

Assessing the effect of a coating system on the rate of plywood moistening and changes in dimensions in relation to the change in relative air humidity

P. KRÁL, J. HRÁZSKÝ

Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno, Czech Republic

ABSTRACT: The paper summarizes results of an institutional research aimed at the evaluation of the effect of a coating system on the rate of plywood moistening and changes in dimensions in relation to changes in relative air humidity. Coefficients of dimensional changes were determined in relation to relative air humidity and effects were studied of the coating system on the rate of plywood moistening. All measurements were carried out in water-resistant combined plywood with surface coating and thickness of 8, 10, 12, 15 and 18 mm and in all-beech plywood 10, 12, 15 and 18 mm in thickness. Based on the results obtained it is possible to state that bending strength and modulus of elasticity are decisively affected by the construction of a sheet. Therefore, it is suitable to select the sheet structure according to requirements of a customer. It is known that surface layers transfer the greatest stress and that the stress of layers decreases towards the axis of symmetry. The fact can be used in designing the sheet structure, e.g. using veneers manufactured from cheaper species for central layers. Thus, the price and even density of plywood can be substantially reduced maintaining the required strength. By means of coats it is possible to reduce substantially penetration of moisture across the plywood edge. Comparisons between polyurethane coat U 2070 and acrylate coat AQUACOL V 2080 are demonstrated in a figure. Changes in the length and width of combined plywood and all-beech plywood amount to on average 0.020–0.025% per 1% change in moisture. Under upper values of the moisture range the changes are generally substantially lower. In practice, a suitable clearance for changes in the length and width of plywood amounts to 2 mm/m. Changes in thickness reach on average 0.4–0.5% per 1% changes in the moisture content.

Keywords: plywood; moisture; hygroscopicity; polyurethane coat; acrylate coat; dimensional changes

Due to the effect of external forces, changes occur in dimensions, volume or shift of dimensions and thus also partial changes in the body shape. The changes are termed deformations.

Wood or more precisely the basis of its cell walls represents the complex of natural polymers having long, branched and chained molecules. The structure of polymers determines the character of their behaviour in consequence of loading. Under the effect of external forces on the polymers following three types of deformations can occur:

- (1) immediate elastic deformation (ε_p) – caused by reversible changes in average spacing between chained molecules of polymers (it occurs immediately at the action of a force and after its release it disappears immediately);
 - (2) elastic deformation developing in time (ε_t) – sometimes termed as elastic deformation related to the reversible rearrangement of parts of chained molecules (it gradually increases with time and disappears after a certain time after release);
 - (3) plastic deformation – viscously flowing (ε_p) – caused by mixing the chained molecules – remains even after removing the force (also termed residual deformation or permanent deformation).
- Under the term hygroscopicity of wood and wood-based materials we understand capacity of the materials to absorb water from the ambient air in the form of a water vapour in relation to the moisture of a material, temperature and relative humidity of the ambient air.
- A condition when wood moisture corresponds to the temperature and humidity of ambient air is termed the condition of moisture balance. Fig. 1 shows the average moisture of birch plywood.
- Pine wood moistening in relation to time is depicted in Fig. 2.
- Plywoods similarly as massive wood respond to changes in moisture by changes in dimensions. However, with respect to crosswise gluing of particular layers changes of dimensions in the sheet plane are substantially reduced. Changes in dimensions of wood products occur in the moisture range of 0–30% or at wood moisture under the

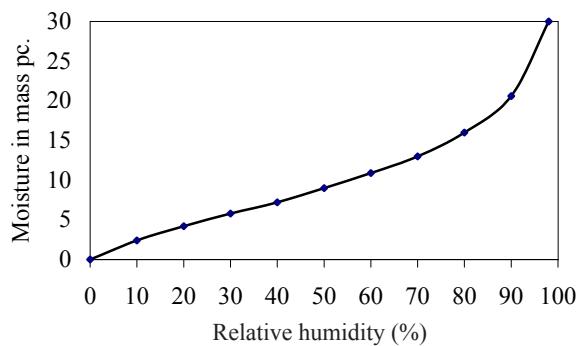


Fig. 1. Average moisture of birch plywood

Table 1. The percentage of dimensional changes per 1% moisture change of Finnforest plywood

	Swelling length/width	Swelling in thickness
Moisture range (%)	7–18	18–27
Birch plywood	0.017	0.005
Combined plywood	0.015	0.005
Spruce plywood	0.010	0.004

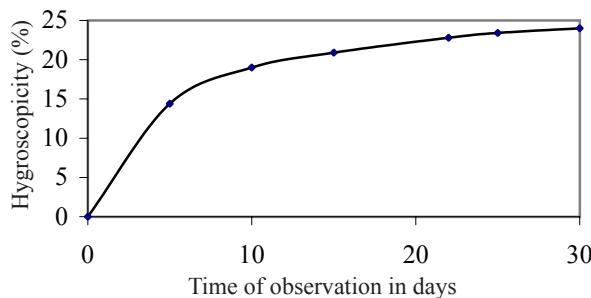


Fig. 2. The curve of pine wood moistening (PERELYGIN 1965)

fibre-saturation point. At the higher moisture content marked changes do not already occur.

Table 1 depicts coefficients of dimensional changes for spruce, birch and combined Finnforest plywood.

MATERIAL AND METHODS

Tests were carried out on foil-sheeted water-resistant plywood boards with antislip treatment of two types of construction. Constructions of combined plywood sheets

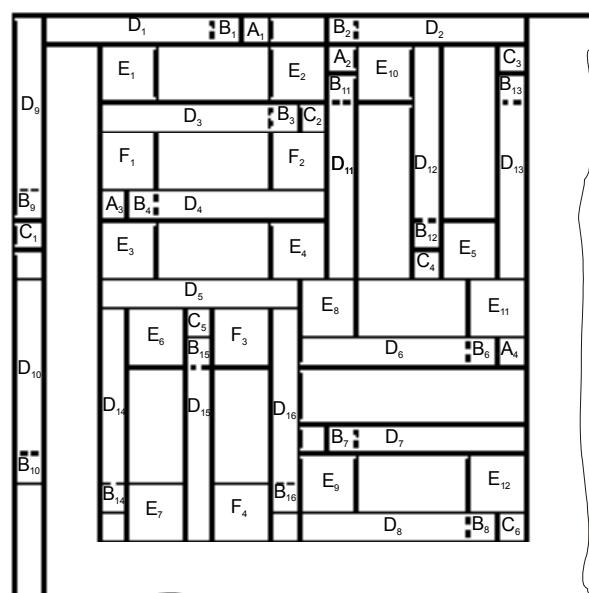


Fig. 3. The plan of cutting for 15 mm plywood

are given in Table 2 and those of all-beech sheets in Table 3.

In both types of the construction of plywood sheets manufacturers give the weight of a surface foil 167 g/m², gluing class 3 according to ČSN EN 314-2 standard, i.e. corresponding to AW 100 tests and the class of formaldehyde emission A according to ČSN EN 1084 standard.

According to EN 326-1 and EN 325 standards plans of cutting were prepared. An example of the plan of cutting for plywood of 15 mm in thickness is depicted in Fig. 3. The number of samples used for the tests is given in Table 4.

A test to determine the rate of hygroscopicity in relation to the coating system was based on the ČSN 49 0181 standard Plywoods – Methods of determining linear dimensions in relation to relative air humidity.

Samples of 100 × 100 mm were dried at 103°C, marked and divided into three groups. Samples of the first group were weighed and values recorded. Edges of samples from the second and third groups were treated by AQUACOL V2080 acrylate coat and U 2070 polyurethane two-component coat by means of an air brush. After distributing the coats samples were placed into a drying kiln at a temperature of 40°C for 60 hours. After setting the coats the

Table 2. Construction of water-resistant combined plywoods

Sheet thickness	Number of layers	Construction
8	5	1.5 – 2.6 – 1.5 – 2.6 – 1.5
10	7	1.5 – 1.8 – 1.5 – 1.8 – 1.5 – 1.8 – 1.5
12	7	1.5 – 2.6 – 1.5 – 2.6 – 1.5 – 2.6 – 1.5
15	7	1.5 – 3.5 – 1.5 – 3.5 – 1.5 – 3.5 – 1.5
18	9	1.5 – 3.5 – 1.5 – 3.5 – 1.5 – 3.5 – 1.5 – 3.5 – 1.5

Veneer thickness 1.5 mm – beech and other veneer thickness – conifers

Table 3. Construction of water-resistant all-beech plywoods

Sheet thickness	Number of layers	Veneer thickness of all layers (mm)
10	7	1.5
12	9	1.5
15	11	1.5
18	13	1.5

samples were weighed, values recorded and the samples placed into a climatic chamber at a relative air humidity 97% and temperature 20°C. Weighing the samples was carried out after 24 hours and further measurements were carried out with a frequency of 7 days starting the moment of placing the samples into the chamber.

Calculation of coefficients of moisture intake across edges and surface of a sheet according to formulae:

$$k_1 = \frac{A - S_{2A} \cdot k_2}{S_{1A}}$$

where: k_1 – coefficient of water uptake across the sheet edge,

k_2 – coefficient of water uptake across the surface,

A – water uptake (g).

$$k_2 = \frac{B \cdot S_{1A} - A \cdot S_{1B}}{S_{2B} \cdot S_{1A} - S_{2A} \cdot S_{1B}}$$

where: S_{1A} and S_{1B} – area of the body edge (m^2),
 S_{2A} and S_{2B} – area of the body (m^2),
 B – water uptake (g).

A test to determine dimensional changes in relation to relative air humidity was based on the ČSN 49 0181 standard Plywoods – A method to determine linear dimensions in relation to relative air humidity.

Samples were dried at 103°C and then air-conditioned at a relative air humidity of 80 and 95% and temperature 20°C.

Results of measurements were statistically processed. Normality of sets was verified by means of the Shapiro-Wilkov's test.

For the evaluation of measured data statistical quantities such as mean value, standard deviation and coefficient of variation were used in the first stage.

The objective of the paper was to assess the effect of the coating systems on the rate of plywood moistening and changes in dimensions in relation to changes in relative air humidity.

Table 4. The number of samples from one sheet for particular tests

Sample name	Type of the test	Number of samples
A	Moisture	combined 4/beech 8
B	Density	16
C	Density profile	6
D	Modulus of elasticity and bending strength	8
E	Hygroscopicity	12
F	Difference in dimensions	4

Table 5. Water uptake (g) in relation to time and the coating system used in combined plywoods

Type of a coating system	Thickness	Time (days)					
		1	7	14	21	28	35
Polyurethane	8	0.46	3.19	5.62	8.01	9.06	9.90
	10	0.52	3.64	6.51	9.28	10.89	12.61
	12	0.69	4.83	8.38	10.92	12.37	13.90
	15	0.53	3.64	6.85	10.05	12.20	14.08
Acrylate	18	1.00	7.02	12.05	16.05	18.14	20.18
	8	0.82	5.75	7.91	9.63	9.92	10.66
	10	0.84	5.88	8.57	11.50	12.76	13.26
	12	1.15	8.05	11.05	13.50	14.55	15.28
	15	1.45	10.00	13.34	15.68	16.60	17.68
Coatless	18	1.90	13.31	16.83	19.58	20.42	21.28
	8	1.20	8.41	9.94	10.62	11.36	12.05
	10	1.50	10.41	12.24	13.13	14.23	15.40
	12	1.62	11.35	13.29	14.27	15.01	15.76
	15	1.91	13.17	15.55	16.79	18.14	19.11
	18	2.39	16.73	19.16	21.07	22.67	23.28

RESULTS AND DISCUSSION

Average results of water uptake (in g) in relation to time and the coating system are given in Table 5 for combined plywoods and in Table 6 for all-beech plywoods.

To illustrate the situation, we compiled (from tables of water uptake) diagrams Figs. 4, 5 and 6 for combined plywoods and Figs. 7, 8 and 9 for all-beech plywoods.

Figs. 10–15 show the rate of increasing the moisture content of plywoods in relation to time. To prepare dia-

grams the average moisture of plywoods was calculated according to the following formula:

$$H = \frac{m_H - m_0}{m_0} \cdot 100$$

where: m_H – weight of a moist tested body (g),

m_0 – weight of a dry tested body (g).

Fig. 16 demonstrates comparisons of a change in mean values of the moisture content for all thickness in

Table 6. Water uptake (g) in relation to time and the coating system used in all-beech plywoods

Type of the coating system	Thickness	Time (days)				
		1	7	14	21	28
Polyurethane	10	0.27	1.88	4.01	6.36	8.29
	12	0.55	3.84	7.10	10.30	12.50
	15	0.56	3.88	7.80	11.61	14.20
Acrylate	18	0.46	3.23	6.36	9.61	12.54
	10	0.96	6.68	10.29	12.69	13.74
	12	1.27	8.89	12.63	15.21	16.91
Coatless	15	1.57	10.86	15.62	18.59	20.32
	18	1.77	12.36	17.79	21.72	23.33
	10	1.42	9.87	12.39	13.59	15.13
Coatless	12	1.71	11.92	14.54	15.78	17.26
	15	2.16	14.90	18.61	20.39	22.60
	18	2.42	16.93	20.63	23.18	25.68

Table 7. Single-factor analysis of variance carried out after 1 day

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	5.0458	0.5606	0.0402
Acrylate	9	11.7468	1.3052	0.1566
Coatless	9	16.3305	1.8145	0.1889

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	7.15768	2	3.5788	27.8411	5.6E-07	3.4028
All selections	3.085088	24	0.1285			
Total	10.24277	26				

Table 8. Single-factor analysis of variance carried out after 7 days

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	35.1400	3.9044	1.9721
Acrylate	9	81.7675	9.0853	7.6018
Coatless	9	113.6725	12.6303	9.1577

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	346.6447	2	173.3223	27.7587	5.7E-07	3.4028
All selections	149.8536	24	6.2439			
Total	496.4983	26				

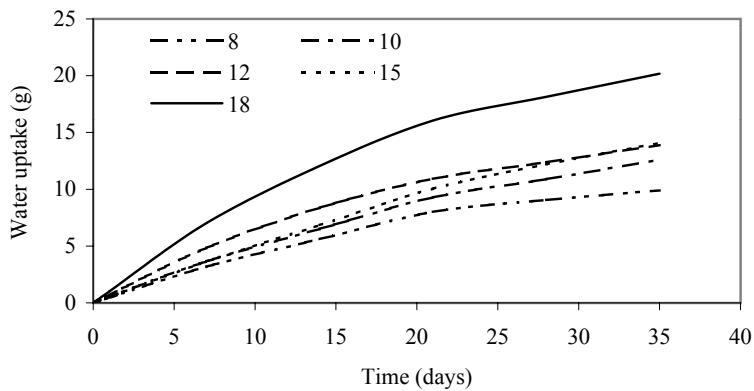


Fig. 4. The dependence of water uptake on time in using the polyurethane coating system in combined plywoods

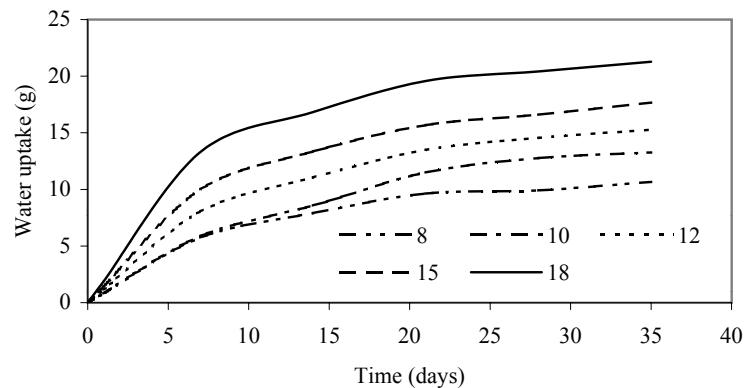


Fig. 5. The dependence of water uptake on time in using the acrylate coating system in combined plywoods

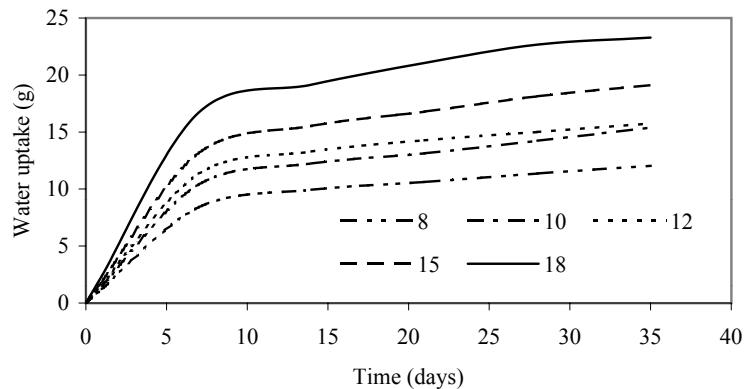


Fig. 6. The dependence of water uptake on time in case of no coat in combined plywoods

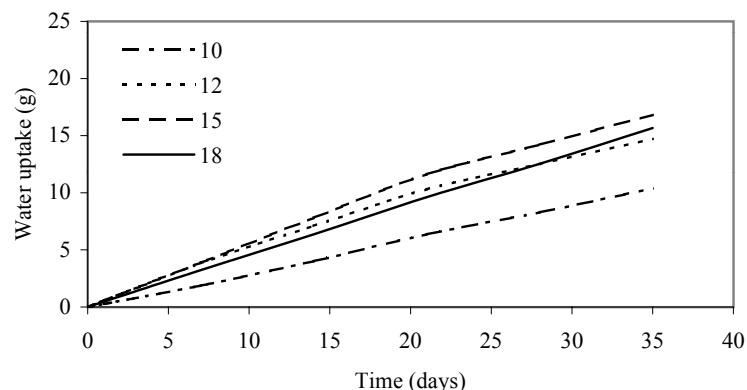


Fig. 7. The dependence of water uptake on time in using the polyurethane coating system in all-beech plywoods

relation to time for combined plywoods and all-beech plywoods.

To assess the effect of a coating system we used a single-factor analysis of variance to verify the normality of sets. Tests were carried out for particular values of water uptake obtained by measurements according to intervals mentioned above.

Results of the single-factor analysis of variance (Tables 7–12) show that there are significant differences between particular measurements from the 1st to the 35th day (in tables given in italics).

Through the subsequent analysis of a multiple comparison according to the Tukey's test (for the purpose of comparisons we give also a test according to

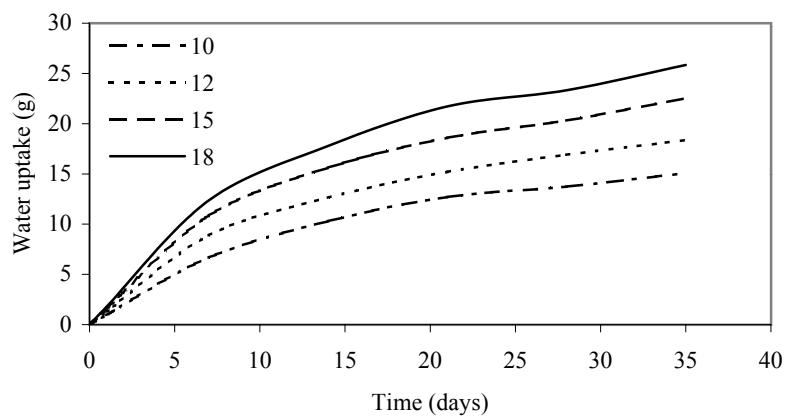


Fig. 8. The dependence of water uptake on time in using the acrylate coating system in all-beech plywoods

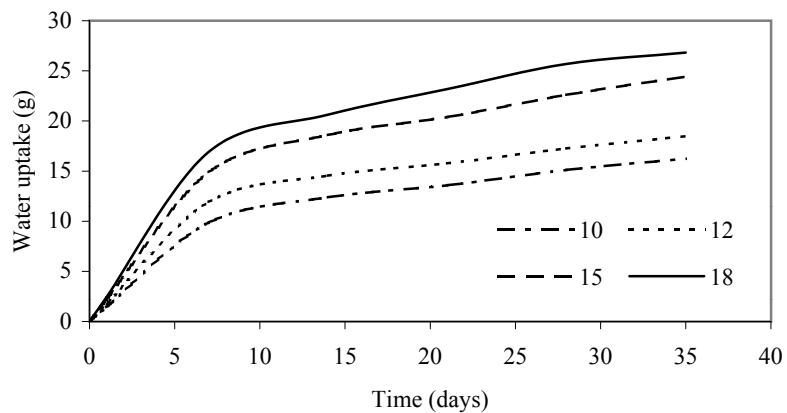


Fig. 9. The dependence of water uptake on time in case of using no coating system in all-beech systems and all-beech plywoods

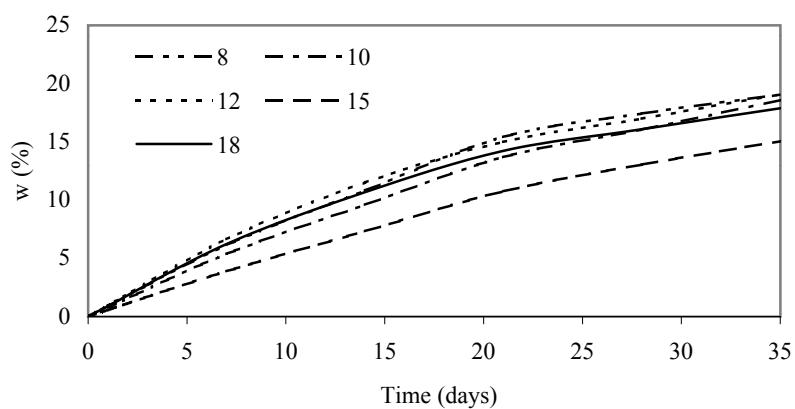


Fig. 10. Changes in the moisture content in relation to time in using the polyurethane coating system in combined plywoods

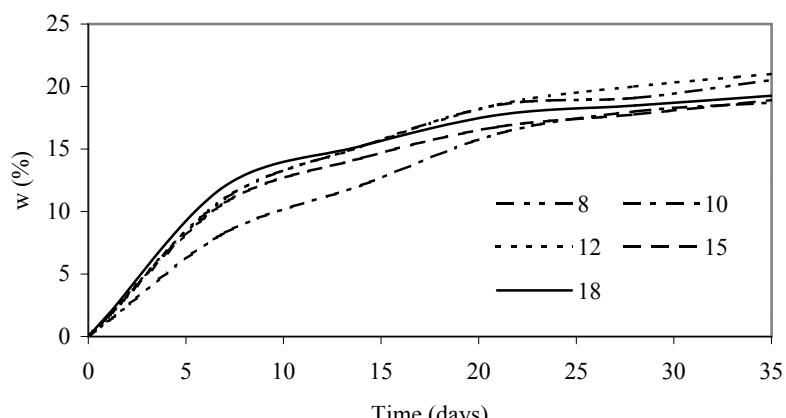


Fig. 11. Changes in the moisture content in relation to time in using the acrylate coating system in combined plywoods

Bonferroni) we verified differences between particular groups. Results show that there was a significant difference between polyurethane and acrylate coating

systems up to the 28th day. Starting about the 35th day a balance occurred in the moisture content in all samples.

Table 9. Single-factor analysis of variance carried out after 14 days

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	64.6700	7.1856	4.9092
Acrylate	9	114.0225	12.6692	12.5522
Coatless	9	136.3425	15.1492	13.1660

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	298.9185	2	149.4592	14.6397	7E-05	3.4028
All selections	245.0196	24	10.2091			
Total	543.938	26				

Table 10. Single-factor analysis of variance carried out after 21 days

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	92.1890	10.2432	7.1923
Acrylate	9	138.0860	15.3429	15.8880
Coatless	9	148.8060	16.5340	17.5738

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	200.9977	2	100.4988	7.4161	0.00311	3.4028
All selections	325.2326	24	13.5514			
Total	526.2303	26				

Table 11. Single-factor analysis carried out after 28 days

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	110.1835	12.2426	8.2948
Acrylate	9	148.5399	16.5044	18.1714
Coatless	9	162.0775	18.0086	22.2588

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	161.0173	2	80.5086	4.9569	0.01578	3.4028
All selections	389.7999	24	16.2417			
Total	550.8172	26				

Table 12a. Single-factor analysis of variance carried out after 28 days

Selection	Number	Σ	\bar{x}	S
Polyurethane	9	128.2663	14.2518	10.0863
Acrylate	9	159.9633	17.7737	23.1011
Coatless	9	171.5705	19.0634	23.5878

Source of variability	SS	Difference	MS	F	P	F crit
Between selections	111.6550	2	55.8275	2.9499	0.07153	3.4028
All selections	454.2015	24	18.9251			
Total	565.8565	26				

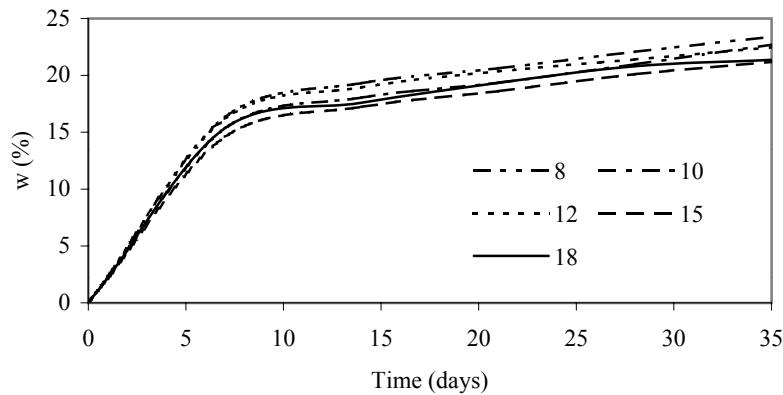


Fig. 12. Changes in the moisture content in relation to time in case of using no coating system in combined plywoods

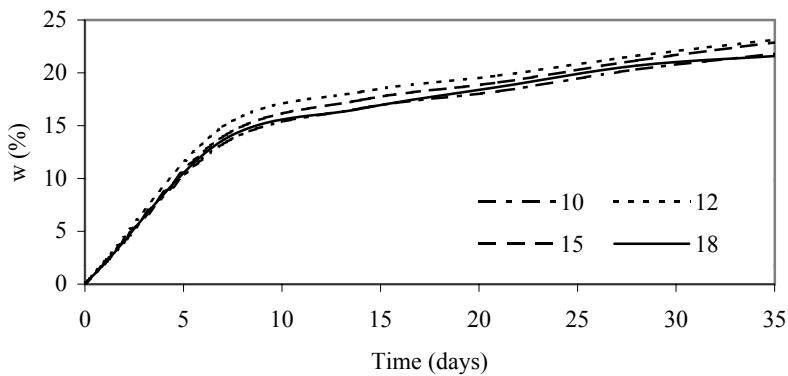


Fig. 13. Changes in the moisture content in relation to time in using the polyurethane coating system in all-beech plywoods

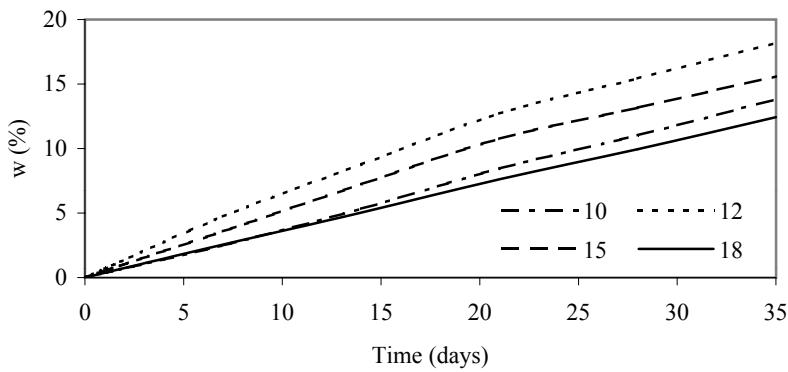


Fig. 14. Changes in the moisture content in relation to time in using the acrylate coating system in all-beech plywoods

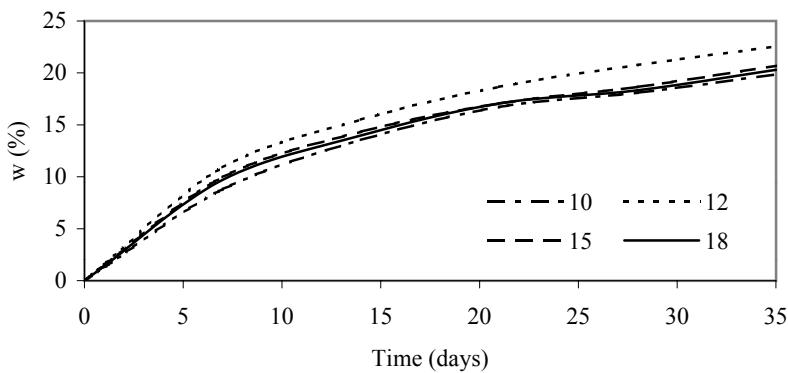


Fig. 15. Changes in the moisture content in relation to time in case of using no coating system in all-beech plywoods

In the course of the test, alligatoring occurred in the acrylate coat at the moisture content difference amounting to 15%, however, in the polyurethane coat system, small alligatoring occurred at a difference in the moisture content amounting to 20%, viz. in combined plywoods only.

The results show that it would be suitable to use the polyurethane coat system for example:

- where sheets are exposed to abrupt changes in the moisture content. The polyurethane coat system can prevent sudden changes in the moisture content and thus increase the plywood service life;
- where increase in the moisture content of the edge surface layer could occur during transport in the environment with high relative air humidity and thus it could

result in swelling. The change in dimensions can cause problems to a customer during assembly.

Furthermore, we have to take into consideration that the polyurethane coat system protects the plywood edge far better than the acrylate coat system, however, after about 30–40 days differences between the two coat systems are balanced. Therefore, where the sheet is exposed to the environment with balanced relative air humidity it is more suitable to use the cheaper acrylate coat system.

It is also necessary to take into account that coat systems protect the plywood edge only against abrupt changes in the moisture content. In case of an extended exposure of

a plywood to the environment moisture the moisture content of a plywood also increases. Therefore, in the environment where a plywood would show moisture over 20% it would be suitable to use impregnation.

Coefficients of moisture absorption across the sheet edge and surface under air conditioning in the environment with a relative air humidity of 95% were determined from water uptake and the size of area of samples.

By means of the coefficients it is possible to determine e.g. water uptake across the sheet edge and surface, to calculate changes in the sheet moisture content in case of storage in the given environment etc.

Table 12b. Tests according to Tukey and Bonferroni for measurements carried out after 1 day

Cell. No.	Variable water uptake (g) (1 day)		
	Probabilities for Post Hoc Test		
	Error: between MS = 0.12855, df = 24.00		
Coat system	(1) 0.56065	(2) 1.3052	(3) 1.8145
Tukey HSD test			
1 Polyurethane	0.000645	0.000129	
2 Acrylate	0.000645	0.016061	
3 Coatless	0.000129	0.016061	
Bonferroni test			
1 Polyurethane	0.000565	0.000000	
2 Acrylate	0.000565	0.018036	
3 Coatless	0.000000	0.018036	

Table 14. Tests according to Tukey and Bonferroni for measurements carried out after 14 days

Cell. No.	Variable water uptake (g) (14 days)		
	Probabilities for Post Hoc Test		
	Error: between MS = 10.209, df = 24.00		
Coat system	(1) 7.1856	(2) 12.669	(3) 15.149
Tukey HSD test			
1 Polyurethane	0.001299	0.060020	
2 Acrylate	0.001299	0.112694	
3 Coatless	0.000020	0.112694	
Bonferroni test			
1 Polyurethane	0.003898	0.000060	
2 Acrylate	0.003898	0.338081	
3 Coatless	0.000060	0.338081	

Table 13. Tests according to Tukey and Bonferroni for measurements carried out after 7 days

Cell. No.	Variable water uptake (g) (7 days)		
	Probabilities for Post Hoc Test		
	Error: between MS = 6.2439, df = 24.00		
Coat system	(1) 3.9044	(2) 9.0853	(3) 12.630
Tukey HSD test			
1 Polyurethane	0.000654	0.000129	
2 Acrylate	0.000654	0.016203	
3 Coatless	0.000129	0.016203	
Bonferroni test			
1 Polyurethane	0.000576	0.000000	
2 Acrylate	0.000576	0.018201	
3 Coatless	0.000000	0.018201	

Table 15. Tests according to Tukey and Bonferroni for measurements carried out after 21 days

Cell. No.	Variable water uptake (g) (21 days)		
	Probabilities for Post Hoc Test		
	Error: between MS = 13.551, df = 24.00		
Coat system	(1) 10.243	(2) 15.343	(3) 16.534
Tukey HSD test			
1 Polyurethane	0.019040	0.003825	
2 Acrylate	0.019040	0.773694	
3 Coatless	0.003825	0.773694	
Bonferroni test			
1 Polyurethane	0.021526	0.004052	
2 Acrylate	0.021526	1.000000	
3 Coatless	0.004052	1.000000	

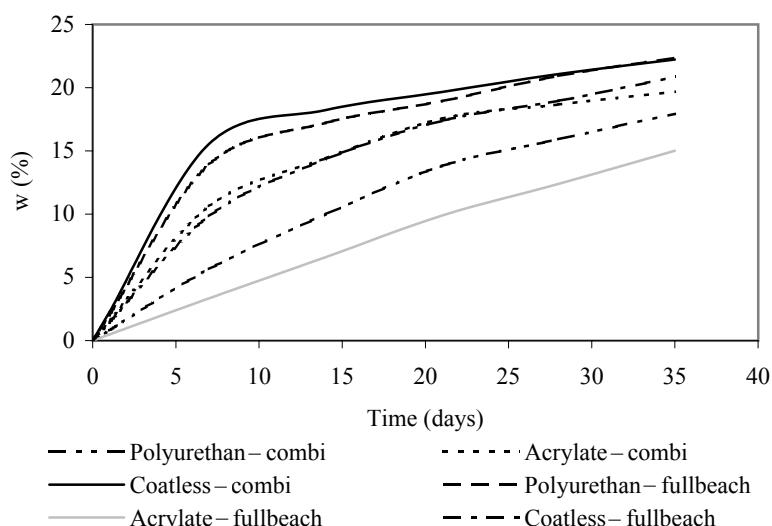


Fig. 16. The dependence of changes in the moisture content on time in combined and all-beech plywoods (mean values for all thickness)

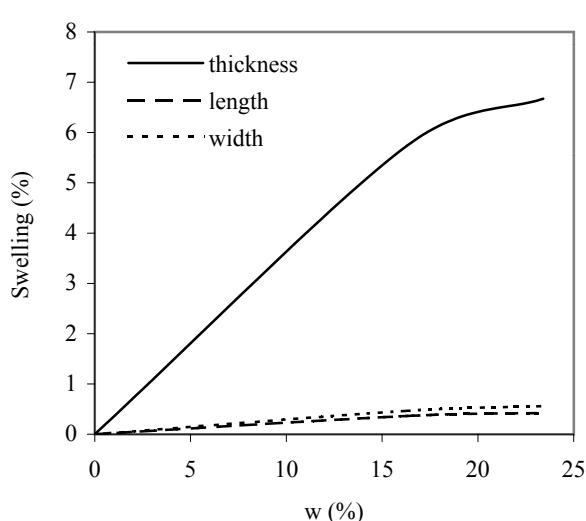


Fig. 17. Combined plywood 8 mm thick

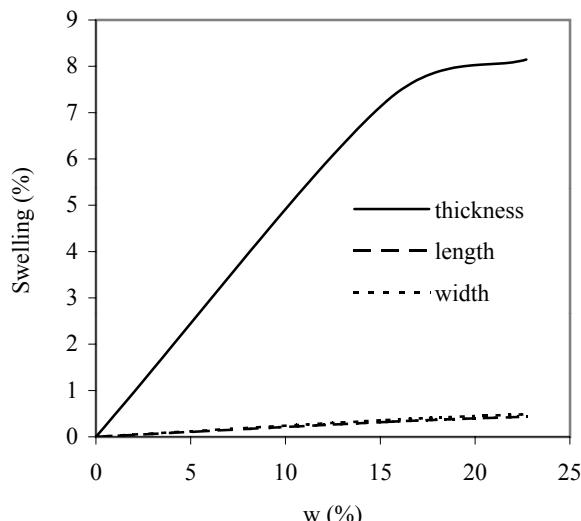


Fig. 18. Combined plywood 10 mm thick

Table 16. Tests according to Tukey and Bonferroni for measurements carried out after 28 days

Cell No.	Variable water uptake (g) (28 days)		
	Probabilities for Post Hoc Test		
	Error: between MS = 16.242, df = 24.00		
Coat system	(1) 12.243	(2) 16.504	(3) 18.009
Tukey HSD test			
1 Polyurethane	0.084165	0.015283	
2 Acrylate	0.084165		0.711650
3 Coatless	0.015283	0.71165	
Bonferroni test			
1 Polyurethane	0.103127	0.017127	
2 Acrylate	0.103127		1.000000
3 Coatless	0.017127	1.000000	

Changes in dimensions in relation to changes in relative air humidity

Changes in dimensions in relation to relative air humidity are evident from diagrams Figs. 17–25 for particular thickness of sheets.

Calculated coefficients of swelling for particular thickness of sheets are given in Tables 17 and 18. To verify the dependence of coefficients of swelling on density, thickness and the number of layers were used correlation analysis (Tables 19–22).

In Table 23, we give mean values, coefficient of variation and standard deviation of the coefficients of swelling for all thickness.

If we compare calculated coefficients of swelling in thickness, length and width we can conclude that, similarly as in massive wood, plywoods show different swelling in thickness, length and width. The coefficient of swelling in thickness is about 0.4%/1% and coefficients for length and width are about 20 times smaller. Small swelling in length

Table 17. Coefficients of swelling for combined plywood

Thickness	Moisture content (%)	Coefficient of swelling		
		thickness	length	width
8	≤ 17	0.3793	0.0197	0.0208
	> 17	0.0567	0.0034	0.0030
10	≤ 17	0.4109	0.0244	0.0278
	> 17	0.0642	0.0037	0.0036
12	≤ 17	0.4530	0.0291	0.0192
	> 17	0.0728	0.0032	0.0028
15	≤ 17	0.3650	0.0268	0.0228
	> 17	0.0824	0.0046	0.0048
18	≤ 17	0.4190	0.0291	0.0200
	> 17	0.0735	0.0072	0.0052

and width is caused by the interaction of particular layers turned by 90°. In one layer it is a case of swelling along fibres where the total swelling ranges about 0.4% and in the second layer, it is swelling in a tangential direction (about 12%). If we take into consideration that these layers are interconnected then a certain stress occurs between them due to changes in the moisture content. If we compare swelling stress in radial direction given by POŽGAI (1997)

Table 19. Correlation analysis of coefficients of swelling for combined plywood up to the moisture content of 17%

Variable	Correlations (kor)		
	Marked correlations are significant at $p < 0.05000$		
	$N = 5$ (Casewise deletion of missing data)		
	K_{th}	K_l	K_w
Thickness	0.0975 $p = 0.876$	0.8006 $p = 0.104$	-0.3106 $p = 0.611$
Layer number	0.4053 $p = 0.498$	0.8459 $p = 0.071$	-0.0858 $p = 0.891$
ρ	-0.3081 $p = 0.614$	-0.4148 $p = 0.487$	-0.9753 $p = 0.005$

Table 21. Correlation analysis of coefficients of swelling for all-beech plywood up to the moisture content of 17%

Variable	Correlations (kor)		
	Marked correlations are significant at $p < 0.05000$		
	$N = 4$ (Casewise deletion of missing data)		
	K_{th}	K_l	K_w
Thickness	-0.2280 $p = 0.771$	-0.1725 $p = 0.828$	-0.4344 $p = 0.566$
Layer number	-0.4682 $p = 0.532$	-0.0464 $p = 0.954$	-0.2139 $p = 0.786$
ρ	0.9638 $p = 0.036$	-0.7199 $p = 0.280$	-0.6605 $p = 0.340$

Table 18. Coefficients of swelling for all-beech plywood

Thickness	Moisture content (%)	Coefficient of swelling		
		thickness	length	width
10	≤ 17	0.5787	0.0216	0.0207
	> 17	0.0406	0.0030	0.0022
12	≤ 17	0.4090	0.0243	0.0248
	> 17	0.0258	0.0028	0.0024
15	≤ 17	0.5022	0.0200	0.0200
	> 17	0.0396	0.0039	0.0036
18	≤ 17	0.4921	0.0224	0.0201
	> 17	0.0367	0.0025	0.0021

for beech 3.34 N/mm² and spruce 1.34 N/mm² with the tensile strength of wood along to grain given by POŽGAI (1997) for beech 161.2 N/mm² and spruce 74.4 N/mm² we can conclude that swelling in length and width is mainly affected by plywood swelling along the grain.

If we come out from the massive wood swelling then the coefficient of swelling in thickness should show a similar value as a coefficient in the radial direction of wood which is given by HORÁČEK (1998) for beech 0.18%/1% and spruce 0.17%/1%. In plywood, however, it reaches

Table 20. Correlation analysis of coefficients of swelling for combined plywood over the moisture content of 17%

Variable	Correlations (kor)		
	Marked correlations are significant at $p < 0.05000$		
	$N = 5$ (Casewise deletion of missing data)		
	K_{th}	K_l	K_w
Thickness	0.7916 $p = 0.111$	0.8684 $p = 0.056$	0.8604 $p = 0.061$
Layer number	0.6069 $p = 0.278$	0.8205 $p = 0.089$	0.7205 $p = 0.170$
ρ	0.3255 $p = 0.593$	-0.1322 $p = 0.832$	0.0572 $p = 0.927$

Table 22. Correlation analysis of coefficients of swelling for all-beech plywood over the moisture content of 17%

Variable	Correlations (kor)		
	Marked correlations are significant at $p < 0.05000$		
	$N = 4$ (Casewise deletion of missing data)		
	K_{th}	K_l	K_w
Thickness	0.1120 $p = 0.888$	-0.0716 $p = 0.928$	0.1285 $p = 0.871$
Layer number	-0.1125 $p = 0.887$	-0.0161 $p = 0.984$	0.2358 $p = 0.764$
ρ	0.8711 $p = 0.129$	0.3814 $p = 0.619$	0.0981 $p = 0.902$

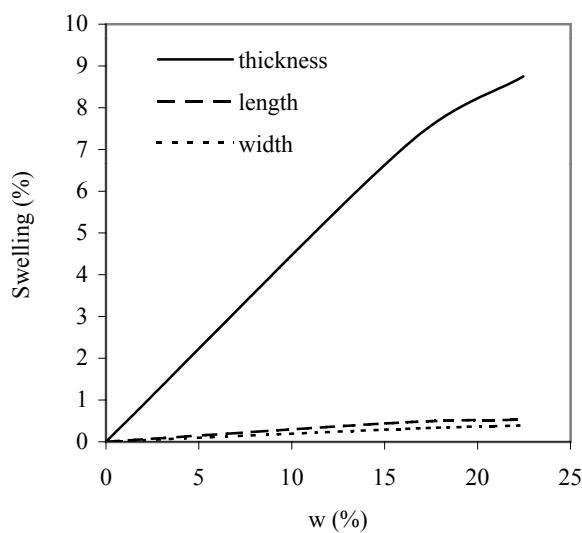


Fig. 19. Combined plywood 12 mm thick

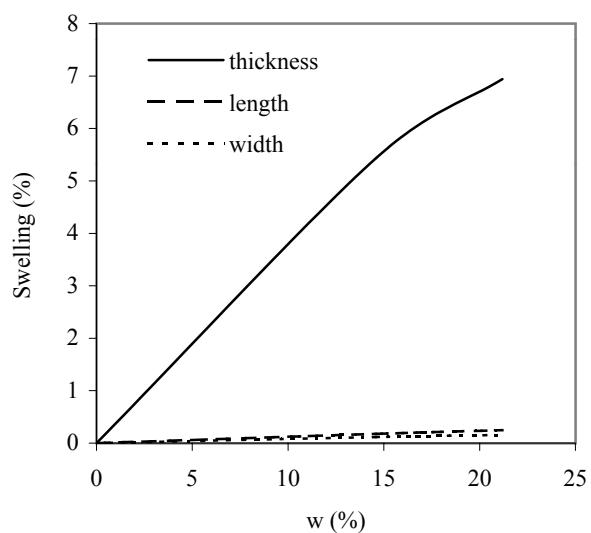


Fig. 20. Combined plywood 15 mm thick

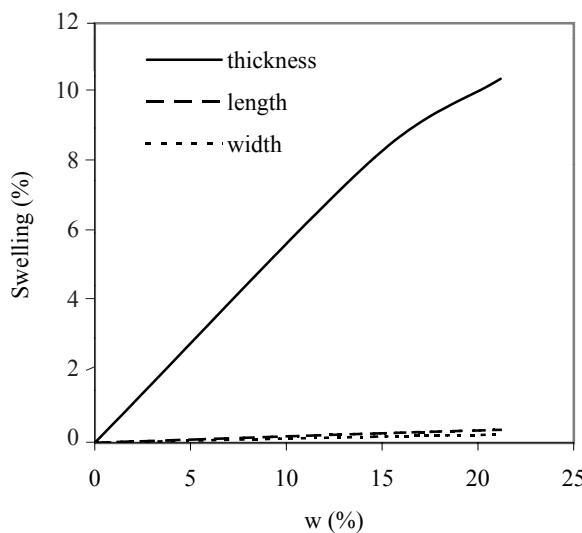


Fig. 21. Combined plywood 18 mm thick

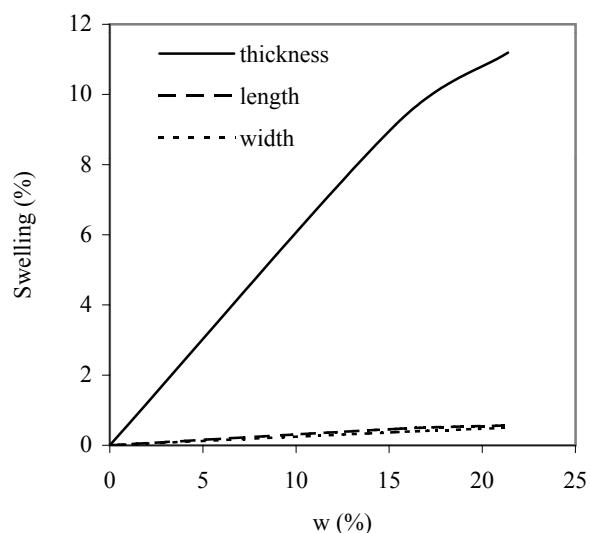


Fig. 22. All-beech plywood 10 mm thick

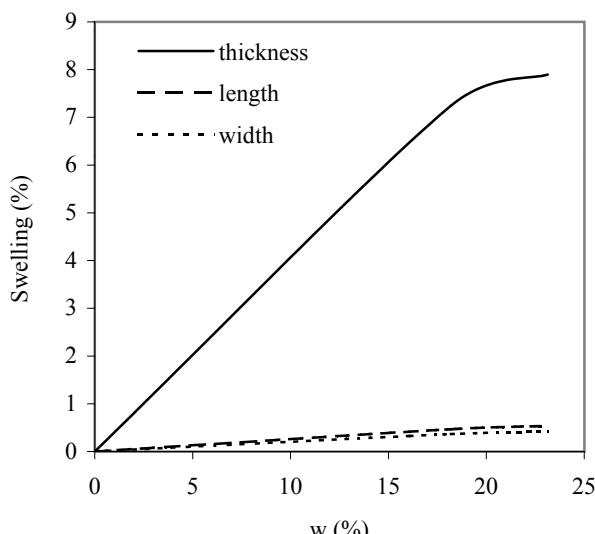


Fig. 23. All-beech plywood 12 mm thick

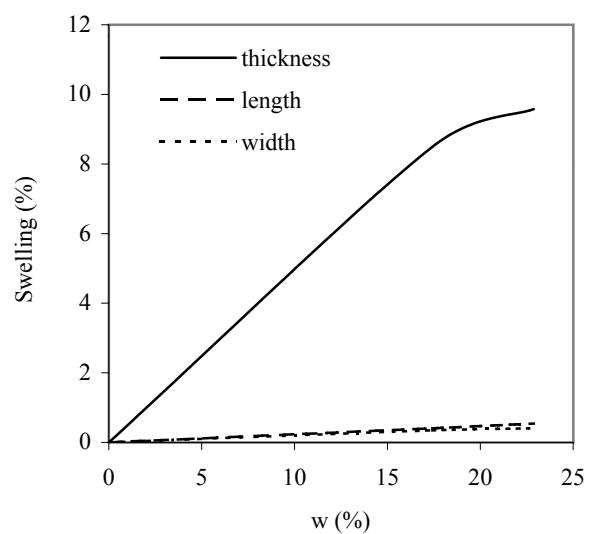


Fig. 24. All-beech plywood 15 mm thick

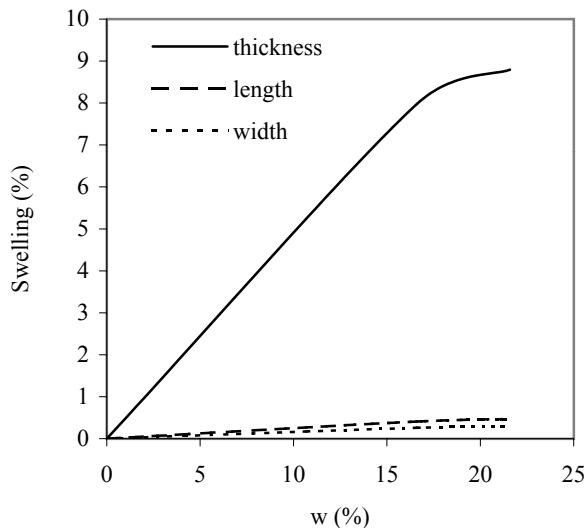


Fig. 25. All-beech plywood 18 mm thick

roughly twofold values. The relatively high value of the coefficient of swelling is probably caused by:

- the compression of surface layers of veneers. The compressed wood (after increasing its moisture content) shows a trend to return into the original condition;
- the reduction of the tangential swelling of veneers by neighbouring veneers the grains of which are perpendicular to them which results in the potential increase in swelling in the radial direction of veneers.

The knowledge of coefficients of swelling is important in designing clearances of construction elements. Under standard conditions it is suitable to observe a clearance for changes in length and width amounting to 2 mm/m.

CONCLUSION

The paper deals with the determination of coefficients of dimensional changes in relation to relative air humidity and with the study of the effect of coating systems on the rate of moistening of plywoods.

All measurements were carried out in water-resistant combined plywood with surface coating and thickness of 8, 10, 12, 15 and 18 mm and in all-beech plywood 10, 12, 15 and 18 mm in thickness.

Based on the results obtained it is possible to state that bending strength and modulus of elasticity are decisively affected, similarly as in all composite materials, by the construction of a sheet.

From the economic point of view, it is suitable to select the sheet structure according to requirements of a customer. It is known that surface layers transfer the greatest stress and that the stress of layers decreases towards the axis of symmetry. The fact can be used in designing the sheet structure, e.g. using veneers manufactured from cheaper species for central layers. Thus, the price and even density of plywood can be substantially reduced maintaining the required strength.

By means of coats it is possible to reduce substantially penetration of moisture across the plywood edge. Com-

Table 23. Mean coefficients of swelling for combined and all-beech plywoods

Sample moisture	Statistical value	Coefficient of swelling		
		thickness	length	width
Combined	<i>n</i>	5	5	5
Up to 17%	\bar{x}	0.4054	0.0258	0.0221
	<i>S</i>	0.0346	0.0039	0.0034
	<i>V</i> (%)	8.5	15.2	15.6
Over 17%	\bar{x}	0.0699	0.0044	0.0039
	<i>S</i>	0.0098	0.0016	0.0011
	<i>V</i> (%)	14.0	36.5	28.2
All-beech	<i>n</i>	4	4	4
Up to 17%	\bar{x}	0.4955	0.0221	0.0214
	<i>S</i>	0.0694	0.0018	0.0023
	<i>V</i> (%)	14.0	8.0	10.6
Over 17%	\bar{x}	0.0357	0.0030	0.0026
	<i>S</i>	0.0068	0.0006	0.0007
	<i>V</i> (%)	19.0	18.8	27.2

parisons between polyurethane coat U 2070 and acrylate coat AQUACOL V 2080 are demonstrated in Fig. 16.

Changes in the length and width of combined and all-beech plywoods amount to on average 0.020–0.025% per 1% change in the moisture content. Under upper values of the moisture range the changes are generally substantially lower. In practice, a suitable clearance for changes in the length and width of plywood amounts to 2 mm/m. Changes in thickness reach on average 0.4–0.5% per 1% changes in the moisture content.

References

- HORÁČEK P., 1998. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. [Skripta.] Brno, MZLU: 128.
- POŽGAJ A., 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, Príroda: 486.
- ČSN EN 313-1 Překližky. Klasifikace a názvosloví. Český normalizační institut, 1995: 6.
- ČSN EN 313-2 Překližované desky. Klasifikace a terminologie. Český normalizační institut, 1995: 8.
- ČSN EN 322 Dosky z dreva. Zisťovanie vlhkosti. Československý normalizační institut, 1993: 8.
- ČSN EN 323 Dosky z dreva. Zisťovanie hustoty. Československý normalizační institut, 1994: 8.
- ČSN EN 325 Dosky z dreva. Stanovenie rozmerov skúšobných telies. Český normalizační institut, 1995: 8.

ČSN EN 326-1 Desky ze dřeva. Odběr vzorků, nařezávání a kontrola. Část 1: Odběr vzorků, nařezávání zkušebních těles a vyjádření výsledků zkoušky. Český normalizační institut, 1997: 12.

ČSN EN 315 Desky ze dřeva. Rozměrová tolerance. Český normalizační institut, 1995: 8.

ČSN 49 0181 Preglejky. Spôsob zisťovania zmien lineárnych rozmerov v závislosti od relativnej vlhkosti vzduchu. Česko-slovenský normalizační úřad, 1986: 6

Received for publication September 9, 2003
Accepted after corrections December 1, 2003

Posouzení vlivu nátěrového systému na rychlosť navlhánia prekližek a změny rozmerov v závislosti na změně relativní vlhkosti vzduchu

P. KRÁL, J. HRÁZSKÝ

Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, Česká republika

ABSTRAKT: Článek shrnuje práce institucionálního výzkumu zaměřeného na posouzení vlivu nátěrového systému na rychlosť navlhánia prekližek a změny rozmerov v závislosti na změně relativní vlhkosti vzduchu. V práci jsme se zabývali stanovením koeficientů rozmerových změn v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu a zkoumáním vlivu nátěrového systému na rychlosť navlhánia prekližek. Veškerá měření byla provedena na vodovzdorných prekližkách s povrchovou úpravou o kombinaci tloušťky 8, 10, 12, 15 a 18 mm a celobukových prekližkách o tloušťce 10, 12, 15 a 18 mm.

Klíčová slova: prekližka; vlhkost; navlhavost; nátěr polyuretanový; nátěr akrylátový; rozměrová změna

Pomocí nátěru lze podstatně snížit vnikání vlhkosti přes hranu do desky. Vzájemné porovnání mezi polyuretanovým nátěrem U 2070 a akrylátovým nátěrem AQUACOL V 2080 je dobře patrné na příslušných obrázcích.

Změna délky a šířky prekližek kombi a bukových prekližek je průměrně 0,020–0,025 % na 1 % vlhkosti. Při horních vlhkostech uvedeného rozsahu jsou změny obecně podstatně menší. U konstrukcí v praxi je vhodná vůle pro změny délky a šířky prekližky 2 mm/m.

Změna tloušťky dosahuje průměrně 0,4–0,5 % na 1 % změny vlhkosti.

V důsledku působení vnějších sil dochází ke změně rozmerů, objemu tělesa, resp. posunutí rozmerů a tím i k částečné změně tvaru tělesa. Tyto změny se nazývají deformace.

Dřevo neboli přesněji základ jeho buněčných stěn v podstatě představuje komplex přírodních polymerů, které mají dlouhé, rozvětvené, řetězcovité molekuly. Tato stavba polymerů určuje charakter jejich chování v důsledku zatížení. Při působení vnějších sil na polymer mohou vznikat následující tři druhy deformací:

a) deformace okamžitá pružná (ϵ_p), způsobená vratnými změnami průměrných rozestupů mezi řetězcovými molekulami polymerů (objevuje se okamžitě při působení síly a po jejím uvolnění se okamžitě ztrácí),

b) deformace pružná rozvíjející se v čase (ϵ_c), někdy označovaná jako elastická deformace spojená s vrat-

ným přeskupením částic řetězových molekul (zvětšuje se postupně s časem a zaniká až za určitý čas po uvolnění),

c) deformace plastická – vazce tekoucí (ϵ_{pl}), způsobená smíšením řetězcových molekul; zůstává i po odstranění působící síly (označuje se také jako deformace zbytková, trvalá).

U dřeva se velice často vyskytují i deformace způsobené změnou vlhkosti. Dřevo nabývá různých rozmerů, čímž se deformauje. Bobtnání představuje pružné deformace. Jakmile dřevo mění své rozměry a tvar, musejí ve dřevě vznikat vnitřní síly, které způsobují napětí (vlhkostní napětí). Po úniku vody z dřevní struktury nabývá dřevo původních rozmerů a vzniklé deformace zanikají.

Pod pojmem navlhavost (hygroskopita) dřeva a materiálů na bázi dřeva se rozumí schopnost těchto materiálů pohlcovat vodu z okolního vzduchu ve formě vodní páry, a to v závislosti na vlhkosti materiálu, teplotě a relativní vlhkosti okolního vzduchu.

Stav, kdy vlhkost dřeva odpovídá teplotě a vlhkosti okolního vzduchu, se nazývá stav vlhkostní rovnováhy. Prekližky podobně jako masivní dřevo reagují na změnu vlhkosti změnou rozmerů. Avšak vzhledem ke křížovému slepení jednotlivých vrstev jsou změny rozmerů v rovině desky podstatně redukované. Ke změnám rozmerů produktů ze dřeva dochází v rozsahu vlhkosti 0–30 %, resp. při vlhkosti dřeva pod bodem nasycení vláken dřeva. Při vyšší vlhkosti již nedochází k významnějším změnám.

Cílem práce bylo posouzení vlivu použitého nátěrového systému na rychlosť navlháni překližek a změny rozměrů v závislosti na změně relativní vlhkosti vzduchu.

Zkoušky byly prováděny na fóliovaných vodovzdorných překližovaných deskách s protiskluzovou úpravou a dvou typů konstrukce. U obou typů konstrukce překližovaných desek udávají výrobci gramáž povrchové fólie 167 g/m², třídu lepení 3 podle ČSN EN 314-2, tj. vyhovující testu AW 100, a třídu úniku formaldehydu A podle ČSN EN 1084.

V souladu s normami EN 326-1 a EN 325 byly se staveny nářezové plány.

Zkouška stanovení rychlosti navlhavosti v závislosti na použitém nátěrovém systému vycházela z normy ČSN 49 0181 *Překližky. Způsob zjišťování lineárních rozměrů v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.*

Vzorky o rozměrech 100 × 100 mm byly vysušeny při teplotě 103 °C, označeny a rozděleny do tří skupin. Vzorky z první skupiny byly zváženy a hodnoty byly zapsány. Na hrany vzorků z druhé a třetí skupiny byly naneseny pomocí vzduchové pistole nátěry – akrylátový nátěr AQUACOL V2080 a polyuretanový dvousložkový nátěr U 2070. Po nanesení nátěrů byly vzorky uloženy do sušárny při teplotě 40 °C po dobu 60 hodin. Po vytvrzení nátěru byly vzorky zváženy, hodnoty zapsány a vzorky vloženy do klimatizační komory při relativní vlhkosti vzduchu 97 % a teplotě 20 °C. Vážení vzorků bylo provedeno po 24 hodinách a další měření byla provedena s frekvencí 7 dní od vložení do klimatizační komory.

Zkouška stanovení rozměrových změn v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu vycházela z normy ČSN 49 0181 *Překližky. Způsob zjišťování lineárních rozměrů v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu.*

Vzorky byly vysušeny při teplotě 103 °C a poté klimatizovány při relativní vlhkosti vzduchu 80 a 95 % a teplotě 20 °C. Výsledky měření byly statisticky zpracovány. Normalita souborů byla ověřena pomocí Shapiro-Wilkova testu.

Pro vyhodnocení naměřených hodnot byly v první fázi použity statistické veličiny: průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient.

Pro posouzení vlivu použitého nátěrového systému jsme použili po ověření normality souborů jednofaktorovou analýzu rozptylu. Testování jsme provedli pro jednotlivé hodnoty příjmu vlhkosti získané měřením po uvedených intervalech.

Z výsledků jednofaktorové analýzy rozptylu vyplývá, že mezi jednotlivými měřenými od 1. do 35. dne jsou signifikantní rozdíly (v tabulkách jsou vyznačeny kurzivou).

Následnou analýzou mnohonásobného porovnání podle testu podle Tukeye (pro porovnání uvádíme i test podle Bonferronihho) jsme si ověřili vzájemné rozdíly mezi jednotlivými skupinami. Z výsledků vyplývá, že mezi polyuretanovým a akrylátovým nátěrovým systémem byl až do 28. dne výrazný rozdíl a asi během 35. dne došlo k vyrovnaní vlhkosti u všech vzorků.

Během zkoušky došlo u akrylátového nátěrového systému k popraskání povrchu při rozdílu vlhkosti 15 %, avšak u polyuretanového nátěrového systému došlo k drobnému popraskání až při rozdílu vlhkosti 20 %, a to jen u kombinovaných překližek.

Z výsledků vyplývá, že polyuretanový nátěrový systém bylo vhodné použít například:

- tam, kde jsou desky vystaveny prudkým změnám vlhkosti. Polyuretanový nátěrový systém zabrání těmto změnám vlhkosti a tím zvýší životnost překližky;
- tam, kde by během přepravy v prostředí s vysokou relativní vlhkostí mohlo dojít ke zvýšení vlhkosti povrchové vrstvy hrany a z toho plynoucího nabobnání. Tato změna rozměrů může působit problémy při montáži u odběratele.

Je rovněž nutné si uvědomit, že polyuretanový nátěrový systém sice chrání hranu daleko lépe než akrylátový nátěrový systém, ale po době 30–40 dnů dojde k vyrovnaní rozdílů mezi těmito dvěma nátěrovými systémy. Proto tam, kde je deska vystavena prostředí s poměrně vyrovnanou relativní vlhkostí, je vhodnější použít levnější akrylátový nátěrový systém.

Další skutečností je, že nátěrové systémy chrání hranu jen proti náhlým změnám vlhkosti. Při delším vystavení překližky vysokým vlhkostem prostředí se zvyšuje i vlhkost překližky. Proto v prostředí, kde by měla překližka vlhkost vyšší než 20 %, by bylo vhodné použít impregnace.

Koeficienty příjmu vlhkosti přes hranu a plochu desky při klimatizování v prostředí o relativní vlhkosti vzduchu 95 % jsme stanovili z příjmu vody a velikosti ploch vzorků. Pomocí těchto koeficientů je možné stanovit například příjem vlhkosti přes hranu a plochu desky, vypočítat změnu vlhkosti desky při uložení v daném prostředí atd.

Corresponding author:

Dr. Ing. PAVEL KRÁL, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Lesnická 37, 613 00 Brno, Česká republika
tel.: + 420 545 134 159, fax: + 420 545 212 298, e-mail: kral@mendelu.cz
