

ON THE CONTROLLING OF THE FITTING QUALITY

by Alina Staniszewska, Wiesław Zakrzewski and Grzegorz Pinkowski

Department of Machine Tools and Industrial Appliances
A.Cieszkowski Agricultural University of Poznań

In this work studied was clearance occurring between matched elements of the type mortice - tenon. Designed was range of variability of clearances occurring in the industrial conditions, and proposed was possible to reach fitting tolerance. Verified was in the industrial conditions controlling of the arithmetic mean of the mortice dimension, as the best way of optimization of the mean clearance of the matched elements.

Key words: mortice, tenon, fit tolerance

INTRODUCTION

Evaluation of the dimensional exactness of fitting is the one of the features of machining of wood. It is known that, on the kind of fitting between real mortice and joined with it tenon is deciding the amount of clearance occurring in this joint. The clearance depends on difference of the real dimensions of mortice and tenon, and in that independently to their magnitude.

In the literature two sides fitting of the mortice joint of dimensions, that is length of mortice and width of tenon, and width of mortice and thickness of tenon is not well known (Rybski 1976, Staniszewska, Zakrzewski and Michalak 1994). From the studies of Rybski results, are to be used interference up to 0.7 mm between width of mortice and the length of tenon, and clearances from 0 to 0.1 mm between width of mortice and thickness of the tenon. The results of investigation of the clearances in joints prepared in laboratory conditions (Rybski 1996) are most often incomparable with the values of clearances occurring in industrial practice, where on the kind of fit decides the exactness class of the elements make (Staniszewska, Zakrzewski and Michalak 1994).

For the series of elements it is the so called interval of variability of clearance T_{pr} resulting from their observation, and fit tolerance T_{pz} , which is standardized value (Staniszewska and Zakrzewski 1988, 1990).

Studies in aim to establish of the needed kind of fit are assuming the use of fit variance analysis in industrial conditions taking into account mean clearance. The observed mean clearance $L_{rs} = 0.5 \cdot (L_{r\max} - L_{r\min})$ was used as the controlling parameter of the ability the quality of fitting. It is the parameter of control of exactness of the tenon and mortice make in the process of wood machining. As the controlling the dimension is the technological operation, having in aim to provide arithmetic mean to the centre field of tolerance, similarly controlling of clearance has in aim to bring of mean clearance to the center of fitting tolerance.

The authors are proposing the exactness of fit make, that is quality of fit to evaluate by ratio of fitting tolerance of normalized T_{pz} against interval of variability of clearance $6\sigma = T_{pr}$.

$$C_p = \frac{T_{pz}}{T_{pr}} > 1 \quad 1)$$

The value of the index c_p has to be greater from one, what means, that the tolerance of fit has to cover the interval of clearance variability.

Thus will occur compatibility of technical requirements with production possibilities. Maintaining in the process value c_p higher than 1 does not guarantee creation of good fits. There is to be maintained programmed value of the centering index c_{pk} determining position of the clearance of variability interval against the field of fit tolerance.

$$c_{pkg} = \left| 2 \cdot \frac{L_{z\max} - L_{rs}}{T_{rp}} \right| \geq 1 \quad \text{lub} \quad c_{pkd} = \left| 2 \cdot \frac{L_{rs} - L_{z\min}}{T_{rp}} \right| \geq 1 \quad 2)$$

If the value $c_p > c_{pk}$ means that, the mean value of clearance L_{rs} , lies outside centre of fit tolerance T_{pz} determined by the mean standardized clearance L_{zs} . The value lower is deciding on the index c_{pk} .

If the index $c_{pk} > 1$ that means, that did not arise rejections in production (Staniszewska and Zakrzewski, w druku). In other case the rejections arise. The rejections are dimensions lying outside tolerance limit. Their percentage share in the sample results from magnitude of dispersion beeing outside tolerance limit.

The obtaining of demanded fit in the quality able process $c_p > 1$ could be reached through controlling of mean clearance observed, so that it could accept position of the centre field of standardized tolerance of fit. Elaborated was method of controlling of the mean clearance through adjustment of arithmetic mean of tenon dimension (adjustment of the tenoner setting).

The uncentrical value of fit

$$\Delta L_s = L_{zs} - L_{rs} \quad 3)$$

Increase of arithmetic mean of tenon dimension

$$\Delta \bar{x}_w = -\Delta L_s \quad 4)$$

The arithmetic mean of tenon dimension enables controlling the fit quality. The scope of this study was the use of tenon dimension change in joints as the element controlling the mean clearance of fit, deciding on the quality of fit.

EXPERIMENTS

The object of the studies was mortice-tenon joint of the side case with hind leg of the chair type 2127 produced by Swarzędz Furniture Factory, made of oak wood. Moisture content of the elements was in average 10%, so it was on the level of moisture content of reference acc. to BN-81/7140-11.

The tenons on cases were milled on the tenoning machine made by Bacci-Cascina, with the tool consisting of milling head and circular saw.

The mortices were machined on the oscillating drilling - milling machine produced by Brevettata with the use helical drill with centering spike and cutters.

In the investigations it was adopted, that in the joint the tolerance of dimensions is two way, that is the dimension on tenon thickness in case with the width of mortice in the hind leg of chair and length of this mortice with the width of tenon. Measurements were made with the use of electronic caliper of type TESA DIGIT CAL with numeral readout with accuracy 0.01 mm. The studied elements were randomly sampled directly at machine tool, accordingly to the PN/N-03010 "Statistical quality control". Measurements were made thrice along the tolerated dimensions at 30 elements sample in four time lapses - 20 minutes long. Obtained in thus way measurements on the beginning of the process and properly after 20, 40, and 60 minutes for the mortice and for tenon in both directions of tolerance.

The method of estimation of exactness of linear measurements and basic dimension of fit together with real deviations was published (Staniszewska and Zakrzewski 1988, 1990). In the literature it was established, that the tested dimension is the random variable, and its interval of variability is denominated by symbol T_r . The interval of variation is measured with 6 - time standard deviation 6σ . On the base of analysis of the observed dimensions of matched elements was determined the interval of variation of clearance .

$$T_{pr} = L_{r\max} - L_{r\min} = T_{ro} + T_{rw} \quad 5)$$

For the calculation of indexes of quality ability of machine tools and processes on the base of initial studies it was assumed fitting H6/17 accordingly to BN-81/7140-11, taking into account technical condition of machine tools and technological requirements.

Though for the process of inspection and control with the accuracy of fit exactness it is indispensable comparison of values and position of the area of variability of clearance with tolerance of fitting, but in article was intended to present graphical also comparison of dispersion of mortices dimension ad tenons with tolerance. Intention was to indicate, that allowable exactness of fits make, not always has to cause expected - accordingly with assumed kind and class of fitting - exactness of make of the mortices and tenons. Adjustment of mortices dimension is impossible due to the dimension of the drill with diameter expressed in full millimeters. However adjustment of tenon dimension is possible, but not from the cause of controlling dimension, so, that its dispersion will encompass in tolerance, but for obtaining proper interval of clearance variability so that it will fit into tolerance of fitting.

RESULTS

The results of statistical calculations of dimensions of mortice width in hind leg and thickness of tenon on case of oak chair type 2127 on the beginning of execution of the process, and properly after 20, 40 and 60 min were placed in the Tables 1 to 4. On the base of the data presented in the table were made Fig. 1 to 3. From the Fig. 1 results, that in the six class of exactness, that is in the range of optimal standardized tolerance

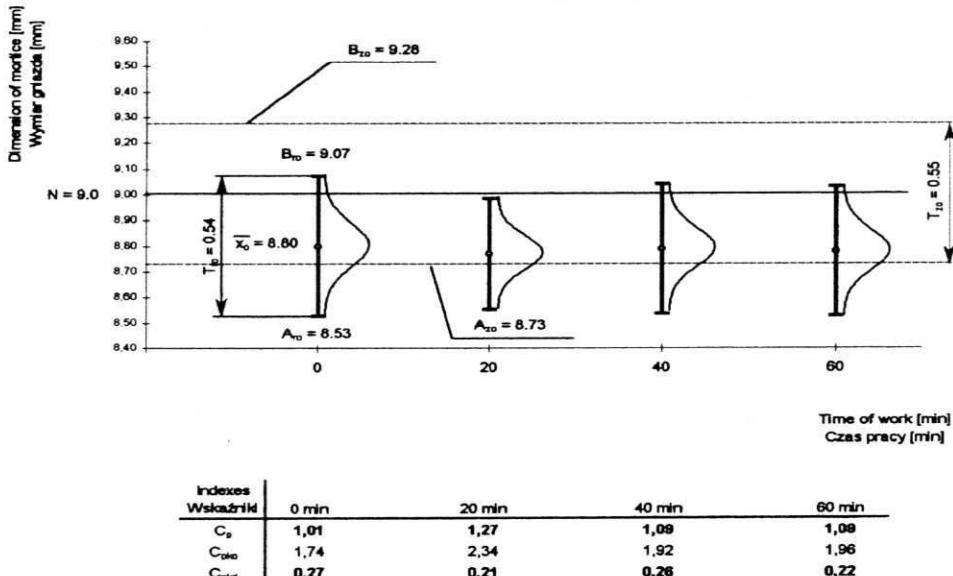


Fig. 1. Indexes determining position of interval of variability of mortice width dimension against the field of tolerance for given periods of batch execution.

Rys. 1. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności wymiaru szerokości gniazda względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

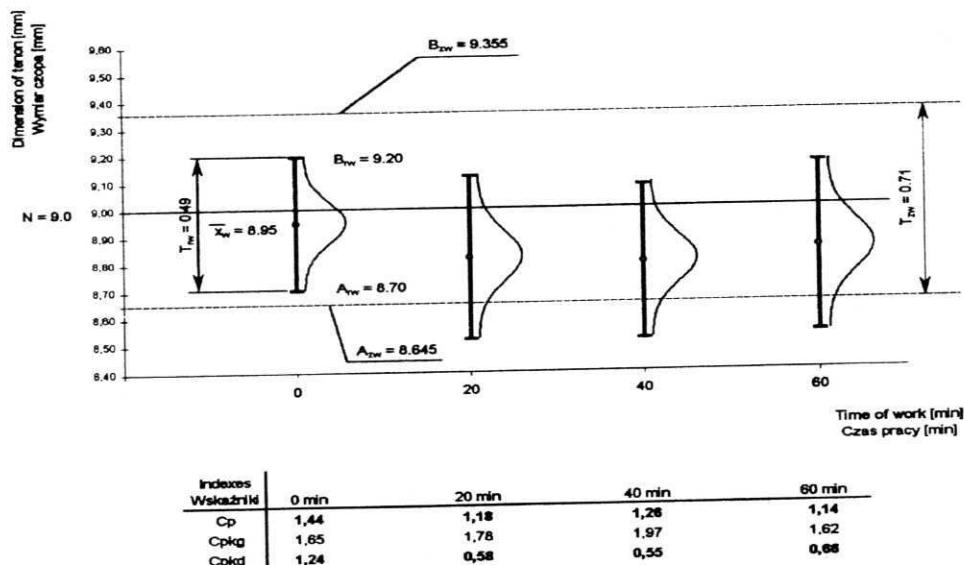


Fig. 2. Indexes determining position of interval of variability of tenon thickness dimension against the field of tolerance for given periods of batch execution

Rys. 2. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności wymiaru grubości czopa względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

of the mortice with nominal width $9,0^{+0,28}_{-0,28}$ made up dimensions are not in the limits, therefore index determining position of arithmetic mean of display of dimensions of mortice against centre of the field of standardized tolerance c_{pk} is below one, however index $c_p = \frac{T_z}{T_r} > 1$ is in the range $1.01 \div 1.27$.

In case of nominal dimension of the mortice thickness $9,0^{+0,36}_{-0,36}$ on the Fig. 2 is presented index c_{pdk} , which in prevailing part of periods of batch execution is also smaller from one, while index of quality ability of the process $c_p = 1.14 \div 1.44$.

Fig. 3 illustrates interval of variability of clearance for given periods of batch execution. The tolerance of fit, which (for given nominal dimension) depends upon the class of exactness, it just the measure of exactness of fitting. From the kind of standardized fitting adopted as optimal fitting that is pressing of type H6/l7 results the value of mean clearance $L_{zs} = \frac{L_{z\max} + L_{z\min}}{2} = \frac{0.55 - 0.71}{2} = -0.08 \text{ mm}$ (Fig. 3).

In the kind of fit not the dimension of mortice and not the dimension of tenon, but their clearance is most important. If the intervals of variability of tenon dimension and intervals of variability of mortice dimension are smaller from the standardized tolerance $6\sigma < T_{zw(0)}$ that means, that the tolerance of fitting covers interval of clearance variability $T_{pz} > T_{pr}$. In the same the index c_p evaluating dimensional exactness of joint is greater from one.

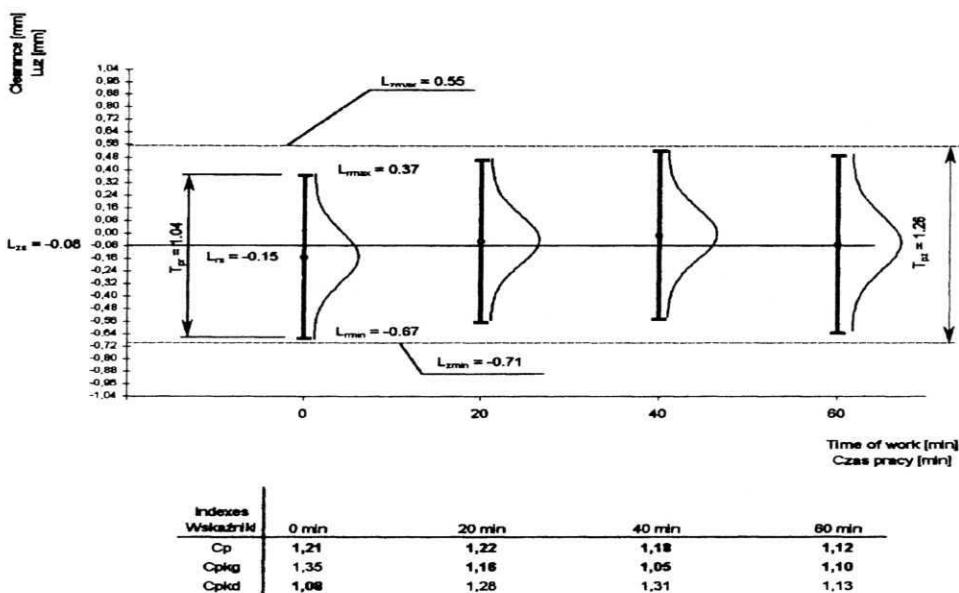


Fig. 3. Indexes determining position of interval of variability of clearance occurring between mortice width and tenon thickness against the field of tolerance for given periods of batch execution

Rys. 3. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności luzu występującego pomiędzy szerokością gniazda i grubością czopą względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

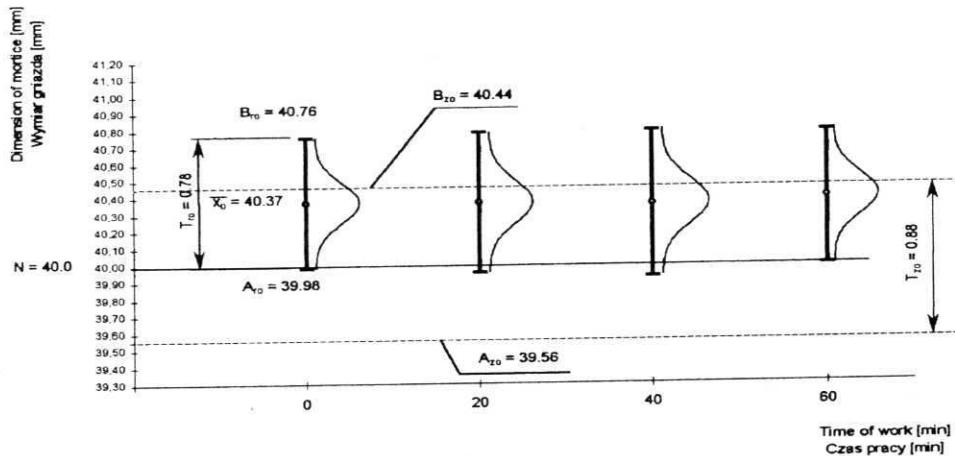
At the assumed kind of fit 8.53H6/17 the value of mean standardized clearance is $L_{zs} = -0.08 \text{ mm}$, for the value of maximum standardized clearance $L_{zmax} = 0.55 \text{ mm}$ and properly minimum $L_{zmin} = -0.71 \text{ mm}$. From that results, that the value of tolerance $T_{pz} = 1.26 \text{ mm}$. In Tables 1÷4 presented are values of limit clearances and calculated on their base vales of mean clearance. From the Table 1 and Fig. 3 results, that the value of mean clearance at the beginning of the execution of the process was $L_{rs} = -0.15 \text{ mm}$. That means that the tenoning machine is to be readjusted about the value of uncentering of process $\Delta L_s = L_{zs} - L_{rs} = -0.08 - (-0.15) = 0.07 \text{ mm}$ answering to the increase of arithmetic mean of dimension of thickness of tenon $\Delta x_w = -\Delta L_s = -0.07 \text{ mm}$. Finally the arithmetical mean of dimension of the tenon thickness x_w in the next period of the batch execution (20 min) has to be decreased about 0.07 mm.

As it results from the Table 2 in the fit after time of work 20 min the mean value of clearance has been decreased and is close to standardized one. The value of uncentering of fit $\Delta L_s = L_{zs} - L_{rs} = -0.08 - (-0.05) = -0.03 \text{ mm}$. After next centering in time of execution 40 min (Table 3) differences $\Delta L_s = -0.07 \text{ mm}$. So the arithmetical mean of dimension of tenon thickness has to increase about value $\Delta x_w = 0.07 \text{ mm}$. After 60 min of work, centering of the fit is optimal, what is certified by numerical values of observed mean clearance and standardized one $L_{zs} \approx L_{rs}$ (Table 4). From the Tables 1÷4 results, that the value of variability interval of clearance T_{pr} is in limits of 1.04÷1.12 that is there are not essential changes in exactness of make.

The results of statistical calculations obtained in the second direction of tolerance of dimensions of joint, that is length of mortice and width of tenon are contained in Tables 5÷8 and on Fig. 4÷6. Position of the interval of variability of dimension of mortice and tenon against the field of tolerance for given periods of batch execution are illustrating Fig. 4 and 5, from them it results, that in any case in the area of standardized tolerances could not lie tolerances of make, and that they in every case are overreaching allowable clearance upper dimension of the mortice, for which index of process centering c_{pk} is 0.13 to 0.19, while for the tenon it is 0.09÷0.47. The dimension of the fit is adopted as 39.98H6/17. From that results, that the standardized dimension of the mortice (acc. to BN-81/7140-11-principle of the constant) opening is $39.98^{+0.88}$, while allowable of tenon $39.98^{+1.13}$.

The Fig. 6 illustrates interval of variability of clearance answering fit tolerance in the interval of clearance standardized 39.98H6/17. From the fit results that $T_{pz} = 2.01$ mm, while the mean clearance value $L_{zs} = -0.125$ mm, in case of maximal clearance $L_{zmax} = 0.88$ mm, and properly for minimal $L_{zmin} = -1.13$ mm.

Adjustment of the dimension of thickness of tenon is possible to made by the change of increase of mean arithmetic value Δx_w of tenon dimensions. For instance data presented in the Table 7 are relating to the period of execution of batch in time 40÷60 min. From the numerical data results, that $\Delta L_s = L_{zs} = -0.125 - (-0.03) = -0.125 + 0.03 \approx -0.10$ mm. Therefore it is to increase arithmetic mean of the tenon $\Delta x_w = 0.10$



Indexes Wskaźniki	0 min	20 min	40 min	60 min
C_p	1,14	1,06	1,02	1,11
C_{pk}	0,18	0,17	0,19	0,13
C_{pkd}	2,09	1,96	1,85	2,10

Fig. 4. Indexes determining position of interval of variability of mortice length dimension against the field of tolerance for given periods of batch execution

Rys. 4. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności wymiaru długości gniazda względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

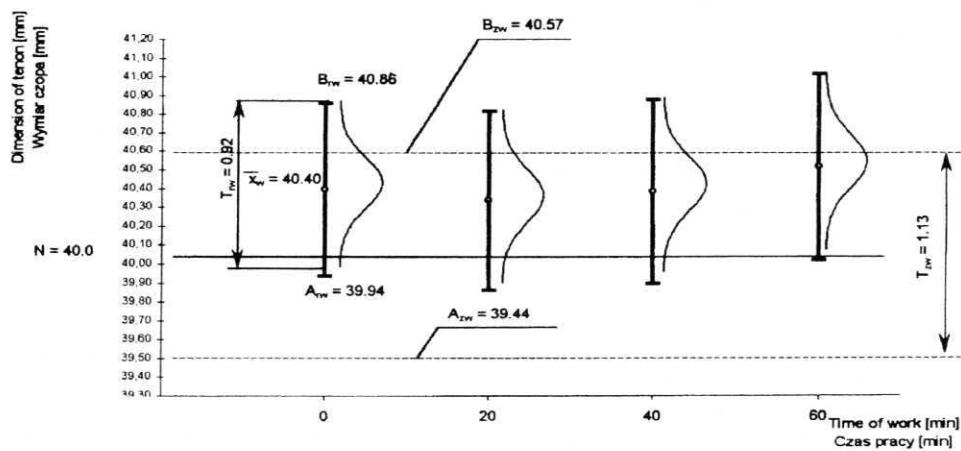


Fig. 5. Indexes determining position of interval of variability of tenon width dimension against the field of tolerance for given periods of batch execution

Rys. 5. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności wymiarów szerokości czopa względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

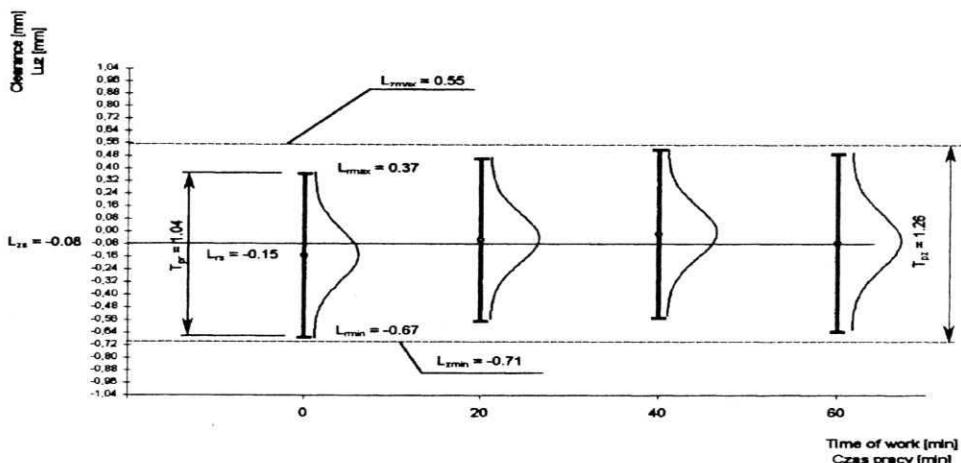


Fig. 6. Indexes determining position of interval of variability of clearance occurring between mortice length and width of tenon against the field of tolerance for given periods of batch execution

Rys. 6. Wskaźniki określające położenie przedziału zmienności luzu występującego pomiędzy długością gniazda i szerokością czopa względem pola tolerancji dla ustalonych okresów realizacji partii

Indexes Wskaźniki	0 min	20 min	40 min	60 min
C _p	1,22	1,18	1,15	1,13
C _{pkg}	0,36	0,47	0,36	0,09
C _{pkl}	2,09	1,90	1,94	2,17

mm. The last period of execution of batch after 60 min due to the values of indexes c_p and c_{pk} is more favorable, because as it results from Fig.6 $L_{rs} \approx L_{zs}$. Indexes determining qualitative ability of the process in course of its lasting from 0÷60 min are from 1.08÷1.18 and are to small, because in course of production at change of mean clearance occurring faults of fitting .

The fitted in both directions tenon joint, when thought as optimal, has to reveal indexes of qualitative ability on the level $c_p > 1.33$.

CONCLUSIONS

1. As results from carried out investigations in Swarzędz Furniture Factory, produced tenon joints of chairs mortices are placed in the class 6, while tenons in the class 7 of exactness of make.
2. To obtain interval of clearance variability, so that it would be in tolerance of fit, it is recommended controlling of mean clearance.
3. For the width of mortice and thickness of tenon the process is qualitative able, and centered.; index of qualitative ability of fit c_p is 1.12 to 1.22, while index of centering c_{pk} has value from 1.08 to 1.31.
4. For the length of mortice and width of tenon the process is quality able but in 20 and 40 minutes uncentered; the index of quality ability of fit c_p is from 1.09 to 1.18, whole the centering index c_{pk} has value from 0.95 to 1.13.
5. The resulting from real industrial conditions in Swarzędz Furniture Factory and assumed in studies fit mixed - pressed H6/7 both directions tolerated cases creation of some number of rejections, so it would be recommended application of fit H7/8.

Received in April 1998

REFERENCES

- Greber T. (1997):Metody statystyczne w zarządzaniu jakością a normy PN-ISO serii 9000. Normalizacja (4) : 14-17.
- Bieliński J., Korzeniowski A.M. (1979): Połączenie czopów powlekanych klejem glutynowym. Przemysł Drzewny 30 (7) : 7-9.
- Biniek P., Smardzewski J. (1987): Próba ustalenia wpływu jednocośnych zmian kilku czynników na wytrzymałość połączenia czopowo-widlicowego. Przemysł Drzewny 38 (4) 6-8.
- Rybski F.A. (1976): Badania nad kształtowaniem się zależności między rodzajem pasowania a wytrzymałością złącz czopowych krytych. Autoreferat rozprawy doktorskiej AR w Poznaniu.
- Staniszewska A., Zakrzewski W. (1988): Statystyczny sposób wyznaczania dokładności wymiarów liniowych. Przemysł Drzewny 39 (4) : 5-7.

- Staniszewska A., Zakrzewski W. (1990): Przykładowe wyznaczenie rodzaju pasowania na podstawie położenia pól tolerancji zaobserwowanych elementów kojarzonych. Przemysł Drzewny 41 (4): 14-16.
- Staniszewska A., Zakrzewski W., Michalak K. (1994): Określenie rzeczywistego pasowania złącza czopowo-gniazdowego na podstawie rozrzułu jego wymiarów w produkcji seryjnej. Roczniki AR w Poznaniu 262 : 71-89.
- Staniszewska A., Zakrzewski W., Żurek J. (1996): Znaczenie krzywych udziału nośnego w obszarze tolerancji połączenia czopowego. Folia Forestalia Polonica. ser. B 27: 5-21.
- Zakrzewski W., Staniszewska A. (w druku): The importance of fit tolerance in the precision of work of tenon joints of wooden elements (Artykuł złożony do druku w czasopiśmie Roczniki AR w Poznaniu).
- Norma BN-81/7140-11. (1981): Układ tolerancji i pasowań dla meblarstwa. Warszawa.
- Norma PN-ISO 3534-2 (1994): Statystyka. Statystyczne Sterowanie Jakością.

STEROWANIE JAKOŚCIĄ PASOWANIA

Streszczenie

O rodzaju pasowania między konkretnym gniazdem i łączonym z nim czopem decyduje wielkość luzu (wcisku) występująca w tym połączeniu. W literaturze przedmiotu pasowanie dwukierunkowe połączenia czopowego wymiarów tj. długości gniazda i szerokości czopa oraz szerokości gniazda i grubości czopa jest mało znane. Badania w celu ustalenia wymaganego rodzaju pasowania zakładają wykorzystanie analizy zmienności luzu w warunkach przemysłowych z uwzględnieniem luzu średniego. Luz średni zaobserwowany został użyty jako parametr sterujący zdolnością jakościową pasowania. Jest on czynnikiem kontroli dokładności wykonania gniazda i czopa w procesie obróbki drewna. Przedmiotem badań było złącze czopowo - gniazdowe oskrzyni bocznej z tylną nogą krzesła typu 2127 produkcji Swarzędzkich Fabryk Mebli wykonanego z drewna dębowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników doświadczeń sformułowano następujące wnioski:

- w połączeniach czopowych krzesel gniazda mieścią się w 6 klasie, natomiast czopy w 7 klasie dokładności wykonania,
- dla szerokości gniazda i grubości czopa proces jest zdolny jakościowo i wycentrowany; wskaźnik zdolności jakościowej pasowania c_p wynosi od 1,12 do 1,22, natomiast wskaźnik wycentrowania c_{pk} kształtuje się w wysokości 1,08 do 1,31,
- dla długości gniazda i szerokości czopa proces jest zdolny jakościowo lecz w 20 i 40 minucie niewycentrowany; wskaźnik zdolności jakościowej pasowania c_p wynosi od 1,09 do 1,18, natomiast wskaźnik wycentrowania c_{pk} kształtuje się w wysokości 0,95 do 1,13.

Authors' address:

Dr inż. Alina Staniszewska

Dr inż. Wiesław Zakrzewski

Mgr inż. Grzegorz Pinkowski

Akademia Rolnicza im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu

Katedra Obrabiarek i Urządzeń Przemysłowych

60-627 Poznań, ul. Wojska Polskiego 38/42

POLAND

Table 1
Tabela 1

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon thickness and mortice width on the begining of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu grubości czopa i szerokości gniazda na początku realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o) gniazdo (o)	tenon (w) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	8.80	8.95
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.091	0.082
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.54	0.50
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	9.07	9.20
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	8.53	8.70
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	8.53	8.53
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góarna gniazda w mm	ES_r	0.54	-
Lower deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	El_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góarna czopa w mm	es_r	-	0.67
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	0.17
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.37	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.67	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.15	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.04	
Fit notation Zapis pasowania		8.53 H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	L_{zmax}	0.55	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	L_{zmin}	-0.71	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.08	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	1.26	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	Δx_w	-	-0.07

Table 2
Tabela 2

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon thickness and mortice width after 20 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu grubości czopa i szerokości gniazda po 20 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o) gniazdo (o)	tenon (w) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	8.77	8.82
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.072	0.100
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.44	0.60
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	8.99	9.12
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	8.55	8.52
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	8.55	8.55
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góra gniazda w mm	ES_r	0.44	-
Lover deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	EL_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góra czopa w mm	es_r	-	0.57
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	-0.03
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.47	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.57	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.05	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.04	
Fit notation Zapis pasowania		8,55 H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_{z \max}$	0.55	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_{z \min}$	-0.71	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.08	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	1.26	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	Δx_w	-	0.03

Table 3
Tabela 3

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon thickness and mortice width after 40 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu grubości czopa i szerokości gniazda po 40 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o)	tenon (w) gniazdo (o) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	8.79	8.80
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.084	0.094
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.50	0.56
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	9.04	9.08
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	8.54	8.52
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	8.54	8.54
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góarna gniazda w mm	ES_r	0.50	-
Lover deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	EL_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góarna czopa w mm	es_r	-	0.54
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	-0.02
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.52	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.54	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.01	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.06	
Fit notation Zapis pasowania		8.54 H6/I7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_z \max$	0.55	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_z \min$	-0.71	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.08	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	1.26	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	$\Delta \bar{x}_w$	-	0.07

Table 4
Tabela 4

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon thickness and mortice width after 60 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu grubości czopa i szerokości gniazda po 60 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o)	tenon (w) gniazdo (o) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	8.78	8.85
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.084	0.104
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.50	0.62
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	9.03	9.16
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	8.53	8.54
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	8.53	8.53
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka górsza gniazda w mm	ES_r	0.50	-
Lover deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	El_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka górsza czopa w mm	es_r	-	0.63
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	0.01
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.49	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.63	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.07	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.12	
Fit notation Zapis pasowania		8.53H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_z \max$	0.55	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_z \min$	-0.71	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.08	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	1.26	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	Δx_w	-	0.01

Table 5
Tabela 5

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon width and mortice length on the beginning of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu szerokości czopa i długości gniazda na początku realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o) gniazdo (o)	tenon (w) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	40.37	40.40
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.129	0.154
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.78	0.92
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	40.76	40.86
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	39.98	39.94
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	39.98	39.98
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góra gniazda w mm	ES_r	0.78	-
Lover deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	El_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góra czopa w mm	es_r	-	0.88
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	-0.04
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.82	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.88	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.03	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.70	
Fit notation Zapis pasowania		39.98 H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_{z \max}$	0.88	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_{z \min}$	-1.13	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.125	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	2.01	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	$\Delta \bar{x}_w$	-	0.10

Table 6
Tabela 6

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension and clearance in tolerated joint of tenon width and mortice length after 20 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu w tolerowanym połączeniu szerokości czopa i długości gniazda po 20 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o)	tenon (w) gniazdo (o) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	40.37	40.34
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.138	0.159
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.82	0.96
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	40.78	40.82
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	39.96	39.86
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	39.96	39.96
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góarna gniazda w mm	ES_r	0.82	~
Lower deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	El_r	0	~
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góarna czopa w mm	es_r	~	0.86
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	~	-0.10
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.92	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.86	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	0.03	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.78	
Fit notation Zapis pasowania		39.96 H6/7 – forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_{z \max}$	0.88	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_{z \min}$	-1.13	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.125	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	2.01	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	Δx_w	-	0.16

Table 7
Tabela 7

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension
and clearance in tolerated joint of tenon width and mortice length
after 40 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu
w tolerowanym połączeniu szerokości czopa i długości gniazda po 40 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm	
		mortice (o) gniazdo (o)	tenon (w) czop (w)
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	40.36	40.39
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odchylenie standardowe w mm	σ	0.144	0.164
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.86	0.98
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	40.79	40.88
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	39.93	39.90
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	39.93	39.93
Upper deviation of mortice in mm Odchyłka góarna gniazda w mm	ES_r	0.86	-
Lower deviation of mortice in mm Odchyłka dolna gniazda w mm	El_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odchyłka góarna czopa w mm	es_r	-	0.95
Lower deviation of tenon in mm Odchyłka dolna czopa w mm	ei_r	-	-0.03
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.89	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-0.95	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.03	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.84	
Fit notation Zapis pasowania		39.93 H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_{z \max}$	0.88	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_{z \min}$	-1.13	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.125	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	2.01	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	$\Delta \bar{x}_w$	-	0.10

Table 8
Tabela 8

Statistical calculations on the interval of the variability of tenon-mortice dimension
and clearance in tolerated joint of tenon width and mortice length
after 60 min of execution of the process

Obliczenia statystyczne przedziału zmienności wymiaru czopa-gniazda i luzu
w tolerowanym połączeniu szerokości czopa i długości gniazda po 60 min realizacji procesu

Value Wielkość	Designation Oznaczenie	Numerical values in mm Wartości liczbowe w mm mortice (o) tenon (w) gniazdo (o) czop (w)	
Arithmetic mean in mm Średnia arytmetyczna w mm	\bar{x}	40.39	40.52
Number of measurements in mm Liczba pomiarów w mm	n	30	30
Standard deviation in mm Odczylenie standardowe w mm	σ	0.132	0.167
Interval of variability of dimension mm Przedział zmienności wymiaru w mm	T_r	0.80	1.00
Upper observed dimension in mm Górny wymiar zaobserwowany w mm	B_r	40.79	41.02
Lower observed dimension in mm Dolny wymiar zaobserwowany w mm	A_r	39.99	40.02
Basic dimension of the fit in mm Wymiar podstawowy pasowania w mm	$N=A_{ro}$	39.99	39.99
Upper deviation of mortice in mm Odcyylka góra gniazda w mm	ES_r	0.80	-
Lover deviation of mortice in mm Odcyylka dolna gniazda w mm	EI_r	0	-
Upper deviation of tenon in mm Odcyylka góra czopa w mm	es_r	-	1.03
Lower deviation of tenon in mm Odcyylka dolna czopa w mm	ei_r	-	0.03
Maximum observed clearance in mm Luz maksymalny zaobserwowany w mm	$L_{r \max}$	0.77	
Minimum observed clearance in mm Luz minimalny zaobserwowany w mm	$L_{r \min}$	-1.03	
Average observed clearance in mm Luz średni zaobserwowany w mm	L_{rs}	-0.13	
Interval of variability of clearance in mm Przedział zmienności luzu w mm	T_{pr}	1.80	
Fit notation Zapis pasowania		39.99 H6/7 - forced wciskane	
Maximum standarised clearance in mm Luz maksymalny znormalizowany w mm	$L_{z \max}$	0.88	
Minimum standarised clearance in mm Luz minimalny znormalizowany w mm	$L_{z \min}$	-1.13	
Average standarised clearance in mm Luz średni znormalizowany w mm	L_{zs}	-0.125	
Standarised fit tolerance in mm Tolerancja pasowania znormalizowana w mm	T_{pz}	2.01	
The change of arithmetic mean of tenon dimension Zmiana średniej arytmetycznej wymiaru czopa	$\Delta \bar{x}_w$	-	-0.01