
Vplyv technologických parametrov pri prievlačnom ťahaní rúr na ich výsledné vlastnosti a presnosť

Jozef Bilik, doc. Ing., PhD.*

Katedra tvárnenia kovov a plastov, Ústav výrobných technológií,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika.
E-mail: jozef.bilik@stuba.sk, Tel.: +421 915 761 406

Róbert Sobota, Ing., PhD.

Katedra tvárnenia kovov a plastov, Ústav výrobných technológií,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika.
E-mail: robert.sobota@stuba.sk, Tel.: +421 908 657 796

Michaela Kritikos, Ing., PhD.

Katedra obrábania a počítačovej podpory technológií, Ústav výrobných technológií,
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave,
Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Jána Bottu 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika.
E-mail: michaela.kritikos@stuba.sk, Tel.: +421 906 068 309

Influence of technological parameters when drawing tubes on their resulting properties and accuracy

Abstract: The article is focused on the implementation of experimental tests in order to monitor the impact of technological parameters during the drawing of tubes on their resulting properties and accuracy. In experimental tests, samples of seamless tubes with dimensions of $\varnothing 14$, $\varnothing 16$ and $\varnothing 18$ were used, which were pulled by pressing to the final outer diameter of $\varnothing 12$. Measurements of internal and external diameter as well as tensile tests to determine mechanical properties were carried out before and after drawing on the tubes. Experimental tests were carried out in order to optimize the drawing process to reduce the number of operations and reduce production costs.

Keywords: tubes, drawing, measuring.

ÚVOD

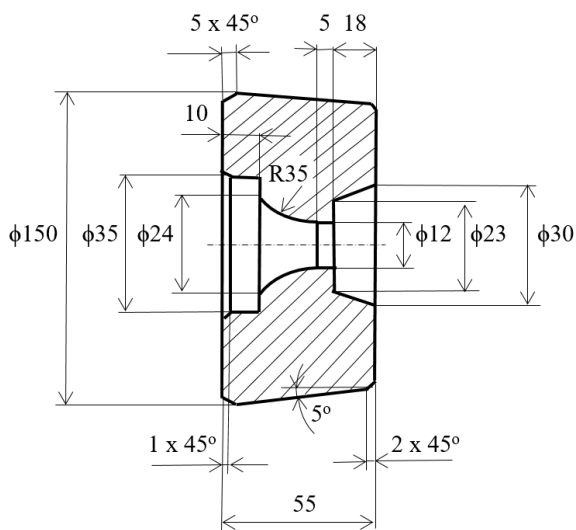
Rúry ako významný konštrukčný prvok majú široké uplatnenie. S rúrami sa možno stretnúť v automobilovom priemysle, vo výrobnom procese rôznych priemyselných oblastí alebo aj v domácnostiach. Rúry sú neodmysliteľným prvkom rôznych tvarovo a konštrukčne zložitých súčiastok. Výroba bezšvových rúr sa vyznačuje vysokými investičnými nákladmi na zariadenia. Vyznačuje sa aj vysokými nárokmi na výrobné plochy a vysokými nákladmi na samotnú výrobu. Ide totiž o náročný technologický proces od prípravy polotovaru až po výrobu širokého sortimentu rúr čo sa týka materiálov a rozmerov. Pri výrobe bezšvových rúr menších rozmerov a presných bezšvových rúr ide o

kombináciu operácií tvárnenia za tepla a tvárnenia za studena. Tvárnenie za tepla zahŕňa prevažne technologické procesy valcovania a tvárnenie za studena zahŕňa hlavne procesy ťahania cez prievlaky.

1 REALIZÁCIA EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

V rámci výskumu procesov výroby presných rúr ťahaných za studena boli realizované viaceré experimentálne práce. V príspevku sú uvedené výsledky z realizácie finálneho ťahania rúry s vonkajším priemerom 12 mm s hrúbkou steny 1 mm z materiálu E235 prievlačným ťahaním na skúšobnom zariadení pomocou prípravku.

Cieľom experimentálneho ťahania bolo skúmanie vplyvu technologických parametrov so zameraním sa na veľkosť pretvorenia (redukcie) na výsledné vlastnosti a presnosť rúr. Pre experiment bol použitý proces ťahania rúr za studena konkrétne prievlačné ťahanie. Prievlačné ťahanie sa využíva najmä na dokončovanie rúr ako finálna operácia. Použitý bol prievlak na ktorom vstupná redukčná časť mala prechodový polomer $R35$ (obr. 1). Použité boli vzorky bezšvových rúr s rozmermi $\varnothing 14$, $\varnothing 16$ a $\varnothing 18$ z každého po tri kusy. Všetky vzorky boli ťahaním zredukované na $\varnothing 12$. Ťahanie každej vzorky prebiehalo na jeden ťah pomocou prípravku na skúšobnom stroji *EU 40* podľa obr. 2. Pri každom ťahaní bol prievlak dôkladne namazaný *olejomolykote HTF Dispersion* kvôli zníženiu trenia na stykových plochách rúry a prievlaku, kde vznikajú vysoké tlaky a teploty. Teplota okolia pri bola ťahaní 20°C . Materiál rúr bola oceľ *E235*. Na konci každej vstupnej rúry bol vytvorený hrot na upnutie do čeľuští zariadenia na ťahanie. Hrotovanie koncov rúr bolo realizované technológiou rotačného kovania v rozmedzí teplôt 850°C až 900°C na priemer $\varnothing 11$ mm tak aby priemer hrotu bol menší ako vnútorný priemer prievlaku, ktorý bol $\varnothing 12$ mm.



Obr. 1. Prievlak použitý pri experimentálnom ťahaní



Obr. 2. Proces ťahania rúry na skúšobnom stroji *EU40* pomocou prípravku

Rýchlosť ťahania pri experimentálnom ťahaní bola $60 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Na obr. 3, obr. 4 a obr. 5 sú uvedené jednotlivé rúry pred a po ťahaní z priemerov $\varnothing 14$, $\varnothing 16$ a $\varnothing 18$ na priemer $\varnothing 12$.



Obr. 3. Spodná rúra pred ťahaním $\varnothing 14$ a), vrchná rúra po ťahaní $\varnothing 12$ b)



Obr. 4. Spodná rúra pred ťahaním $\varnothing 16$ a), vrchná rúra po ťahaní $\varnothing 12$ b)



Obr. 5. Spodná rúra pred ťahaním $\varnothing 18$ a), vrchná rúra po ťahaní $\varnothing 12$ b)

V tab. 1 je uvedené chemické zloženie ocele *E235* použitej pri danom experimente a v tab. 2 sú uvedené požadované mechanické vlastnosti ocele *E235*.

Tab. 1. Chemické zloženie sledovanej ocele *E235* v hmot. %

<i>C</i>	$\leq 0,17$
<i>Si</i>	$\leq 0,35$
<i>Mn</i>	$\leq 1,2$
<i>P</i>	$\leq 0,030$
<i>S</i>	$\leq 0,035$

Tab. 2. Požadované mechanické vlastnosti ocele *E235*

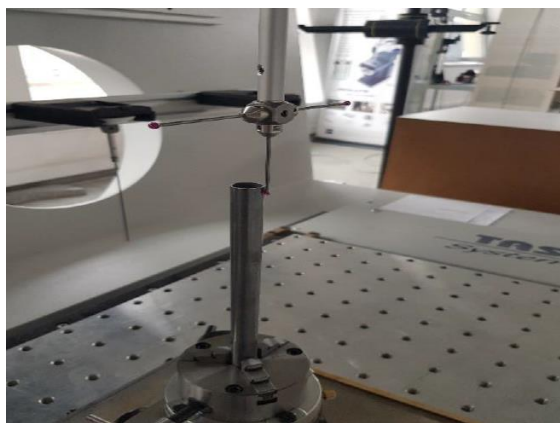
Minimálna medza klzu $R_{p0,2}$ [MPa]	235
Minimálna pevnosť v ťahu R_m [MPa]	360
Minimálna ťažnosť <i>A</i> [%]	25

1.1 Meranie rozmerov rúr pred a po ťahaní

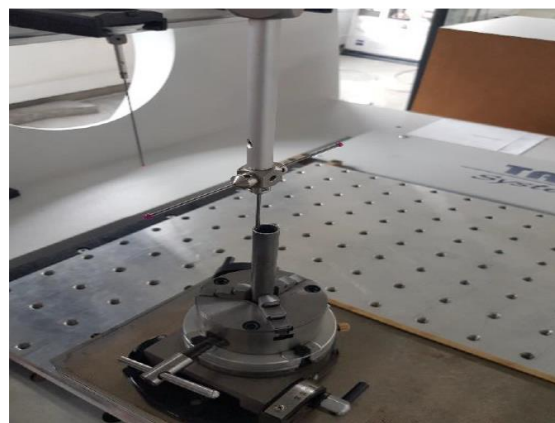
Meranie rozmerov rúr pred a po ťahaní bolo realizované na súradnicovom meracom zariadení *ZEISS-CENTER MAX*.

Merané boli vonkajšie priemery (obr. 6) a vnútorné priemery (obr. 7). Meranie bolo uskutočnené vždy v hĺbke 6 mm od okraja rúry. Využitá bola stratégia merania po kruhovej dráhe a na jednu kružnicu meracie zariadenie spravilo 500 vyhodnotení. Rýchlosť skenovania bola $5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Namerané a vypočítané hodnoty získané meraním realizované na súradnicovom meracom zariadení *ZEISS-CENTER MAX* sú uvedené tab. 3 až tab. 8.



Obr. 6. Meranie vonkajšieho priemeru



Obr. 7. Meranie vnútorného priemeru

Tab. 3. Namerané hodnoty pri ťahaní rúry Ø14 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer pred ťahaním D_o [mm]	Vnútorný priemer pred ťahaním d_o [mm]	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]
1	13,983	11,960	12,008	9,938
2	13,982	11,944	12,008	9,934
3	13,975	11,948	12,007	9,934

Tab. 4. Vypočítané hodnoty pri ťahaní rúry Ø14 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Hrúbka steny pred ťahaním s_o [mm]	Hrúbka steny po ťahaní s [mm]	Zmena hrúbky steny Δs [mm]/[%]	Redukcia R [%]
1	1,0115	1,0350	0,0235/2,32	13,44
2	1,0190	1,0370	0,0180/1,77	13,87
3	1,0135	1,0365	0,0230/2,27	13,44

Tab. 5. Namerané hodnoty pri ťahaní rúry Ø16 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer pred ťahaním D_o [mm]	Vnútorný priemer pred ťahaním d_o [mm]	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]
1	16,047	14,048	12,007	9,917
2	16,051	14,048	12,008	9,916
3	16,048	14,044	12,008	9,915

Tab. 6. Vypočítané hodnoty pri ťahaní rúry Ø16 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Hrúbka steny pred ťahaním s_o [mm]	Hrúbka steny po ťahaní s [mm]	Zmena hrúbky steny Δs [mm]/[%]	Redukcia R [%]
1	0,9995	1,0450	0,0455/4,55	23,83
2	1,0015	1,0460	0,0445/4,44	23,92
3	1,0020	1,0465	0,0445/4,44	23,91

Tab. 7. Namerané hodnoty pri ťahaní rúry Ø18 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer pred ťahaním D_o [mm]	Vnútorný priemer pred ťahaním d_o [mm]	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]
1	17,991	15,958	12,007	9,884
2	17,988	15,955	12,008	9,869
3	17,984	15,950	12,007	9,882

Tab. 8. Vypočítané hodnoty pri ťahaní rúry Ø18 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Hrúbka steny pred ťahaním s_0 [mm]	Hrúbka steny po ťahaní s [mm]	Zmena hrúbky steny Δs [mm]/[%]	Redukcia R [%]
1	1,0165	1,0615	0,0450/4,43	32,66
2	1,0165	1,0695	0,0530/5,21	32,19
3	1,0170	1,0625	0,0455/4,47	32,61

1.2 Ťažné sily a napätia pri ťahaní

V tab. 9, tab. 10 a tab. 11 sú uvedené namerané hodnoty maximálnych ťažných síl a vypočítané maximálne ťahové napätia v ťahanej rúre za prievlakom počas procesu prievlačného ťahania.

Na určenie mechanických vlastností rúr bola použitá statická skúška ťahom. Skúška sa realizovala na

vzorkách rúr pred a po ťahaní. Na každej vzorke boli vytvorené upínacie hlavy pre možnosť upnutia rúr do zariadenia na ťahovú skúšku. Použité boli vzorky pred a po ťahaní z priemeru Ø14 na Ø12, Ø16 na Ø12 a Ø18 na Ø12 z každého po dva kusy ako je možné vidieť na obr. 8. Na obr. 9 sú zobrazené vzorky po vykonaní ťahovej skúšky.

Tab. 9. Namerané hodnoty maximálnych ťažných síl a vypočítané maximálne ťahové napätia v ťahanej rúre pri ťahaní rúry Ø14 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]	Prierez rúry po ťahaní S_r [mm ²]	Maximálna ťažná sila $F_{\ell max}$ [N]	Maximálne ťahové napätie $\sigma_{\ell max}$ [MPa]
1	12,008	9,938	35,679	5400	151,35
2	12,008	9,934	35,741	5430	151,93
3	12,007	9,934	35,722	5520	154,53

Tab. 10. Namerané hodnoty maximálnych ťažných síl a vypočítané maximálne ťahové napätia v ťahanej rúre pri ťahaní rúry Ø16 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]	Prierez rúry po ťahaní S_r [mm ²]	Maximálna ťažná sila $F_{\ell max}$ [N]	Maximálne ťahové napätie $\sigma_{\ell max}$ [MPa]
1	12,007	9,917	35,988	10250	284,82
2	12,008	9,916	36,022	10500	291,49
3	12,008	9,915	36,038	10550	292,75

Tab. 11. Namerané hodnoty maximálnych ťažných síl a vypočítané maximálne ťahové napätia v ťahanej rúre pri ťahaní rúry Ø18 na Ø12 na 1 ťah

Číslo rúry	Vonkajší priemer po ťahaní D [mm]	Vnútorný priemer po ťahaní d [mm]	Prierez rúry po ťahaní S_r [mm ²]	Maximálna ťažná sila $F_{\ell max}$ [N]	Maximálne ťahové napätie $\sigma_{\ell max}$ [MPa]
1	12,007	9,884	36,501	13440	368,21
2	12,008	9,869	36,752	13430	365,42
3	12,007	9,882	36,532	13700	375,01



Obr. 8. Skúšobné vzorky pred a po ťahaní-vľavo Ø14 na Ø12 v strede Ø16 na Ø12 vpravo Ø18 na Ø12



Obr. 9. Skúšobné vzorky po roztrhnutí Ø14 a Ø12

1.3 Namerané a vypočítané hodnoty z ťahovej skúšky

Pred vykonaním ťahovej skúšky boli na vzorkách vyznačené dĺžky meranej časti drieku na zistenie predĺženia drieku vzorky do roztrhnutia ΔL_R po vykonaní skúšky. Po upnutí a roztrhnutí vzorky sa z diagramu určilo predĺženie do roztrhnutia a určila sila na medzi klzu $F_{p0,2}$ a sila na pevnosti v ťahu F_m na výpočet ťažnosti A , medze klzu $R_{p0,2}$ a pevnosti v ťahu R_m .

Namerané a vypočítané hodnoty získané z ťahových skúšok sú uvedené v tab. 12 až tab. 17.

Poznámka: D_o - vonkajší priemer rúry pred ťahaním, D - vonkajší priemer rúry po ťahaní, L_o - dĺžka meranej časti drieku, S_o - počiatočný prierez, $F_{Rp0,2}$ - sila na medzi klzu, F_{Rm} - sila na pevnosti v ťahu, ΔL_R - predĺženie drieku vzorky do roztrhnutia, A - ťažnosť, $R_{p0,2}$ - medza klzu, R_m - pevnosť v ťahu.

Tab. 12. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru pred ťahaním z priemeru Ø14 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	13,983	95	41,220	11360	17080	24,0	25,3	275,6	414,4
2	13,982	95	41,498	12240	17000	23,8	25,1	294,9	409,7

Tab. 13. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru po ťahaní z priemeru Ø14 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	12,008	95	35,679	14840	17720	9,8	10,3	415,9	496,7
2	12,008	95	35,742	14800	17840	8,6	9,1	414,1	499,1

Tab. 14. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru pred ťahaním z priemeru Ø16 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	16,047	95	47,250	14000	19200	26,4	27,8	296,3	406,3
2	16,051	95	47,350	13920	19360	26,0	27,4	294,0	408,9

Tab. 15. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru po ťahaní z priemeru Ø16 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	12,007	95	35,988	15640	18880	9,1	9,6	434,6	524,6
2	12,008	95	36,022	16000	19360	9,2	9,7	444,2	537,4

Tab. 16. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru pred ťahaním z priemeru Ø18 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	17,991	95	54,207	15320	21280	29,2	30,7	282,6	392,6
2	17,988	95	54,197	15560	22000	28,5	30,0	287,1	405,9

Tab. 17. Namerané hodnoty a vypočítané hodnoty pre rúru po ťahaní z priemeru Ø18 na priemer Ø12

Číslo rúry	D_o [mm]	L_o [mm]	S_o [mm ²]	$F_{p0,2}$ [N]	F_m [N]	ΔL_R [mm]	Ťažnosť A [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]
1	12,007	95	36,501	17240	20640	8,1	8,5	472,3	565,5
2	12,008	95	36,753	17120	20960	7,8	8,2	465,8	570,3

ZÁVER

Pri výrobe bezšvových rúr ťahaním cez prievlak musí byť proces ťahania riadený tak aby za prievlakom už nedochádzalo k nežiaducej plastickej deformácii ťahanej rúry. Preto je vonkajší priemer rúry daný prakticky priemerom prievlaku. Pri experimentálnom ťahaní ani v jednom prípade nedošlo k zmenšeniu vonkajšieho priemeru rúry pod konečný priemer 12 mm a priemer pohyboval sa v rozmedzí 12,007 až 12,008 mm. Skutočnosť, že neprišlo k nežiaducej deformácii za prievlakom potvrdili aj ťahové napätia ktoré ani pri ťahaní z Ø18 mm na Ø12 mm neprekročili namerané hodnoty medze klzu zistené z ťahovej skúšky po ťahaní. Pri prievlačnom ťahaní bez vnútorného tŕňa však v závislosti od veľkosti redukcie resp. pretvorenia môže dochádzať k zmene hrúbky steny. Tolerancia hrúbky steny sa štandardne pohybuje v rozmedzí $\pm 10\%$ z nominálnej hrúbky steny. V niektorých prípadoch sa pri presných rúrach vyžaduje prísnejšia tolerancia $\pm 7\%$ z nominálnej hrúbky steny. Pri experimentálnom ťahaní dochádzalo vo všetkých prípadoch k zväčšeniu hrúbky steny rúry. Najväčší nárast hrúbky nastal pri ťahaní z Ø18 mm na Ø12 mm a to maximálne o 5,21 % oproti hrúbke nameranej pred ťahaním. Maximálny nárast hrúbky steny rúry oproti nominálnej hodnote 1 mm predstavoval 6,95 % čo spĺňalo aj prísnejšiu normu. Na základe týchto výsledkov je možné optimalizovať počet ťahov pri výrobe daného typorozmeru rúry a ušetriť jeden ťah. Na základe realizácie ťahových skúšok pred a po ťahaní bol vyhodnotený aj nárast charakteristík pevnosti a to medze klzu a pevnosti v ťahu. Pri ťahaní z Ø18 mm na Ø12 mm tento nárast v prípade medze klzu predstavoval minimálne 78,7 MPa a v prípade pevnosti v ťahu hodnotu minimálne 159,6 MPa.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-18-0418.

Článok vznikol s podporou grantovej úlohy KEGA 026STU-4/2023.

LITERATÚRA

[1] BÍLIK, J. - KAPUSTOVÁ, M. - RIDZOŇ, M. (2015): *Teória tvárnenia*. Trnava: AlumniPress, ISBN 978-80-8096-215-9

[2] PERNIS. R. (2007): *Teória tvárnenia kovov*. Trenčín. ISBN 978-80-8075-244-6.

[3] MOJŽIŠ, M. (2018): *Výskum a optimalizácia technológie ťahania presných bezšvových rúr*. Dizertačná práca. Trnava: MTF STU, 133 s.

[4] BÍLIK, J., MARTINKOVIČ, M., KAPUSTOVÁ, M. - NECPAL, M. - SOBOTA, R. - MOJŽIŠ, M. - PARILÁK, Ľ. - RIDZOŇ, M. (2018): *Teoreticko-technologické aspekty ťahania rúr*. Podbrezová: Odborná konferencia ŽP VVC, Tále. ISBN 978-80-973141-0-1

[5] KUMAR MISHRA, G. - SINGH, P. (2015): *Simulation of Seamless Tube Cold Drawing Process using Finite Element Analysis*. Journal for Scientific Research & Development, 3, pp. 1286-1291

[6] KARNEZIS, P. - FARRUGIA, D.C.J. (1998): *Study of cold tube drawing by finite-element modelling*. Journal of Material Processing Technology, 80-81, pp. 690-694.

[7] BELLA, P. - BUČEK, P. - RIDZOŇ, M. - MOJŽIŠ, M. - PARILÁK, Ľ. (2016): *Influence of die geometry on drawing force in cold drawing of steel tubes using numerical simulation*. Key Engineering Materials, 716, pp. 708-712.

[8] PALENGAT, M. - GUIRAUD, O. - MILLET, C. - CHAGNON, G. - FAVIER, D. (2007): *Tube Drawing Process Modelling By A Finite Element Analysis*. In: Materials & Processes for Medical Devices Conference. United States, Palm Desert, CA, pp. 65-72.

[9] MOJŽIŠ, M. - RIDZOŇ, M. - BÍLIK, J. - PARILÁK, Ľ. (2016): *The change of mechanical properties of material using various reductions by cold-drawn precision seamless tubes*. In *Hutnik-Wiadomości Hutnicze*. Vol. 83, iss. 8, s. 360-362. ISSN 1230-3534

[10] RIDZOŇ, M. - MOJŽIŠ, M. - BÍLIK, J. - PARILÁK, Ľ. (2015): *Analysis of deformation in precision seamless tubes during cold drawing*. In *Hutnik-Wiadomości Hutnicze*. Roč. 82, nr. 9, s. 638-641. ISSN 1230-3534. V databáze: DOI: DOI:10.15199/24.2015.9.12.