатског индекса, израчуната за низ од 13 година на истраживаном подручју-Бела Срква, налази се у границама од -2,13 до 35,07, тј. креће се од аридне (Е) до благо хумидне (В₁). Просечна вредност општег климатског индекса израчуната на основу средњих месечних и годишњих вредности падавина и температуре износи -1,59 што значи да је клима субхумидна сувља (C₁).

Графички приказ вредности климатског индекса (I_m) по годинама у истраживаном раздобљу указује на периодично смењивање сувих и влажних периода са одређеним, већим осцилацијама (графикон 1). Поред тога у табели бр. 4 дати су подаци по годинама за истраживачки период, о индексу хумидности (I_h), индексу аридности (I_a) и климатском индексу (I_m) као и о типу климе према класификацији Thornthweite-а. Ови подаци су значајни за упоредну анализу њиховог утицаја, пре свега на ток текућег дебљинског прираста, код ових врста дрвећа.



Графикон 1. Климатски индекс (I_m) по годинама

Закључак о клими

Макроклима истраживаног подручја припада типу субхумидне сувље (C_1), тј. типу умерено-континенталном подручју које чини прелаз од јужног типа ка средњеевропском, пошто испољава највише услове субхумидне сувље до влажније (C_1 до C_2), са једном годином благо хумидне (B_1), преко семиаридне (D) до аридне (E).

Табела 4. Климатски индекс по Thornthweite-у

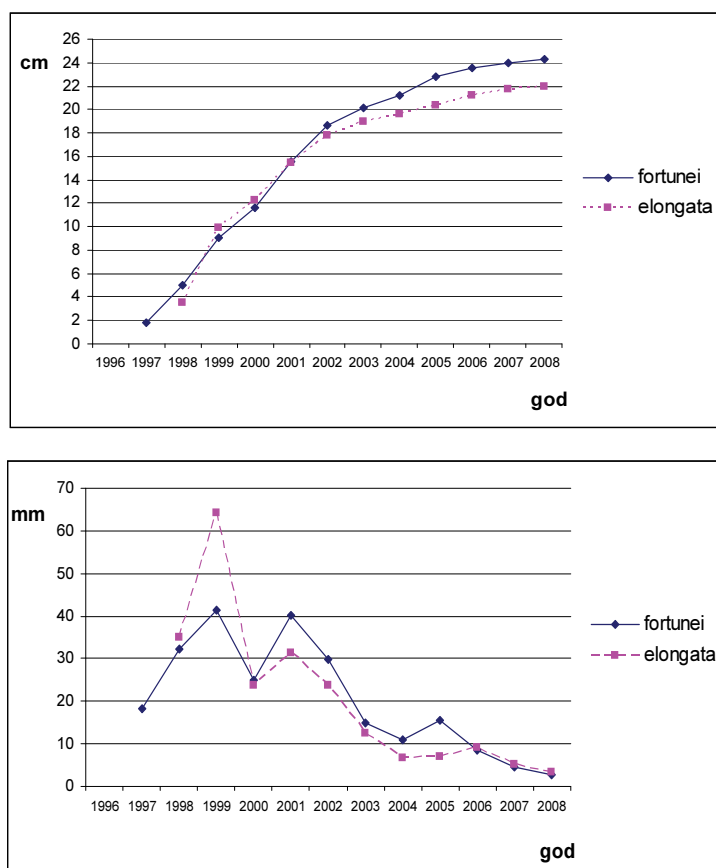
година	I_h	I_a	I_m	климатски тип
1996.	15,5645	30,7513	-2,8863	СУВХУМИДНА СУВЉА – (C_1)
1997.	15,0814	8,21699	10,1512	СУВХУМИДНА ВЛАЖНИЈА – (C_2)
1998.	-6,3658	25,7982	-21,845	СЕМИАРИДНА – (D)
1999.	19,7612	12,3849	12,3302	СУВХУМИДНА ВЛАЖНИЈА – (C_2)
2000.	-6,0613	60,1159	-42,131	АРИДНА
2001.	23,7784	12,8868	16,0464	СУВХУМИДНА ВЛАЖНИЈА – (C_2)
2002.	-12,881	19,9303	-24,839	СЕМИАРИДНА – (D)
2003.	6,58342	42,4361	-18,878	СУВХУМИДНА СУВЉА – (C_1)
2004.	15,6295	39,8121	-8,2578	СУВХУМИДНА СУВЉА – (C_1)
2005.	35,0662	0	35,0662	ХУМИДНА ВЛАГА (B_1)
2006.	20,5419	11,5252	13,6268	СУВХУМИДНА ВЛАЖНИЈА – (C_2)
2007.	27,2224	37,1248	4,94755	СУВХУМИДНА ВЛАЖНИЈА – (C_2)
2008.	7,37078	30,6991	-11,049	СУВХУМИДНА СУВЉА – (C_1)
просек	10,2959	19,8155	-1,5934	СУВХУМИДНА СУВЉА – (C_1)

Поред тако већих одступања и осцилације климе проучаваног подручја, испољава се извесна правилност. Међутим, с обзиром на ипак кратак период осматрања, не може се донети чвршћи закључак о смењивању влажних периода са сувим и обрнуто, мада се то донекле запажа.

На крају се може констатовати, с обзиром на конфигурацију и рељеф терена на којем је подигнута плантажа пауловнија, а без обзира на надморску висину, да се микроклима истраживаног подручја осетно разликује, не само од удаљених места већ и од ближих околних предела са другачијим биљним покривачем. Све то треба имати у виду када се ради о микроклими истраживаних састојина које својим склопом, вертикалном и хоризонталном изграђеношћу утичу на макроклиму мењајући је у циљу стварања повољних услова за развој стабала у конкретној састојини.

3.3 Дебљински прираст

Основни подаци о развоју пречника и текућег дебљинског прираста за анализирана стабла (просечне вредности за по три стабла) дати су на графикаону 2.



Графикон 2. Развој пречника и текући дебљински прираст

Анализом добијених података може се констатовати да је пораст пречника велики у почетном периоду до шесте године старости ових врста. После тога нагло опада на релативно ниске вредности. Интересантно је да је у почетном периоду врста *Paulownia elongata* имала нешто већи пораст пречника од врсте *Paulownia fortunei*. У периоду од четврте до шесте године почиње да заостаје у порасту да би од седме до једанаесте године задржала исти ток развоја са врстом *Paulownia fortunei* и мањим пречником за око 2 cm или око 10%.

Прва кулминација текућег дебљинског прираста код врсте *Paulownia fortunei* наступа у трећој, затим друга у четвртој, а трећа у деветој години. Код врсте *Paulownia elongata* запажа се сличан ток текућег дебљинског прираста: прва кулминација је у другој, друга у четвртој а трећа у деветој години старости. Наступање прве и друге кулминације текућег дебљинског прираста код обе врсте је у истој календарској години, а у различитој старости стабала, што је последица различитих климатских прилика у том временском периоду (1999-2001.год). Трећа кулминација наступа у истој старости као последица биолошког својства врсте, а у различитим календарским годинама, јер су климатске прилике биле приближно исте у том периоду (2005-2006.год).

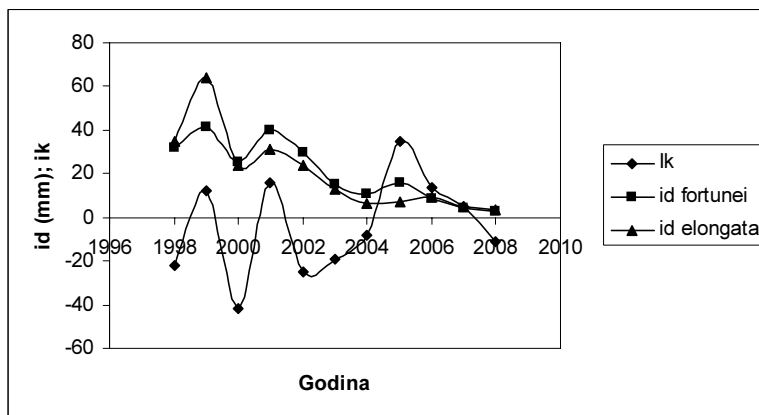
На основу детаљне анализе развоја пречника и текућег дебљинског прираста може се констатовати да до наглог опадања овог прираста у 2000. години долази због изузетно неповољних климатских прилика у тој години (мала количина падавина).

На основу добијених података може се закључити да прва кулминација текућег дебљинског прираста наступа врло рано и то у другој, односно трећој години старости стабала, а друга у четвртој односно петој, а трећа са знатно нижим вредностима у деветој години старости стабала. Међутим, може се закључити да 2000. година није била тако неповољна са малом количином падавина, да би прва и друга кулминација текућег дебљинског прираста била изражена у једној која би наступила од друге до пете године, а друга би била у деветој години. Све ово указује на то да су ово једне од најбрже растућих врста унетих на ове просторе и да су на њихов развој имале велики утицај климатске прилике. На основу тога, ако се предлаже гајење у плантажама ових врста, не треба ићи са дужом опходњом од 10 година.

3.4 Утицај климатских чинилаца на дебљински прираст

Утицај климатских чинилаца на ток дебљинског прираста, пре свега падавина и климатског индекса по Thornthweite-у, дат је на графикону 3 а, б и ц.

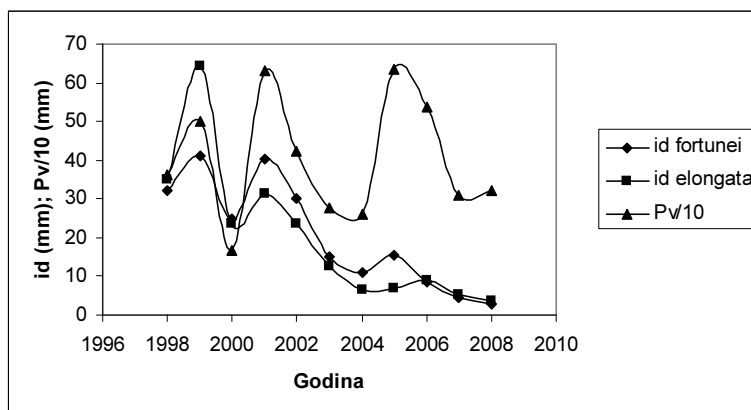
Подударност тренда дебљинског прираста и климатског индекса, као и падавина још је јасније изражено када се упореде ти подаци у вегетационом периоду. Прва и друга кулминација текућег дебљинског прираста која наступа врло рано код обе врсте пауловнија у истој календарској години (1999. и 2001. год) може се објаснити великом количином падавина. Нагли пад текућег дебљинског прираста у 2000. години као последица сушне године, јасно се одразило код обе врсте, без обзира на различиту старост. Трећа, слабо изражена кулминација текућег дебљинског прираста је код обе врсте наступила у 9. години као последица старости ових плантажа, односно биолошког својства ових врста дрвећа .



Графикон 3а. Подударност тренда дебљинског прираста и индекса климе



Графикон 3б. Подударност тренда дебљинског прираста и годишњих падавина



Графикон 3ц. Подударност тренда дебљинског прираста и падавина у вегетационом периоду

На основу изложених података може се јасно закључити да код кулминације текућег дебљинског прираста постоји велики утицај и подударност између количине падавина, климатског индекса и вредности текућег дебљинског прираста.

Статистичком обрадом података показало се да постоји статистички значајан тренд између текућег дебљинског прираста и проучаваних климатских чинилаца код обе анализиране врсте.

4. ЗАКЉУЧЦИ

Истраживања у оквиру овог рада извршена су у плантажи врста *Paulownia fortunei* Seem. Hemsl. и *Paulownia elongata* S. Y. Ни проучавањем климатских прилика и анализе развоја пречника и текућег дебљинског прираста стабала.

Проучавана плантажа пауловније налази се на подручју Беле Сркве-Србија, на надморској висини од 90 м на равном терену. Плантажа је подигнута 1996, односно 1997. године. Приликом истраживања 2008. године, старост стабала врсте *Paulownia fortunei* је 12, а врсте *Paulownia elongata* 11 година. На основу добијених резултата дошло се до следећих закључака:

- годишња количина падавина осцилирала је од 316 mm (2000. год) до 964 mm (2005. год.), што је имало великог утицаја на развој стабала и састојине. Проучавани климатски подаци у периоду развоја плантаже показали су да клима припада субхумидној сувљој (C_1) у истраживаном периоду (1996-2008. год), а варијала је од аридне E (2000. год) до хумидне (B_1) 2005. године.
- прва кулминација текућег дебљинског прираста код обе врсте наступа врло рано: у другој, односно трећој години старости, а друга кулминација у четвртој односно петој години старости док трећа кулминација код обе врсте наступа у деветој години старости. Разлог појаве прве и друге кулминације текућег дебљинског прираста у истим календарским годинама последица је екстремно сушне, 2000. године која је довела до великог смањења текућег дебљинског прираста. Да су биле приближно исте климатске прилике у том периоду, прва кулминација текућег дебљинског прираста би наступила између треће и пете, а друга око девете године.
- проучавања су јасно показала да постоји подударност између тренда текућег дебљинског прираста и количине падавина и климатског индекса.

На основу свега изложеног се може констатовати да са овим брзорастућим врстама дрвећа на истраживаним подручјима не треба газдовати са дужом опходњом од 10 година.

ЛИТЕРАТУРА

- Н и, S h i u – Y i n g (1959): A monograph of the genus *Paulownia*. Quarterly Journal of the Taiwan Museum 7 (1,2): 1-54.
- Ј о в а н о в и ћ, В., С т о ј а н о в и ћ, Љ. (1982): Развој култура неких врста четинара на екстремном станишту букве (*Muscus-fagetum*) у источној Србији. Шумарство 1. УШИТС. Београд, стр. 3-11.
- К о п р и в и ц а, М., М а т о в и ћ, В. (2004): Утицај климатских фактора и прореда на дебљински прираст црног бора у Ибарској клисури. Зборник радова Института за шумарство. Collection 50-51, Београд, стр. 22-31.
- В у ч к о в и ћ, М., С т а ј и ћ, В. (2003): Утицај промена климе на раст и виталност шума. Заштита животне средине градова и приградских насеља. Нови Сад, стр. 227-232.
- В у к и н, М., И с а ј е в, В. (2004): Истраживање утицаја одређених климатских чинилаца на висински прираст црног бора у семенској плантажи на Јеловој гори. Гласник Шумарског факултета бр. 90. Београд, стр. 91-106.
- Ч о к е ш а, В., К о п р и в и ц а, М., М а р к о в и ћ, Н., С т а ј и ћ, С. (2005): Резултати плантажног узгоја пауловније у Белој Цркви. Зборник радова VII, специјални резерват природе Делиблатска пешчара, стр. 421-429.