

Návrh metodiky zpracování zakázky pro ocelovou konstrukci

Matouš Machka¹
Jiří Suchomel²

¹ Ústav řízení a ekonomiky podniku, ČVUT Fakulta strojní; Karlovo náměstí 13, Praha 2, 121 35; matous.machka@email.cz

² Společnost Jeti a.s.

Grant: ČVUT č. SGS20/163/OHK2/3T/12

Název grantu: Uplatnění systémů řízení, modelování a určování nákladů celoživotního cyklu výrobku

Oborové zaměření: JR - Ostatní strojírenství

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

Abstrakt Článek se zabývá návrhem metodiky na zpracování zakázky ocelové konstrukce pro český střední strojírenský podnik. Navržená metodika formuluje zakázku ve třech rozborech: konstrukčním, technologickém a ekonomickém. Hlavním cílem této publikace je vytvořit výrobní strukturní model pro kalkulaci nákladů na jednotlivé skupiny součástí a podsestav ocelové konstrukce. Navržený postup může být aplikován i v jiných středních podnicích zabývajících se výrobou a montáží ocelových konstrukcí.

Klíčová slova Strukturní analýza, řízení nákladů, strojírenská výroba, ocelová konstrukce

1. ÚVOD

Cílem článku je výpočet nákladů na základní skupiny součástí a podsestav ocelové konstrukce za pomoci strukturních bilancí. Zakázková výroba a montáž ocelových konstrukcí spadá do hlavní podnikové činnosti společnosti Jeti, a. s., jejíž podniková činnost byla podrobně popsána v článku [4]. Práce je rozdělena do tří částí. První část je zaměřena na konstrukční rozbor zakázky. V této části bude detailně rozebrána výkresová dokumentace. Cílem je zařadit součásti a podsestavy do skupin na technologicko-materiálním základu. Druhá kapitola se věnuje tvorbě výrobních postupů daných skupin součástí a podsestav. Pozornost je také zaměřena na kooperaci jednotlivých výrobních hal, kde bude probíhat výroba. Podnik totiž disponuje pěti výrobními halami s moderním vybavením. Ve třetí kapitole je proveden ekonomický rozbor zakázky včetně analýzy prvotních nákladů a aplikace strukturní bilance pro kalkulaci průměrných nákladů na součásti a podsestavy ocelové konstrukce. Článek vznikl v rámci studentské grantové soutěže ČVUT.

2. KONSTRUKČNÍ ROZBOR ZAKÁZKY

V tomto kroku je nutné provést podrobný rozbor sestavy na jednotlivé podsestavy a dílčí součásti. Za hlavní zdroj informací považujeme výkresovou dokumentaci, která je součástí technické zprávy. Sestavu ocelové konstrukce tvoří několik podsestav, které rozdělujeme do šesti skupin na základě technického účelu v dané sestavě a konstrukční podobnosti. Podsestavy náležící do dané skupiny se od sebe navzájem odlišují například v počtu součástí,

svými rozměry nebo umístěním v dané sestavě. Proto musí mít každá podsestava svůj vlastní výkres sestavy doplněný kusovníkem. Podrobné rozdělení podsestav do skupin je uvedeno v tabulce 1, kde počet výkresů zároveň udává počet podsestav v konkrétní skupině.

Tabulka 1. Rozbor výkresové dokumentace. Zdroj: [vlastní]

Hlavní sestava	Podsestavy		
	Označení	Název skupiny	Počet výkresů
ocelová konstrukce	P1	nosné sloupy	12
	P2	středové svařence	2
	P3	středové kříže	2
	P4	zavětrování	12
	P5	nosné profily HEA 220	15
	P6	nosné profily IPE 200	10

Tabulka 2. Vyjasnění vztahů mezi skupinami součástí a podsestavami. Zdroj: [vlastní]

Skupiny součástí		Podsestavy					
Polotovary	Materiál	P1	P2	P3	P4	P5	P6
plech	S235	x	x	x	x	x	x
	S355	x	x	x		x	
HEB 220	S235	x					
HEA 220	S235	x	x	x		x	
IPE 200	S235		x				x
TR 4HR 150×150×4	S235	x					
TR 4HR 80×80×5	S235				x		

Po důkladném prostudování kusovníků jednotlivých podsestav zjistíme, že mnoho součástí je tvořeno ze stejných polotovarů. Součásti vyráběné ze stejných polotovarů jsou si z konstrukčního hlediska podobné a v rámci hlavní sestavy splňují stejný účel. Proto součásti opět rozdělíme do skupin podle příslušných polotovarů a materiálů, ze kterých byly zhotoveny. Takové rozdělení je důležité z ekonomického hlediska, protože nákup polotovarů pokrývá většinu nákladů na přímý materiál. Skupiny součástí dělené podle použitých

Tabulka 3. Rozpis základních typů součástí. Zdroj: [vlastní]

Polotovár	Materiál	Typ součásti	Výrobní technologie	Výrobní hala	Počet kusů
plechy běžných jakostí	S355	čelní plech konzoly	laserové řezání kovu	H3	76
	S235	držák zavětrování	laserové řezání kovu, ohraňování (vybrané kusy)	H3, H2	143
		patka sloupu	laserové řezání kovu	H3	
		uchycení zavětrování	laserové řezání kovu, ohraňování (vybrané kusy)	H3, H2	
		uchycení nosných profilů	laserové řezání kovu	H3	
		výztuha	laserové řezání kovu	H3	2
HEB 220	S235	sloup	řezání pomocí pily	H3	12
HEA 220	S235	hlavní nosník			64
IPE 200	S235	vedlejší nosník			20
TR 4HR 150×150×4	S235	šikmý nosník			7
TR 4HR 80×80×5	S235	vyztužení zavětrování			12
L 60×60×6	S235	vyztužení zavětrování			36

polotovarů a materiálu ukazuje tabulka 2. Symbol x vyjadřuje zastoupení dané skupiny součástí v konkrétní podsestavě a zároveň ji pomáhá charakterizovat.

Nesmíme však zapomenout na součásti, které nespádají do žádné skupiny podstav, ale jsou potřebné pro sestavení samotné ocelové konstrukce. V našem případě se jedná o součásti zhotovené z polotovarů: profil L 60×60×6 (S235), nosné profily IPE 200.

3. TECHNOLOGICKÝ ROZBOR ZAKÁZKY

Hlavním účelem tohoto rozboru je vytvořit vhodné podklady pro zahájení výrobní činnosti podniku. Mezi tyto podklady řadíme: výrobní postupy pro požadované součásti a podstav, plán finální montáže hlavní sestavy, analýzu vztahů mezi jednotlivými výrobními útvary atd. Dalším důležitým výstupem technologického rozboru je vyjasnění vztahů mezi hlavní a vedlejší výrobní činností podniku. Tyto fáze podrobněji popisují následující podkapitoly.

3.1 První fáze technologického rozboru

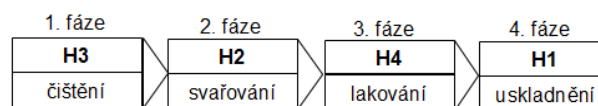
V první fázi technologického rozboru zakázky se zaměříme na přípravu výroby samotných součástí potřebných pro výrobu podstav a samotné ocelové konstrukce.

Důležitý vstup pro nákup polotovarů a tvorby výrobních postupů představuje tabulka 3. Jednotlivé typy součástí se na základě rozměrových a technologických parametrů rozdělují na další podtypy, které však v tabulce 3 nejsou uvedeny. Pro přesnější rozbor by bylo nutné v tabulce 3 tyto podtypy součástí uvést a to z důvodu výpočtu potřebných kusů polotovarů pro nákup a výrobu. Společný počet kusů u plechů z materiálu S235 uvádíme z technologického důvodu, protože tyto součásti jsou vyráběny na CNC laserech, bez větších rozměrových a tvarových rozdílů. To znamená, že z jednoho polotovaru může být vyřezáno i několik typů součástí prakticky se stejnými náklady na jeden kus.

Z tabulky 3 lze usoudit, že největší výrobní zatížení připadne na halu H3 a konkrétně na stroje: CNC laser a NC pilu na kov. Do počáteční výroby se zapojí i hala H2 z důvodu ohraňování menšího množství plechových součástí.

3.2 Druhá fáze technologického rozboru

Ve druhé fázi se zaměříme na výrobu podstav. Všechny podstavby představují svařence jednotlivých součástí a pro jejich realizaci bude použito obdobných výrobních postupů. To znamená, že všechny podstavby včetně volných dílů projdou stejnými výrobními fázemi, které jsou znázorněny na obrázku 1. V první fázi se vyrobené součásti očistí, a to zejména tam, kde bude prováděno svařování. V druhé fázi se očištěné díly svaří tak, aby vytvořily příslušnou podstavbu. Ve třetí fázi proběhne lakování podstav a v poslední čtvrté fázi se nalakované podstavby uskladní ve skladovacích prostorách určených pro hotové výrobky.



Obr. 1. Schématické znázornění fází výroby podstav v daných výrobních halách. Zdroj: [vlastní]

Důležitým kritériem pro plynulost celého výrobního procesu je logický plán pořadí výroby jednotlivých součástí. Výrobní management musí vytvořit takový plán, aby ve druhé fázi měl tým svařeců k dispozici všechny součásti pro svaření konkrétní podstavby. K uskutečnění tohoto plánu využijeme tabulku 1, která poskytuje přehled o konstrukční náročnosti jednotlivých podstav. Dalším důležitým informačním zdrojem je samozřejmě tabulka 2, z níž lze vyčíst technologické požadavky pro výrobu jednotlivých součástek.

3.3 Vyjasnění vztahů mezi hlavní a vedlejší výrobní činností podniku

Výroba ocelových konstrukcí spadá do hlavní výrobní činnosti podniku dle [1, 4]. Z tabulky 2 a obrázku 1 lze přesně provést výpis zařízení potřebných pro výrobu: NC pila pro řezání kovu, CNC laser, CNC stroj pro ohraňování plechů a další zařízení a komory určené pro čištění, svaření a lakování kovů. Podnik disponuje dalším moderním strojovým vybavením, jako jsou CNC stroje určené pro třískové obrábění, konkrétně pro soustružení a frézování. Základním hospodářským předpokladem těchto strojů je nepřetržitý výrobní provoz. Tohoto cíle lze dosáhnout přijetím dalších méně náročných

		Vstupy															Ocelová konstrukce	Σ
		S355	S235	Výztuha	HEB 220	HEA 220	IPE 200	TR 4HR 150x150x4	TR 4HR 80x80x5	L 60x60x6	P1	P2	P3	P4	P5	P6		
Výstupy	S235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35	4	8	0	29	0	0	76
	S235	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49	4	1	32	37	20	0	143
	Výztuha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	HEB 220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
	HEA 220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	10	6	0	15	0	0	64
	IPE 200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	10	8	20
	TR 4HR 150x150x4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	7
	TR 4HR 80x80x5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12
	L 60x60x6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	36
	P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
	P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
	P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
	P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15
	P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
Prvotní náklady		Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀	Z ₁₁	Z ₁₂	Z ₁₃	Z ₁₄	Z ₁₅		

Obr. 2. Upravený kusovník součástí a podsestav, rozšířený o prvotní náklady. Zdroj: [vlastní]

zakázek týkajících se zejména výroby rotačních součástí a přírub. Výroba těchto součástí nebude zasahovat do činností hlavní výroby. Je ale třeba připomenout, že výrobní hala H3 disponuje dvěma NC pilami pro řezání kovu. Velké ocelové profily budou zpracovávány na výkonnější NC pile, zatímco na výrobu malých polotovárů určených pro soustružení postačí méně výkonná NC pila.

4. EKONOMICKÝ ROZBOR ZAKÁZKY

V této sekci se zaměříme na využití metod strukturního modelování pro kalkulaci nákladů na skupiny součástí a podsestav dané ocelové konstrukce. V rámci ekonomického rozboru je nutné provést analýzu nákladů vztahující se k hlavní výrobní činnosti. Ta je popsána v následujících podkapitolách.

Základní podklad pro konstrukci výrobního strukturního modelu poskytuje upravený kusovník na obrázku 2, kde je vyjádřena závislost v počtech kusů mezi vstupními jednotkami, které tvoří hlavní sestavu. Tento upravený kusovník byl vytvořen na základě konstrukčního a technologického rozboru.

4.1 Počáteční analýza nákladů hlavní výrobní činnosti

Tato analýza vyžaduje zvolit správný postup výpočtu a rozdělit prvotní náklady k příslušným výrobním výkonům v doplněném kusovníku.

Opět je zapotřebí počítat s problematikou rozdělení režijních nákladů na jednotlivé výkony hlavní výroby.

Z předchozí kapitoly víme, že se technologický rozbor skládá ze dvou fází. V první fázi se jedná o výrobu součástí z plechů a profilů: HEB 220, HEA 220, IPE 200, TR 4HR a L, která z větší části probíhá ve výrobní hale H3. K výpočtu nákladů na tyto výkony postačí tradiční metoda přírážkové kalkulace vztahovaná k výrobním halám H3 a H4, kde probíhá ohraňování menšího počtu plechových součástí z materiálu S235. Do této fáze kalkulace zařadíme i proces čištění kovových polotovárů, který se realizuje v hale H3 a týká se samotných součástí, nikoliv podsestav.

Druhá fáze technologického postupu je charakterizovaná sekvenčním předáváním rozpracované výroby. V našem případě se jedná o tyto fáze: svařování, lakování a uskladnění (viz obrázek 1). Zde se uplatní aplikace metody čisté fázové kalkulace pro každou podsestavu. Jako integrační nástroj mezi kalkulačním a druhovým členěním nákladů zvolíme převodní matice [3], a sice s

požadavkem, aby každá součást a podsestava disponovala vlastní převodní maticí.

4.2 Výpočet nákladů na součásti a podsestavy s využitím strukturní bilance

Veškeré podklady k provedení výpočtu získáme z upraveného kusovníku na obrázku 1. Nejprve nadefinujeme první kvadrant strukturního modelu. Matici technických koeficientů, která tvoří první kvadrant, získáme tak, že prvky části tabulky, která je vymezená vstupy a výstupy a tvoří čtvercovou matici $X_{15 \times 15}$ vydělíme prvky sloupcové matice sumy $\widetilde{X}_{15}$ v tabulce [3, 5] označené symbolem Σ . Matice technických koeficientů je definována vztahem (1):

$$A_{15 \times 15} = [a_{ij}] = \left[\frac{x_{ij}}{\widetilde{x}_i} \right] \quad (1)$$

Symbole Z_i , kde index $i = 1, 2 \dots 15$, představují sumace prvotních nákladů rozdělených na jednotlivé výkony. Tyto skalární veličiny dosadíme do sloupcové matice prvotních nákladů W_{15} viz (2).

$$W_{15}^T = [Z_1, Z_2 \dots Z_{15}]^T \quad (2)$$

Prvky sloupcové matice prvotních nákladů lze vyjádřit také ve tvaru (3).

$$W_{15} = [c_i q_i] \quad (3)$$

kde $c_i \dots$ náklady na jednotlivé výrobky (součásti a podsestavy)
 $q_i \dots$ počet jednotlivých výrobků (součástí a podsestav)

Pro hlavní výpočet zvolíme třetí úlohu strukturního modelování (4) [3].

$$C_{15} = ([E_{15 \times 15} - A_{15 \times 15}]^{-1})^T \cdot W_{15} \quad (4)$$

kde $E_{15 \times 15} \dots$ jednotková matice

Na závěr spočítáme průměrné náklady na součásti a podsestavy (5) [3].

$$P_{15} = \left[\frac{c_i}{\widetilde{x}_i} \right] \quad (5)$$

kde $P_{15} \dots$ sloupcová matice průměrných nákladů

5. ZÁVĚR

Hlavním výstupem této publikace je upravený kusovník zobrazený na obrázku 2. Ten poskytuje vstupní data pro aplikaci strukturní bilance pro daný typ ocelové konstrukce. Metoda strukturního modelování byla zvolena z důvodu umožnění práce s velkým množstvím dat a také, že pro výpočet využívá mezivýrobních vztahů. Navržená metodika rozboru zakázky a tvorba upraveného kusovníku v tomto článku může být využita při zpracování dalších zakázek týkajících se ocelových konstrukcí v našem podniku, ale i v dalších středních podnicích. A to hlavně díky konstrukční podobnosti jednotlivých ocelových konstrukcí vyráběných společností Jetti, a. s. Tato práce může být nadále doplňována především: v přidání dalších skupin součástí a podsestav do upraveného kusovníku např. zábradlí, aplikací moderních kalkulačních metod např. ABC v ekonomickém rozboru zakázky, uvážením rizika vzniku zmetků během výroby, zahrnutí montážního rozboru samotné ocelové konstrukce, který také tvoří obsah samotné zakázky atd. Tato veškerá rozšíření pomohou zpřesnit výslednou kalkulaci průměrných nákladů na jednotlivé součásti a podsestavy ocelové konstrukce.

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS20/163/OHK2/3T/12.

Zdroje

1. Jetti, a. s. [online]. [cit. 2020-11-20]. Dostupné z: <https://www.jetti.cz>
2. LEONTIEFF, Wassily W. *The Structure of the American Economy, 1919-1939: Empirical Application of Equilibrium Analysis*. New York: Oxford University Press, 1951.
3. MACÍK, Karel a Jiří VYSUŠIL. *Vnitropodniková ekonomika*. Praha: ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02425-3.
4. MACHKA, Matouš a Jiří SUCHOMEL. Životní cyklus výrobku z pohledu výrobní perspektivy středního strojírenského podniku. In: *Integrované inženýrství v řízení průmyslových podniků*. Praha: ČVUT, 2020, s. 60-66. ISBN 978-80-01-06775-8.
5. MILLER, Ronald E. a Peter D. BLAIR. *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*. 2nd Edition. New York: Cambridge University Press, 2009. ISBN 9780521517133.
6. VYSUŠIL, Jiří. *Analýza nákladových druhů a strukturní modely ve strojírenství*. Praha: b. t., 1963.