



ROZVOJ ŠTRUKTÚR MONTÁŽNYCH SYSTÉMOV

STRUCTURE DEVELOPMENT IN ASSEMBLY SYSTEMS

Jozef KOVÁČ

Abstrakt

Montážne systémy vo všeobecnosti pozostávajú z rozsiahlej množiny výstavbových prvkov, jednotiek a podsystémov, ktoré sú viazané množinou zložitých funkčných vzťahov, väzieb a vlastností. Využívanie systémových prístupov v projektovaní montážnych systémov vedie k ich dekompozícii na parciálne podsystémy, jednotky a prvky, ktoré je možné analyzovať z hľadiska ich vlastností, vzťahov, väzieb a funkčného správania sa v montážnom procese.

Kľúčové slová: Štruktúry, montážne procesy, montážne systémy, výstavbové prvky

Prvky sú najmenšími stavebnými jednotkami, z ktorých sa profiluje montážne pracovisko. Montážne pracoviská sú tvorené montážnymi zariadeniami, prostriedkami operačnej manipulácie, prostriedkami vstupu a výstupu objektov montáže, pomocnými zariadeniami a prostriedkami riadenia. Spojené sú materiálovými, informačnými a funkčnými väzbami. Montážne pracoviská zabezpečujú ucelený a uzavretý čiastkový montážny proces. Charakter tohto procesu pritom môže byť daný jednou a viacerými montážnymi metódami. Určujúce pre montážne pracoviská je, že rozhodovacie činnosti v nich prebiehajú pri riadení montážneho procesu a operačnej manipulácie.

Pre montážne pracoviská, ktoré tvoria základnú úroveň hierarchickej štrukturalizácie, je rozhodujúcim faktorom skutočnosť, že prevládajúca väčšina väzieb materiálového a často aj informačného toku sa uzatvára cez obslužný prostriedok (montážny robot, manipulačné zariadenie, operátor). Symbolicky je možno túto skutočnosť vyjadriť vzťahom :

$$\text{OP} \leftrightarrow \langle \{ \text{M}_i \}, \{ \text{V V}_i \}, \{ \text{P}_i \} \rangle,$$

kde:

OP - obslužný prostriedok

M_i - montážne zariadenie

V V_i - vstupné a výstupné zariadenie

P_i - pomocné zariadenie

↔ - symbolické vyjadrenie materiálovej a informačnej komunikácie

$$\text{OP} \leftrightarrow \langle \{ \text{M}_i \}, \{ \text{V V}_i \}, \{ \text{P}_i \} \rangle,$$

Variantnosť štruktúr základných montážnych pracovísk realizovaných v rôznych montážnych procesoch vyjadrená vo formalizovanom vyjadrení nie je široká.



Najčastejšie využívané varianty štruktúr montážnych pracovísk sa dajú špecifikovať nasledovnými symbolickými modelmi :

$$\begin{aligned} \{V V_i\} &\leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} OP \leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} \{P_i\} \leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} \{M_i\} \\ \{V V_i\} &\leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} \{P_i\} \leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} OP \leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} \{M_i\}, \\ \{V V_i\} &\leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} OP \leftrightarrow \begin{matrix} i \\ m \end{matrix} \{P_i\} \end{aligned}$$

Rozvoj štruktúr nadobúda prioritu až pri riešení komplexnejších montážnych systémov. V nich dochádza k integrácii a zoskupovaniu základných druhov montážnych pracovísk. Integrácia a zoskupovanie sa realizuje formou prepájania montážnych pracovísk systémom medzioperačnej dopravy a systému riadenia. Symbolicky je možné základnú typovú štruktúru zložitejšieho montážneho systému vyjadriť vzťahom:

$$MS = \langle \{V V_i\} \leftrightarrow OP \leftrightarrow \{M_i\} \leftrightarrow \{P_i\}, \dots, \{V V_{in}\} \leftrightarrow OP \leftrightarrow \{M_{in}\} \leftrightarrow \{P_{in}\} \rangle$$

Pri rozvoji štruktúr sa vychádza z teórie systémov a jej metodologického nástroja systémového prístupu. Rozvoj štruktúr montážnych systémov je založený na využívaní systémovej syntézy. Systémová syntéza je podstatne náročnejšia ako systémová analýza, ale prináša vyššie efekty.

Základným pojmom, s ktorým operuje syntéza, je zlučovanie štruktúr. Pod zlučovaním sa rozumie syntéza (operácie), ktorej výsledkom je získavanie rovnovážnej metaštruktúry z konečného počtu rovnovážnych štruktúr. Ak sa táto teória aplikuje na zlučovanie základných štruktúr montážnych pracovísk, potom zlučovanie ako operácia spočíva v pripojení výstupov jednej zo zlučovaných štruktúr k vstupom druhej tak, aby bola zachovaná rovnováha montážneho systému. Zlučovanie musí byť založená na operáciách, ktoré zvažujú a zovšeobecňujú systémove vzťahy. Metodologickým nástrojom je zostavenie matice prepojení (prechodov) medzi zlučujúcimi sa štruktúrami montážnych pracovísk.

Systémová syntéza štruktúr montážnych systémov z hľadiska funkčného a priestorového usporiadaniu vedie ku klasifikácii, ktorá vychádza z nasledovných predpokladov:

Nech je daný priestor pre usporiadanie prvkov a jednotiek montážneho systému, ako súčin elementárnych priestorov :

$$Z = Z_1 \times Z_2 \times \dots \times Z_i \times \dots \times Z_{m_i}$$

$$\text{kde: } Z_i = \{ Z_{1i}, \dots, Z_{m_i} \}$$

m_i - počet subelementárnych priestorov



Ďalej nech sú dané kortéže vektorov vnútorných stavov montážneho systému popisujúce vzťahy medzi vektormi funkcií (montážnych, manipulačných a riadiacich), vykonávaných v elementárnom alebo subelementárnom priestore systému v ľubovoľnom časovom okamžiku:

$$A(s, t) = \langle a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni}, \dots \rangle, \quad a(s, t) \neq A(s, t)$$

$$B(s, t) = \langle b_{1i}, b_{2i}, \dots, b_{ni}, \dots \rangle, \quad b(s, t) \neq B(s, t)$$

Potom je možné odporučiť nasledovné princípy pre riešenie:

1. Technologický princíp založený na predstave, že v každom elementárnom priestore montážneho systému sa realizujú rovnaké technologické funkcie. Takýmito sú, napr. operácie vykonávané skrutkovacími jednotkami, resp. operácie vykonávané nitovaním, zvarianím a pod. Znamená to, že v každom elementárnom priestore realizačné prvky plnia rovnaké funkcie. V symbolickom vyjadrení :

$$Z_1 \rightarrow A(s, t) = \langle a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni} \rangle,$$

$$Z_2 \rightarrow A(s, t) = \langle a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni} \rangle,$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$Z_m \rightarrow A(s, t) = \langle a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni} \rangle,$$

Množina montovaných uzlov, skupín a celkov, ktoré sa realizujú v príslušnom priestore, je pestrá a je vybraná z mnohých klasifikovaných skupín.

2. Predmetný princíp, ktorý je založený na tom, že každý postupne za sebou nasledujúci elementárny priestor má priradené funkcie v poradí sekvencií montážneho postupu zostaveného na montáž jedného typu výrobku. V symbolickom vyjadrení :

$$Z \rightarrow A(s, t) + B(s, t) + C(s, t) + \dots$$

$$\text{Kde: } Z_1 \rightarrow A(s, t) = \langle a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni}, \dots \rangle, \quad a(s, t) \neq A(s, t)$$

$$Z_2 \rightarrow B(s, t) = \langle b_{1i}, b_{2i}, \dots, b_{ni}, \dots \rangle, \quad b(s, t) \neq B(s, t)$$

3. Modulárny princíp predstavuje vlastne predmetové usporiadanie a je založený na tom, že v každom elementárnom priestore je koncentrovaný rad technologických funkcií rovnakého druhu. Takéto usporiadanie je vhodné pre montáž viacerých druhov výrobkov. V symbolickom vyjadrení:

$$Z_1 \rightarrow A(s, t) + B(s, t) + C(s, t)$$

$$Z_2 \rightarrow A(s, t) + B(s, t) + C(s, t)$$

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$Z_m \rightarrow A(s, t) + B(s, t) + C(s, t)$$



3. Bunkový princíp. Bunka je vytvorená zo skupiny realizačných prvkov (realizujúcich skupinový postup), pričom každá bunka predstavuje samostatné montážne pracovisko. V symbolickom vyjadrení:

$$Z_1 \rightarrow A(s, t) + B(s, t) + C(s, t)$$

$$\dot{Z}_m \rightarrow \dot{A}(s, t) + \dot{B}(s, t) + \dot{C}(s, t)$$

Typickým príkladom týchto riešení sú montážne centrá.

V montážnom procese prvotným je tok materiálu pred tokom informácií. Zložitosť montážnych systémov závisí od množstva výstavbových prvkov, jednotiek a väzieb v zoskupení. Základným cieľom je znižovanie entropie a upevňovanie organizovanosti.

Technologický princíp je charakterizovaný rovnosťou a nízkym počtom vykonávaných montážnych operácií na každom výrobku, rovnosťou a nízkym počtom súboru prvkov a malou rozdielnosťou a diskretnosťou väzieb medzi nimi. Technologický princíp má zložitú časovú organizáciu a značný rozdiel medzi priestorovou a časovou organizáciou. V čistej forme sa v montáži vyskytuje len výnimočne.

Predmetové usporiadanie má menej zložitú vonkajšiu väzbu, väčší počet vnútorných väzieb medzi svojimi prvkami a v dôsledku toho väčšiu stabilitu. Má jednoduchšiu časovú organizáciu. Typickým príkladom je montážna linka.

Modulárne usporiadanie má analogické väzbové vlastnosti ako predmetové.

Bunkové usporiadanie si zachováva výhody technologického usporiadania vo vonkajších vzťahoch a výhody predmetového usporiadania vo vnútorných vzťahoch.

Montážne procesy realizované v montážnych systémoch môžu byť realizované :

- Sériovo , pričom montáž iným spôsobom neumožňuje konštrukcia montovaného výrobku. Pri tomto spôsobe montáže, každá nasledujúca operácia môže byť realizovaná bezprostredne po ukončení predchádzajúcej, prípadne po nejakom čase. Tento spôsob montáže je charakterizovaný jednonástrojovými pracovnými jednotkami.
- Paralelne, pričom montáž je charakterizovaná tým, že všetky montážne operácie, môžu byť realizované súčasne. Pri tomto spôsobe v závislosti od charakteru práce môže byť začiatok a koniec jednotlivých operácií súčasný alebo postupný. Tento spôsob montáže je charakterizovaný možnosťou použitia viacnástrojových pracovných jednotiek .
- Sériovo - paralelne, pričom montáž je kombináciou predchádzajúcich dvoch spôsobov. Tento spôsob realizácie montážnych operácií je charakteristický aj pre úseky a úkony .

Z pohľadu stavby montážnych systémov je užitočná dekompozícia vstupov **X** a výstupov **Y**. Vstupy do montážnych systémov predstavujú usporiadané množiny :

- základných súčiastok $S_Z = \{ S_{Z1}, S_{Z2}, \dots, S_{Zi} \}$,
- spojovacích súčiastok $S_S = \{ S_{S1}, S_{S2}, \dots, S_{Si} \}$,
- funkčných súčiastok $S_F = \{ S_{F1}, S_{F2}, \dots, S_{Fi} \}$,
- spojovacích médií $M_M = \{ M_{M1}, M_{M2}, \dots, M_{Mi} \}$,



- montážnych celkov nižšieho stupňa, ktoré sú získavané zo špecializovaných výrobných (ložiská, elektronické uzly a pod.) $C_N = \{ C_{N1}, C_{N2}, \dots, C_{Ni} \}$,
- energií $E = \{ E_1, E_2, \dots, E_i \}$,
- informácií $I = \{ I_1, I_2, \dots, I_i \}$,

Kde : $i = (1, 2, \dots, a)$ počet parametrov jednotlivých vstupov.

Vstupy do montážneho systému v symbolickom vyjadrení sú vyjadrené ako :

$$X = \langle S_Z \cup S_S \cup S_F \cup M_M \cup C_N \cup E \cup I \rangle$$

Vstupy predstavujú časovo usporiadanú postupnosť materiálov, energií a informácií. Materiálne vstupy do montážneho systému sú výstupmi so systémov výroby súčiastok. Predstavujú široké spektrum súčiastok a v niektorých prípadoch montážnych celkov, ktoré do montážneho systému vstupujú podľa momentálnej skladby variantov výrobkov. Na základe množiny vstupných informácií je potrebné vyberať množinu vstupných objektov podľa určitej postupovej funkcie, ktorá určuje druh výstupu. Pôsobením zodpovedajúcej riadiacej intervencie dochádza k selekcii vstupov. Pre montáž konkrétneho druhu výrobku sa vyžadujú už redukované vstupy.

Výstupy z montážneho systému sú výsledkom funkčného pôsobenia na vstupy a predstavujú kvalitatívne (prezentovanú variantom výrobku) a kvantitatívne (vyjadrenú počtom výrobkov jedného variantu) usporiadanú množinu. Medzi vstupmi a výstupmi montážneho systému je závislosť : $X \gg YZ$ pohľadu projektovej činnosti je potrebné preto analyzovať štruktúru a parametre týchto vstupov, ktoré sa dynamicky menia a môžu byť variantné v závislosti na výstupe. Výstupy z montážneho systému predstavujú výsledok jeho pôsobenia. Znakom jeho možnosti je požiadavka maximalizovať kvalitatívne charakteristiky výstupov.

Rozmanitosť objektov montáže a základných metód, stupeň automatizácie, stupeň pružnosti, ako aj ďalšie ukazovatele ovplyvňujú relatívne vysokú početnosť štruktúr montážnych systémov. Táto je odvodená od spôsobov zoskupovania fyzických prvkov a jednotiek, ich priestorového usporiadania a spôsobov prepojenia materiálovou, informačnou a časovou väzbou. V projektovaní montážnych systémov sa aplikujú v podstate všetky základné typy štruktúr (lineárne, kruhové, mnohoväzbové, sieťové, hviezdicové, hierarchické a pod.) a ich kombinácie.

Výber optimálnej štruktúry pre konkrétne podmienky je mnohokriteriálny rozhodovací proces závislý od desiatok ukazovateľov a ich parametrov. Rozvoj projektových metodík je preto ovplyvňovaný aj formulovaním zákonitosti rozhodovacích procesov a optimalizácie systémových charakteristík a parametrov navrhovaných, resp. už realizovaných štruktúr montážnych systémov.

Pre hodnotenie a výber optimálnej štruktúry montážneho systému je možné využívať rôzne postupy a optimalizačné kritériálne funkcie (náklady, úroveň výrobnosti, pružnosti a pod.). Využívať je možné aj množinu parciálnych podsystémov hodnotenia, ktoré operujú so súbormi relatívnych ukazovateľov. Po ich vyčíslení je možné hodnotený montážny systém zaradiť do príslušných klasifikačných tried podľa jednotlivých ukazovateľov a na základe



zvolených priorit korigovať, resp. optimalizovať voľbu štruktúry. Parciálne podsystémy pre analýzu je možné voliť variantne z množiny:

$$I = \{ I_1, I_2, \dots, I_n \}$$

kde: I_1 - podsystém hodnotenie stupňa automatizácie prvkov štruktúry

I_2 - podsystém hodnotenia úrovne pružnosti štruktúry

I_3 - podsystém hodnotenia stupňa koncentrácie štruktúry

I_4 - podsystém hodnotenia časových väzieb prvkov štruktúry (výrobnosti)

I_5 - podsystém hodnotenia špecializácie štruktúry

I_6 - podsystém hodnotenia spoľahlivosti štruktúry

I_7 - podsystém hodnotenia štruktúry formou doplňujúcich ukazovateľov (priorita obsluhy zariadenia robotom, montážna a manipulačná stredná relatívna presnosť skupinového a montážneho postupu a pod.).

Pre jednotlivé prípady je možné niektorý z týchto podsystémov hodnotenia vypustiť, nahradiť ho iným, či doplniť o niektoré ďalšie. Vyplýva to z priorit daných optimalizačných kritérií pre jednotlivé riešenia.

Výpočet súboru ukazovateľov jednotlivých podsystémov sa realizuje podobne ako výpočet úrovne pružnosti, stupeň mechanizácie a automatizácie a pod., prípadne inými známymi metódami a aj odborným odhadom.

Príspevok bol riešený v rámci projektu 079TUKE-4/2013: Inovácia laboratórnych výučbových technológií v študijnom programe Priemyselné inžinierstvo

Použitá literatúra

- [1] Buda, J., Kováč, M.: Metodika projektovania výrobných procesov v strojárstve. Alfa Bratislava, 1985
- [2] Kováč, J., Svoboda, M., Líška, O.: Automatizovaná a pružná montáž. Viena Košice, 2000, ISBN 80-7099-504-1
- [3] Kováč, M., Kováč, J.: Inovačné projektovanie výrobných procesov a systémov. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. SJF TU v Košiciach, 2011, ISBN 978-80-553-0805-9
- [4] Lotter, B., Wiendahl, H., P.: Montage in der industriellen Produktion. Springer Berlin Heidelberg New York, 2006. ISBN 103-540-21413-5
- [5] Nof, S. Y., Wilhelm, W. E., Warnecke, H. J.: Industrial assembly. Chapman and Hall, London 1997, ISBN 0-412-55770-3
- [6] Svoboda, M., Kováč, J.: Štefánek, M.: Technológia montáže. ES VŠT Košice, 1988

Kontaktná adresa

prof. Ing. Jozef, Kováč, CSc.

Technická univerzita, Strojnícka fakulta

Katedra priemyselného inžinierstva a manažmentu

Němcovej 32, 042 00 Košice e-mail: Jozef.kovac@tuke.sk