

Doplňek ke kandidátské disertační práci

Analýsa robotisace montáže

autor: ing. Miloslav N o v á k

1.	Klasifikace průmyslových robotů	3
2.	Výkonný polohovací mechanismus	3
2.1.	Souřadné systémy průmyslových robotů	4
2.2.	Kinematika průmyslových robotů	6
2.2.1.	Základní vztahy	6
2.3.	Dynamické řešení mechanismů robotů	9
3.	Výstupní hlavice	10
3.1.	Úchopné hlavice	10
3.1.1.	Aktivní mechanické úchopné hlavice	11
3.1.2.	Konstrukce aktivních mechanických úchopných hlavic	12
3.2.	Systém výměny efektorů	13
4.	Pohony průmyslových robotů a jejich řízení	14
4.1.	Mechanické pohony	14
4.2.	Pneumatické pohony	14
4.3.	Hydraulické pohony	14
4.4.	Elektrické pohony	15
4.5.	Pohony montážních průmyslových robotů	15
4.6.	Řídící systémy	15
5.	Seznam použité literatury	17

1. Klasifikace průmyslových robotů.

Průmyslový robot je automatický stroj na vykonávání pohybových a řídicích funkcí technologického procesu, který lze snadno programovat. Průmyslový robot je složitý stroj, který je v podstatě tvořen třemi základními skupinami:

- Výkonný polohovací mechanismus
- Výstupní hlavice
- Řídicí systém a pohony

2. Výkonný polohovací mechanismus.

Koncepce výkonného mechanismu a jeho kinematika mohou být velice rozmanité a jsou odvozeny od účelu použití daného průmyslového robota.

Kinematická struktura charakterisuje pohyblivost i složení mechanického systému průmyslového robota a udává jeho schopnost splnit požadavky na manipulaci. Kinematická struktura určuje a ovlivňuje tvar a charakter pracovního i operačního prostoru. Je určena především počtem členů a uspořádáním a typem kinematických dvojic. Ve valné většině konstrukcí průmyslových robotů je kinematická struktura tvořena kombinací dvou typů kinematických dvojic

- rotační kinematická dvojice
- posuvná kinematická dvojice

Vzájemný pohyb těchto kinematických dvojic je určen jen jednou souřadnicí. Počet těchto nezávislých souřadnic v kinematické struktuře určuje pohyblivost mechanismu, je tak dán počet stupňů volnosti mechanismu.

U prakticky používaných mechanismů průmyslových robotů se pohybuje počet stupňů volnosti v rozsahu 3-6 stupňů. Kinematická struktura mechanismu musí především zabezpečit dosah úchopné hlavice do kteréhokoli místa pracovního prostoru. Je zřejmé, že v tomto případě postačuje mechanismus se 3mi stupni volnosti. Pokud však je potřeba zabezpečit v rámci pracovního prostoru potřebnou úhlovou orientaci součástí nebo nástroje, je nutné použít mechanismus nejméně

se 6ti stupni volnosti [1].

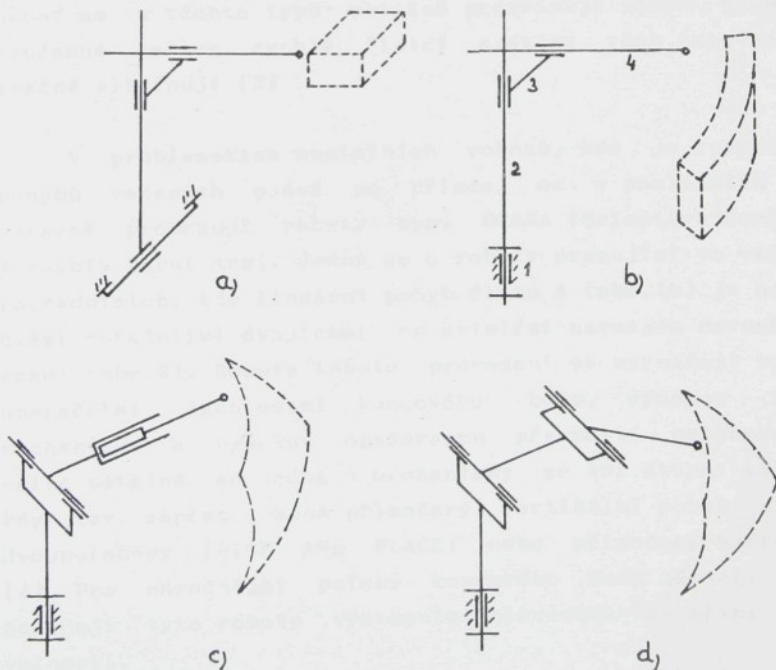
Pro různé technologické procesy lze použít průmyslové roboty s různými kinematickými strukturami. Jedním z kritérií je tvar pracovního prostoru.

2.1 Souřadné systémy průmyslových robotů.

Kinematická struktura mechanismů, v současné době používaných robotů, odpovídá těmto souřadnicovým systémům (pracovním prostorům):

- kartézský systém
- válcový systém
- sférický systém
- angulární systém (multiúhlový)

Pohyb v každé souřadnici je realizován kinematickou dvojicí podle druhu souřadnice. Základní schemata kinematických struktur výše uvedených systémů jsou uvedena na obr.1 [2].



obr.1

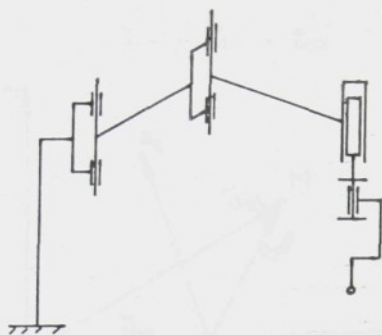
Při posuzování vhodnosti souřadnicového systému při výběru robota je jedním z kritérií analýza charakteristiky pracovních pohybů, které robot koná. Vyžaduje-li např. technologický cyklus převážně operace s lineárními pohyby, bude patrně nejvýhodnější použít kartézský souřadnicový systém.

Kinematická struktura průmyslového robota má rozhodující vliv na mechanické vlastnosti jako jsou např.:

- tuhost
- polohovací přesnost (opakovatelnost polohy)
- dynamické vlastnosti

Souhrnně lze říci, že i když stále existují roboty pracující ve válcových a sférických souřadnicích, nejvýraznější postavení především u nových robotů zauímají roboty pracující v angulárních souřadnicích. Tato koncepce velice dobře zaručuje vysoké užitkové vlastnosti jako je rychlost, dynamika a ve spojení s lineárním pojezdem i velký pracovní prostor.. Nevýhodou robotů pracujících v angulárních souřadnicích je jejich vysoká náročnost na řídící systém, neboť se u těchto typů obtížně programuje pohyb po přímkce. Současné velice rychlé řídící systémy však tuto nevýhodu značně eliminují [3].

V problematice montážních robotů, kde je značná část pohybů vedených právě po přímkce, se v posledních letech výrazně prosazují roboty typu SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Jedná se o roboty pracující ve válcových souřadnicích, kde lineární pohyb členu 4 (obr.1b) je nahrazen dvěma rotačními dvojicemi se svislými navzájem rovnoběžnými osami (obr.2). Roboty tohoto provedení se vyznačují vysokými operačními rychlostmi koncového bodu, vysokou tuhostí mechanismu a vysokou opakovanou přesností polohování. Ve valné většině se jedná o mechanismy se 4mi stupni volnosti, kdy tzv. zápěstí koná přímočarý vertikální pohyb a to buď dvupolohový (PICK AND PLACE) nebo přímočarý servořízený [4]. Pro náročnější polohy koncového bodu někteří výrobci doplňují tyto roboty výstupními hlavicemi se třemi stupni volnosti.



Kinematický řetězec robotu SCARA

obr. 2

2.2 Kinematika průmyslových robotů.

V hlediska kinematiky jsou schemata robotů otevřené kinematické řetězce. Při řešení pohybu daného řetězce je základním požadavkem určit pohyb libovolného tělesa nebo libovolného bodu systému v reálném čase na základě znalosti průběhu pohybu pohonů, tj. hnacích kinematických dvojic.

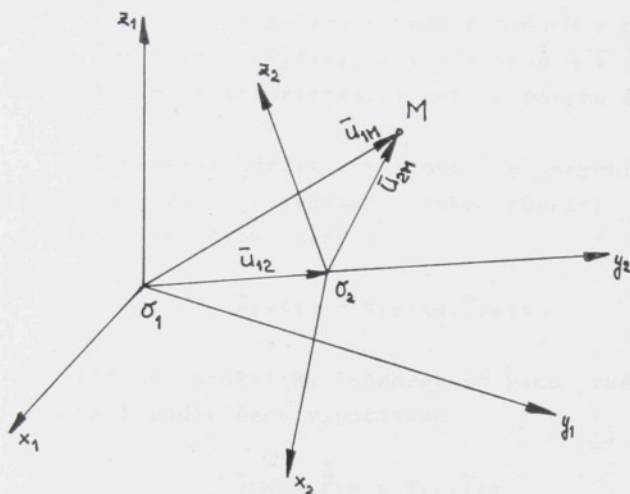
Řešení pohybu kinematického řetězce robota, kinematická analýza, je, a to zejména u prostorových řetězců, složitá záležitost a lze ji uskutečnit několika metodami. S rozvojem počítačové techniky se dává přednost v řešení maticové metodě. Základní myšlenky maticové metody formulovali ve svých pracích Denavit a Hatenberg, v ČSFR se maticovou metodou zabýval doc. RNDr. Brát.

2.2.1. Základní vztahy.

Základní myšlenkou maticové metody je použití relativních souřadnic k určení polohy dvou těles 1 a 2 v kinematicém řetězci [1]. Polohu bodu M (obr.3) můžeme

vyjádřit v prostoru "2" vektorem u_{2M} a v prostoru "1" vektorem u_{1M} . Závislost mezi nimi vyjadřuje rovnice

$$\bar{u}_{1M} = \bar{u}_{12} + \bar{u}_{2M} \quad (2.1)$$



obr.3

Vektorovou rovnici (2.1) lze rozepsat do tří rovnic do směru souřadných os x, y, z .

$$\begin{aligned} x_{1M} &= x_{12} + x_{2M} \cos(x_2, x_1) + y_{2M} \cos(y_2, x_1) + z_{2M} \cos(z_2, x_1) \\ y_{1M} &= y_{12} + x_{2M} \cos(x_2, y_1) + y_{2M} \cos(y_2, y_1) + z_{2M} \cos(z_2, y_1) \\ z_{1M} &= z_{12} + x_{2M} \cos(x_2, z_1) + y_{2M} \cos(y_2, z_1) + z_{2M} \cos(z_2, z_1) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Tyto transformační rovnice lze stručněji zapsat následovně

$$\bar{u}_{1M} = \bar{u}_{12} + S_{12} \cdot \bar{u}_{2M} \quad (2.3)$$

Nevýhodou rovnice (2.3) je, že obsahuje součet dvou matic, což by při řešení několika současných pohybů vedlo k málo přehledným výrazům. Uvedenou nevýhodu lze odstranit zavedením tzv. rozšířené matice a rozšířených vektorů a zapsat rovnici ve tvaru

$$\begin{bmatrix} u_{1M} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{12} & , & u_{12} \\ 0 & , & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{2M} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

a zjednodušeně

$$\bar{\mathbf{r}}_{1M} = T_{12} \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M} \quad (2.5)$$

kde $\bar{\mathbf{r}}_{1M}$ - je rozšířený průvodič bodu M v prostoru "1"

$\bar{\mathbf{r}}_{2M}$ - je rozšířený průvodič bodu M v prostoru "2"

T_{12} - je transformační matice pohybu 1,2

Chceme-li určit rychlost a zrychlení bodu, musíme rovnici (2.5) posuzovat jako rovnici obsahující časově proměnné veličiny, tedy

$$\bar{\mathbf{r}}_{1M}(t) = T_{12}(t) \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M}(t) \quad (2.6)$$

Ve většině prakticky řešených případů však platí $\mathbf{r}_{2M} = \text{konst.}$
Derivací podle času vypočítáme

$$\bar{\mathbf{v}}_{1M} = \dot{\bar{\mathbf{r}}}_{1M} = T_{12} \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M} \quad (2.7)$$

a po úpravách

$$\bar{\mathbf{v}}_{1M} = T_{12} \cdot V_{12} \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M} \quad (2.8)$$

Pro zrychlení platí

$$\bar{\mathbf{a}}_{1M} = \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_{1M} = \ddot{T}_{12} \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M} \quad (2.9)$$

a po úpravách

$$\bar{\mathbf{a}}_{1M} = T_{12} \cdot (A_{12} + V_{12}^2) \cdot \bar{\mathbf{r}}_{2M} \quad (2.10)$$

kde

$$A_{12} = \ddot{V}_{12} \quad (2.11)$$

Při řešení problematiky současných pohybů si můžeme výsledný pohyb představit jako pohyb složený z dílčích pohybů takže platí

$$\bar{r}_{1M} = T_{12} \cdot \bar{r}_{2M}$$

$$\bar{r}_{2M} = T_{23} \cdot \bar{r}_{3M}$$

$$\bar{r}_{n-1,M} = T_{n-1,n} \cdot \bar{r}_{nM} \quad (2.12)$$

výsledný vztah

$$\bar{r}_{1M} = \prod_{j=2}^n T_{j-1,j} \cdot \bar{r}_{nM} \quad (2.13)$$

2.3. Dynamické řešení mechanismů robotů.

Cílem dynamického řešení mechanismů průmyslových robotů je definování vztahů mezi pohybem členů kinematického řetězce a hnacími silami, reakcemi v kinematických vazbách a namáháním jednotlivých částí mechanismu. Rozlišujeme tyto základní úlohy:

1. vyřešení pohybu mechanismu při zadaných charakteristikách hnacích a zátěžných sil
2. nalezení potřebných hnacích sil a namáhání mechanismu při zadaném průběhu pohybu mechanismu

Základem každého řešení je sestavení pohybových rovnic, které lze získat pomocí více metod. Pro řešení pohybu mechanismu na základě hnacích a zátěžných sil je s úspěchem používána metoda Lagrangeových rovnic druhého druhu. Vzhledem k tomu, že kinematický řetězec robota obsahuje zpravidla jen rotační a posuvné kinematické dvojice, budou mít Lagrangeovy rovnice tvar

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} = Q_j \quad (2.14)$$

kde q_j - je obecná souřadnice (relat. úhly pootoč., posunutí)

Q_j - obecná síla

Za obecné souřadnice volíme vlastní souřadnice mechanismu robota. Pro řešení pak dostáváme soustavu diferenciálních rovnic, které lze většinou řešit jen

numericky.

Pro nalezení potřebných hnacích sil, reakcí a namáhání při zadaném průběhu pohybu mechanismu se s výhodou používá metoda kinetostatického řešení.

Dynamické řešení prostorových mechanismů průmyslových robotů je i při značném zjednodušení problematiky úkol velice náročný a to jak z hlediska teoretického, tak z hlediska množství potřebných výpočtů. Dynamické řešení mechanismů má především význam pro posouzení navržené konstrukce a navržených pohonných jednotek.

3. Výstupní hlavice.

Aby průmyslový robot mohl sloužit účelu, ke kterému byl vytvořen, je třeba, aby výkonný polohovací mechanismus byl na konci hlavního kinematického řetězce doplněn příslušným zařízením. Toto zařízení se nazývá výstupní hlavice (efektor). Podle typu prováděných operací rozeznáváme následující výstupní hlavice:

- úchopné hlavice
- technologické hlavice
- kontrolní hlavice

Pro potřeby montážních operací ve valné většině případů opatřujeme roboty úchopnými hlavicemi, vyjimečně jednouúčelovou technologickou hlavicí.

3.1 Úchopné hlavice.

Úchopné hlavice slouží k uchopení předmětu, jeho držení v průběhu změny polohy výstupní hlavice v prostoru a uvolnění předmětu. Úchopná hlavice musí zabezpečit spolehlivé uchopení předmětu, tzn. je třeba dosáhnout takové struktury uchopení, která zbaví manipulovaný předmět všech šesti stupňů volnosti. Struktura uchopení je určena počtem úchopných prvků a jejich rozložením. Důležitou částí hlavice je aktivní část úchopného prvku, t.j. část hlavice, která přichází do styku s předmětem. Aktivní část výstupní hlavice pak může být [5]:

- tuhá - většinou vytváří jednoduchý (přímočarý, bodový,

- prizmatický) dotykový kontakt s předmětem
- poddajná - vytváří mnohobodový (plošný) kontakt s předmětem tak, že se přizpůsobí ploše předmětu

Podle způsobu vyvození úchopné síly rozeznáváme následující úchopné prvky:

- mechanické
- magnetické
- podtlakové

Podle upůsobu ovládní úchopné síly rozeznáváme následující úchopné prvky:

- aktivní
- pasivní

U pasivních úchopných prvků nelze ovládat úchopnou sílu, kdežto u aktivních úchopných prvků je toto zabezpečeno přidavným pohonem (tekutinové mechanismy, elektromotor, elektromagnet).

Montážní průmyslové roboty jsou v převážné míře vybaveny výstupními hlavicemi mechanickými s uchopovacími prvky. Tento způsob uspořádání zajišťuje vyšší přesnost polohování manipulovaného předmětu v prostoru a jeho snadné uchycení a uvolnění. Negativní součástí tohoto řešení je obvykle vyšší hmotnost výstupní hlavy a její nepoměrně vyšší cena.

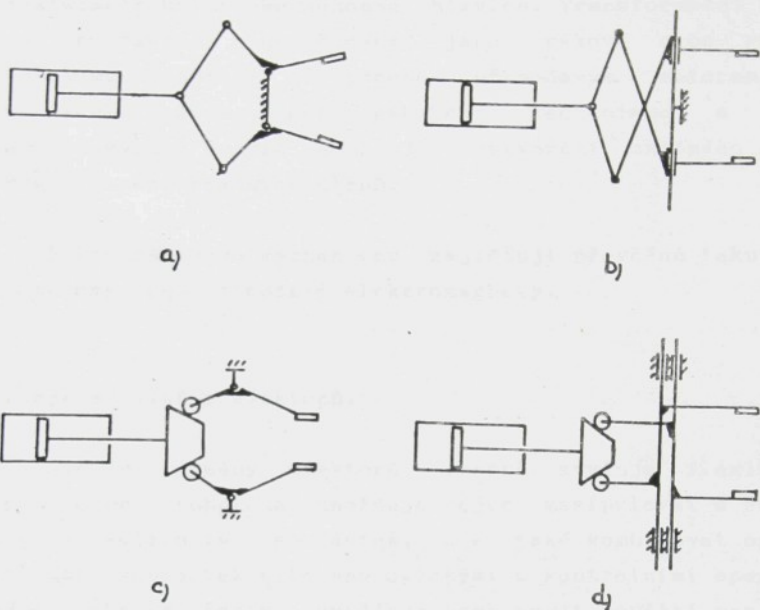
3.1.1. Aktivní mechanické úchopné hlavy.

Podle charakteru manipulovaných předmětů se používají následující mechanické úchopné hlavy:

- speciální
- vícerozsahové
- universální

Speciální úchopné hlavy jsou konstruovány převážně pro jeden typ a jeden rozměr manipulovaného předmětu. Pro reálnou montáž výrobků, složených z různorodých součástí nemají praktický význam v případě, že jsou pevně spojeny s koncovým bodem kinematického řetězce polohovacího mechanismu robota. Na významu však nabývají při použití výměnných hlav o

kterých bude pojednáváno dále.



Typy transformačních bloků

obr.4

Vícerozsaňové úchopné hlavice jsou nejvíce rozšířeným typem hlavic pro montážní operace a používají se i v případě výměnných hlavic.

Universální úchopné hlavice se s ohledem na značnou složitost problematiky nepoužívají a zatím se tento problém řeší systémem výměnných hlavic.

3.1.2. Konstrukce aktivních mechanických úchopných hlavic.

Podle charakteru pohybu úchopných prvků směrem k manipulovanému předmětu lze rozlišit tyto hlavice následovně:
- s lineárním pohybem úchopných prvků

- s rotačním pohybem úchopných prvků (otočné čelisti)

Charakter pohybu úchopných prvků je dán typem transformačního bloku úchopné hlavice. Transformační bloky jsou nejčastěji uspořádány jako pákové nebo vačkové mechanismy (obr.4) s pohonem přímočarým motorem [5]. Kombinace počtu členů pákového mechanismu a druhy kinematických dvojic umožňují vytvoření značného počtu variant transformačních členů.

Pohon pákového mechanismu zajišťují převážně tekutinové mechanismy nebo přímočaré elektromagnety.

3.2 Systém výměny efektorů.

Systém výměny efektorů značně zvyšuje flexibilitu průmyslového robota a umožňuje nejen manipulovat s různými typy a velikostmi součástí, ale také kombinovat operace zakládání součástí s technologickými a kontrolními operacemi jedním robotem. Systém umožňuje kombinovat použití pasivních i aktivních úchopných hlavíc. Montážní operace lze takto vykonávat pomocí jednodušších, tzn. i spolehlivějších a lacinějších hlavíc a v současné době je právě použití tohoto systému nejvýznamnějším znakem rozvoje výstupních hlavíc [5]. Výměna výstupní hlavice je umožněna použitím stykovacích jednotek (na robotu a na výstupní hlavici), které jednak umožňují přenos energie k pohonům výstupních hlavíc a jednak provedou fixaci výměnné hlavice ke koncovému bodu kinematického řetězce polohového mechanismu robota.

Značnou nevýhodou použití tohoto systému jsou jednak vysoké náklady na výrobu, které jsou však jednorázové, ale, a to zejména, značná časová náročnost na výměnu úchopné hlavice, která snižuje výkon a tedy i efektivnost celého montážního zařízení. Je tedy nutné velice dobře propočítat oprávněnost použití tohoto systému.

4. Pohony průmyslových robotů a jejich řízení.

Pro pohon průmyslových robotů lze použít tyto pohony:

- mechanické
- pneumatické
- hydraulické
- elektrické

4.1. Mechanické pohony.

Tento druh pohonu se pro účely průmyslových robotů v podstatě nepoužívá. Pouze pro pohony některých manipulátorů je použití tohoto výhodné, nejčastěji jako pohon odvozený od pohonu hlavního stroje, ke kterému je manipulátor přiřazen.

4.2. Pneumatické pohony.

Tento druh pohonu se používá především pro průmyslové roboty menších výkonů a to především pro jejich konstrukční jednoduchost a vysokou rychlost převážně lineárních pohybů. Tyto průmyslové roboty pracují převážně v kartézských souřadnicích.

Značnou nevýhodou je obtížné řízení rychlosti pohybu a obtížné nastavování polohy, které se většinou realizuje systémem pevných dorazů.

Tento pohon je postupně vytlačován elektrickým pohonem.

4.3. Hydraulické pohony.

Tento druh pohonu je s výhodou používán zejména u průmyslových robotů s vysokou nosností. Jeho největšími přednostmi jsou: dosažení velkých sil při malých rozměrech pohonu, plynulé řízení rychlosti a to i při malých rychlostech, velká účinnost a vysoká spolehlivost.

4.4. Elektrické pohony.

Tento druh pohonu je v současné době nejvíce rozšířeným pohonem. Jeho největšími přednostmi jsou: plynulé řízení rychlosti i v oblasti malých rychlostí, vysoká přesnost a flexibilita polohování a snadný rozvod energie. Vlastní pohon je nejčastěji realizován následujícími druhy motorů:

- asynchronní motor
- krokový motor
- stejnosměrný motor

Přenos výkonu od motoru k polohovacímu mechanismu je v současné době realizován převážně pomocí:

- harmonické převodovky
- kuličkového šroubu
- převodovky s vymezením zubových vůlí
- bez převodových členů

4.5. Pohony montážních průmyslových robotů.

Požadavky na výkonové parametry montážních robotů jsou v současné době vysoké. A to nejen na opakovanou přesnost polohování a vysoké operační rychlosti, ale také na spolehlivost a snadnou údržbu. Pohony robotů špičkových světových výrobců montážních robotů (roboty PUMA, ADEPT, BOSCH) jsou převážně realizovány pomocí diskových DC motorů ve spojení s harmonickými převodovkami nebo s přímým pohonem diskového DC motoru bez převodů (ADEPT). Takovéto pohony umožňují operační rychlosti až 1 000 mm/sec a polohovací přesnost řádově v tisícinách milimetru.

4.6. Řídící systémy.

Podle fyzikální realizace rozlišujeme tyto systémy:

- mechanické
- tekutinové
- elektrické (elektronické)

Většina současných průmyslových robotů používá elektrický způsob řízení a to převážně počítačový. Tento systém je většinou multiprocessorový a pohyb každé osy

zajišťuje nezávislý mikroprocesor, kterému dodává informace nadřazený výpočetní systém. Řídící systém sleduje při pohybu výstupní hlavice v prostoru buď:

- dosažení jednotlivých koncových bodů pohybu, řízení PTP (Point To Point)

nebo

- řízení pohybu po určité předepsané dráze, řízení CP (Continuous Path)

Z hlediska charakteru montážního procesu postačuje pro řízení montážního průmyslového robota systém řízení PTP, neboť se v převážné míře jedná o to, dopravit danou součástku z odebíracího místa do místa zakládacího bez ohledu na trajektorii pohybu. Pouze pohyby v místech odebírání a zakládání je potřeba realizovat po přesné trajektorii, převážně po přímkce. U nejnovějších montážních robotů toto bývá zabezpečeno limitovaným lineárním posuvem výstupní hlavice (roboty typu SCARA).

5. Seznam použité literatury.

- [1] Talácko, J., Stejskal, S., Stejskal, V.: Průmyslové manipulatory a roboty I, DT ČSVTS, Praha 1986
- [2] Chvála, B., Matička, R., Talácko, J.: Průmyslové roboty a manipulatory, SNTL Praha 1990
- [3] Kožíšek, J.: Výběr PRaM podle technických parametrů, Strojírenská výroba, leden 1987
- [4] Zelina, P.: Montážní roboty SCARA, Strojírenská výroba, květen 1986
- [5] Novotný, F. a kol.: Vybrané problémy optimalisace úchopných hlavic průmyslových robotů, VŠST Liberec, 1988

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI
FAKULTA STROJNÍ

ing. Novák Miloslav

ANALÝZA ROBOTISACE MONTÁŽE

Kandidátská disertační práce

Odborné vedení: Doc.ing. DRÁB Vojtěch, CSc
LIBEREC, červen 1991

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

ing. Novák Miloslav

ANALÝZA ROBOTISACE MONTÁŽE

Kandidátská disertační práce

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146088175

Obor: 23-03-9 Stavba výrobních strojů a zařízení

Odborné vedení: Doc. ing. DRÁB Vojtěch, CSc

LIBEREC, červen 1991

V 270 T

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Univerzitní knihovna
Voroněžská 1329, Liberec 1
PSČ 461 17

1.	Úvod	1
2.	Teorie automatisované montáže	3
2.1.	Systém montážních prvků	3
2.2.	Systém vlastností prvků	6
2.3.	Systém výrobní technologie prvků	9
2.4.	Systém jakosti prvků	10
3.	Teorie robotisované montáže	12
3.1.	Varianty montážního postupu	12
4.	Rozbor robotisace v průmyslově vyspělých zemích ..	16
5.	Rozbor automatisace výroby v Elektro-Praga Jablonec	22
6.	Robotisace výroby spínačů	26
6.1.	Konstrukce spínače	28
6.2.	Technologický postup montáže	29
6.3.	Technologičnost konstrukce spínače	30
6.3.1.	Spodek 3454-B1	30
6.3.2.	Spodek 3454-B21	31
6.3.3.	Kontakt pevný 3454-R2	31
6.3.4.	Kontakt pohyblivý 3353-A ..	31
6.3.5.	Páčka 3353-B8	31
6.4.	Technologický postup robotisované montáže spínače.	32
6.5.	Koncepce návrhu stroje	32
7.	Varianty řešení stroje	36
7.1.	Systém s kruhovou mezioperační dopravou	36
7.2.	Systém s lineární mezioperační dopravou	37
7.3.	Výběr optimální varianty	38
8.	Konstrukční řešení stroje	42
8.1.	Mechanické skupiny	42
8.2.	Řídicí systém	46
8.3.	Funkce stroje	47
9.	Spolehlivost	49
9.1.	Rozbor objektů montáže	50
9.2.	Spolehlivost orientace součástek	52
9.3.	Vliv opakované přesnosti robota	52
9.4.	Vliv vůle součástky v odebíracím místě	53

9.5.	Vliv přesnosti polohování hlavní součástky	54
9.6.	Spolehlivost reálné montáže	55
10.	Experimentální část	56
10.1.	Rozbor objektů montáže	56
10.2.	Výsledky experimentu	57
10.3.	Vyhodnocení experimentu	57
10.3.1.	Stanovení koeficientu K_1	57
10.3.2.	Stanovení koeficientu K_2	63
10.3.3.	Stanovení koeficientu K_3	63
10.4.	Zhodnocení výsledků	64
11.	Závěry a přínosy práce	67
12.	Seznam použité literatury	69
	Příloha č. 1	
	Příloha č. 2	
	Příloha č. 3	

1. Úvod

Montáž je v současné době jedním z největších zdrojů rezerv ve strojírenské a elektrotechnické výrobě. Tento stav je zapříčiněn zejména značnou rozmanitostí těchto výrob a z toho vyplývající neexistencí universálně použitelných strojů. Současné montážní stroje jsou ve velké většině koncipovány jako jednoduše-
lové s minimální možností rychlé přestavitelnosti. Tyto důvody způsobují, že ceny montážních strojů nekolikanásobně převyšují ceny obráběcích strojů a jejich uplatnění je pak především jen v hromadné výrobě. Dalším důvodem pro pomalé nasazování montážních strojů je také alternativní ruční výroba, která např. v procesu obrábění je již dnes nemyslitelná.

S rozvojem robotisace, t.j. se zvyšováním přesnosti robotů, operační rychlosti a s používáním stále dokonalejších řídicích systémů bylo možno uvažovat o robotisované montáži. Robot značně zvyšuje flexibilitu montážního stroje a umožňuje použití robotisovaných montážních strojů pro menší série výrobků. Značný pokles cen robotů ve světě měl za následek prudký rozmach robotisované montáže ve vyspělých zemích. Tato tendence do ČDFR zatím nedorazila a vinu na tom má zejména neúměrně vysoká cena robotů, nízká cena pracovní síly a ještě donedávna téměř nemožnost dovozu. Do této doby mi není znám případ nasazení montážního automatu s robotem v sériové výrobě elektrotechnického průmyslu v ČSFR, který by byl domácí provenience.

Charakter výroby elektroinstalačního materiálu ve státním podniku Elektro-Praga Jablonec předurčoval použití vysoce výkonných montážních strojů. Postupem doby však bylo vyčerpáno nasazování takovýchto strojů do hromadné výroby a podnik stál před úkolem zvýšit produktivitu práce také na malých sériích výrobků. Jako jedna alternativa byla vybrána robotisovaná montáž.

Vzhledem k tomu, že nebyly k dispozici zkušenosti s touto problematikou a mizivé možnosti zahraničních informací, dopustil se řešitelský tým určitých chyb či nepřesností při návrhu a výrobě robotisovaného montážního automatu. Automat byl navržen a

vyroben ve specialisovaném středisku pro vývoj a výrobu montážních a speciálních strojů Elektro-Praga Jablonec n.N..

Nedostatek kvalifikovaných informací a vlastních zkušeností při návrhu stroje autora následně přivedl k rozpracování této disertační práce s níže uvedeným cílem:

1) Rozpracovat vliv různých faktorů vstupujících do procesu montáže na základě dostupných informací, vlastních zkušeností a zkušeností řešitelského týmu.

2) Experimentálně ověřit, na konkrétních součástkách, vliv zjištěných parametrů montážního procesu na spolehlivost montáže.

3) Pokusit se formulovat obecné vztahy mezi těmito parametry tak, aby mohly být použity při rozhodovacích procesech při vývoji robotisovaných montážních strojů.

2. Teorie automatisované montáže

Montáž a zejména automatická montáž, je složitý systém, sestávající z mnoha podsystémů a prvků [10] , [12] .

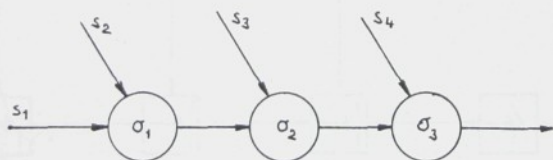
Základní systém tvoří množina podskupin a prvků (součástí), ze kterých je složen finální produkt. Další systémy pak tvoří systém vlastností prvků a podskupin, systém výrobní technologie prvků, systém jakosti prvků atd.

2.1 Systém montážních prvků

Každý montážní celek je tvořen určitým počtem prvků (součástí), které jsou v procesu montáže spolu spojovány. Prvek, který je nosným prvkem finálního výrobku nazýváme základní prvek. K tomuto prvku se dále váže připojování jak jednotlivých dílčích prvků, tak složitých podskupin. V případech složitých výrobků, sestávajících z více podskupin, definujeme pro jednotlivé podskupiny hlavní prvek. Je to prvek, který tvoří základní součástku dané podskupiny.

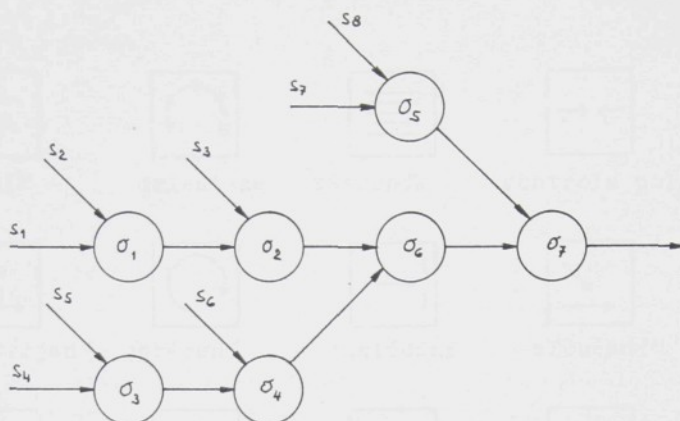
Posloupnost montážního procesu lze příkladně vyjádřit pomocí síťového grafu montážní činnosti.

Na obr. 1 je síťový graf montáže výrobku, sestávajícího ze čtyř součástí $S_1 + S_2$, přičemž prvek S_1 je základní prvek. Jednotlivé operace jsou označeny $O_1 + O_3$.



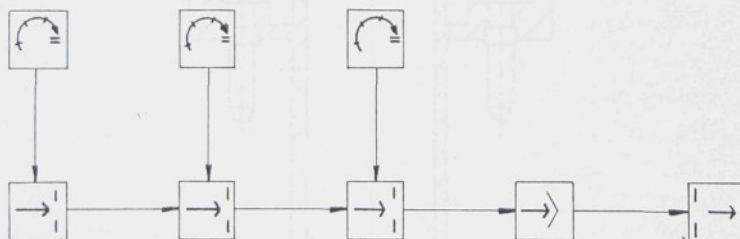
obr. 1

Na obr. 2 je síťový graf montáže výrobku, sestávajícího z 8 součástí $S_1 + S_8$. Prvek S_1 je základní prvek, prvky S_4 a S_7 tvoří hlavní prvky daných podskupin.

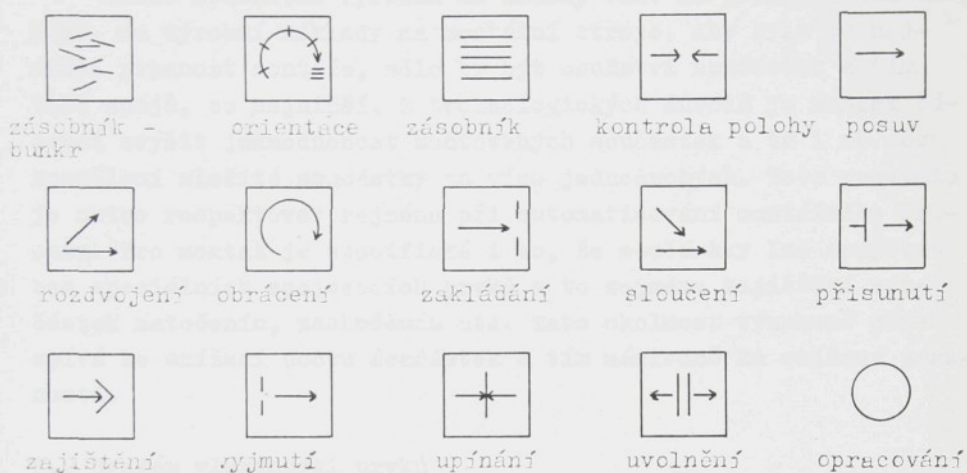


obr. 2

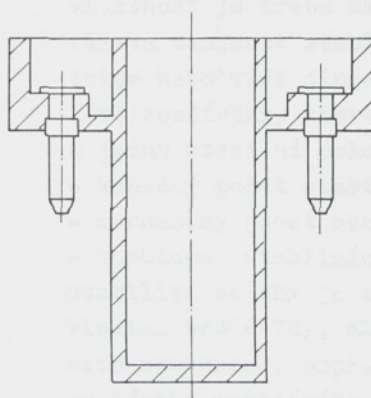
Při řešení konkrétní problematiky je pro větší názornost výhodnější použít symbolické označování jednotlivých pracovních operací podle [4]. Toto označování pracovních operací je výhodné zejména při návrhu montážních strojů. Výtah z uvedeného materiálu je v TAB. 1. Na obr. 3 je výše uvedenou metodou znázorněn síťový graf montáže patice zářivky. Na obr. 4 je znázorněna patice zářivky složené z tělesa a dvou kolíků.



obr. 3



Tab. 1



Obr. 4

Počet součástí výrobku má značný vliv na pracnost montáže, popř. na výrobní náklady na montážní stroje. Aby byla co nejnižší pracnost montáže, mělo by být množství součástí a tím také spojů, co nejnižší. Z technologických důvodů je naopak žádoucí zvýšit jednoduchost montovaných součástí a to i za cenu rozdělení složité součástky na více jednoduchých. Toto pravidlo je nutno respektovat zejména při automatisování montážního procesu. Pro montáž je specifické i to, že součástky lze spojovat bez speciálních spojovacích prvků a to zejména zajištění součástí natočením, zaskočením atd. Tato okolnost významně přispívá ke snížení počtu součástí a tím následně ke snížení pracnosti.

2.2 Systém vlastností prvků

Z hlediska vytvoření podmínek dobré smontovatelnosti výrobků je potřebné hodnotit zejména následující vlastnosti součástí:

- 1) Tuhost součástky - t.j. zhodnotit, zda se jedná o těleso tuhé, poddajné, křehké.
- 2) Schopnost součástky zaujmout v prostoru stabilní polohu. Tuto vlastnost je třeba zkoumat podle možnosti tělesa zaujmout stabilní polohu vůči podložce nebo vůči jinému tělesu. Je možné nalézt součástky, které mají možnost zaujmout:
 - jednu stabilní polohu
 - konečný počet stabilních poloh
 - nekonečný počet stabilních poloh
 - kombinaci stabilních a nestabilních polohStabilita polohy je závislá nejen na tvaru vlastní součástky, ale také na tvaru okolních součástí, popř. podložky. Základní součástky montážního celku musí mít mnohonásobně vyšší stabilitu polohy než součástky dílčí.

- 3) Upínací plochy součástky - tato vlastnost je důležitá zejména u základních součástek, kde je rozhodující uspokojivé fixování součástky do montážního přípravku stroje a její následné uvolnění a vyjmutí.
- 4) Schopnost orientace součástky - při ruční montáži je tato vlastnost zanedbatelná, neboť lidská ruka uspokojivě dokáže orientovat součástky. Na významu nabývá až při aplikaci automatické montáže, kdy požadujeme zcela automatické zásobování montážního stroje.

Při zjištění, že některá součástka z hlediska uvedených vlastností má nevhodné parametry, je nutné přistoupit k úpravě součástky.

Při konstrukci výrobku je samozřejmě prvořadá jeho funkce. Technologičnost konstrukce výrobku je však podmiňujícím faktorem snižování pracnosti a zvyšování automatizace montáže. Montážní proces je bezprostředním zrcadlovým obrazem konstrukčního řešení. Racionalizační úsilí v oblasti montáže je zpravidla zaměřeno na činnost souvisící s řešením organizačních vztahů a technických opatření, přičemž na nepříznivé důsledky konstrukce se často zapomíná. Dostupné zahraniční zkušenosti ukazují [3], že racionalisace montáží bez řešení problematiky technologičnosti konstrukce má podstatně nižší ekonomickou účinnost.

Samozřejmě technologičnost konstrukce výrobku vzhledem k montáži nemůže být chápána jednostretně. Současně s ní musí být respektována i technologičnost konstrukce z pohledu všech technologických metod použitých při výrobě [11].

Výsledkem rozboru technologičnosti by mělo být zjištění, zda konstrukční úpravy jsou účelné, v kterých případech a v jakém smyslu.

Technologický proces automatické montáže je možné obecně rozdělit na několik relativně samostatných fází. Montáž je ve své podstatě postupné přemísťování dvou nebo více částí s cílem

jejich spojení, které je samo o sobě také vzájemným přemísťováním.

Proces automatické montáže se skládá [6] :

- 1) z přísunu součástí
- 2) primární orientace
- 3) sekundární orientace
- 4) terciální orientace
- 5) vlastního spojení
- 6) odsunu součástí

Z technického hlediska není přísun a odsun součástí problémem a provádí se obecně známými prostředky. Primární orientace spočívá v přivedení každé součástky do některé z rozlišitelných poloh a provádí se převážně pomocí působení vnějších sil na součástku ve vibračním zásobníku. Pokud z hlediska výkonného orgánu automatu je třeba, aby součástka zaujala odlišnou polohu než jaké bylo dosaženo při primární orientaci, je nutné zařadit sekundární orientaci, která se provádí opět působením vnějších sil a to většinou mezi zásobníkem a odebíracím místem součástky. Terciální orientace součástí (vzájemná) spočívá v přesné koordinaci součástí předem orientovaných tak, aby následným montážním pohybem došlo k zafixování montovaných ploch těchto součástí. Terciální orientace se uskutečňuje převážně v montážních přípravcích nebo pomocí uchopovací hlavice manipulátora nebo robota. Tato orientace má zásadní význam na spolehlivost a kvalitu celého montážního procesu.

Na základě mnoholetých zkušeností z vývoje montážních strojů v EP Jablonec lze konstatovat, že součástky je z důvodu technologičnosti nutno zkoumat zejména ze dvou hledisek:

1) Hledisko automatické orientace součástek, které v sobě zahrnuje primární a sekundární orientaci. Toto hledisko má dominující význam pro stanovení výkonu automatu.

2) Hledisko snadného nasouvání součástek, které v sobě zahrnuje terciální orientaci. Toto hledisko má podstatný vliv na spolehlivost a kvalitu montážního procesu.

Převážná většina součástí ve své prvotní formě není vhodná nejen k automatické orientaci, ale mnohdy ani k automatickému dávkování např. pomocí vibračních zásobníků.

Předně je třeba zabezpečit, aby součástky nemohly vytvářet samočinné spoje. Jen tak lze zamezit shlukování součástí v zásobnících. Tuto základní podmínku lze splnit vhodnou úpravou vnějších rozměrů součástí vzhledem k rozměrům jejich dutin. Pokud máme zabezpečen předpoklad podávání jednotlivých oddělených součástí, můžeme přistoupit k úpravě součástky z hlediska zaujmutí stabilní polohy. Z hlediska orientace je výhodné, aby součástka měla co nejmenší počet stabilních poloh, které může vzhledem k zásobovacímu zařízení zaujmout. Z prostorového hlediska je dostačující, když součástka zaujme stabilní polohu vzhledem ke dvěma souřadným osám systému. U převážné většiny součástí však ani tato podmínka nebývá splněna a je nutno přistoupit ke změně tvaru. Jednodušší situace je u rotačně souměrných součástí, které tvoří zejména spojovací elementy jako např. šrouby, nýty, kolíky, kde vystačíme se schopností orientace vzhledem k jedné souřadné ose. U ostatních rotačních součástí, kde je nutno zabezpečit přesné úhlové natočení součástky vzhledem k hlavní ose, je třeba vytvořit vhodné plošky nebo nesymetrické výstupky. Pokud tyto úpravy nelze z jiných technologických důvodů zabezpečit, je třeba přistoupit k následné orientaci součástky pomocí polohovací jednotky a to buď ve skluzu od vibračního zásobníku k místu založení nebo přímo v montážním přípravku.

Z hlediska snadného zasouvání součástí buď vzájemně do sebe nebo do montážního přípravku je nutné, aby obě součástky měly vhodně upravené odpovídající plochy. To předpokládá vytvoření vhodných náběhů na vzájemně si odpovídajících plochách nebo sražení hran, popřípadě vhodných drážek či výstupků pro navedení součástky.

2.3 Systém výrobní technologie prvků

Náplň tohoto systému tvoří technologické metody použité při výrobě všech dílčích součástí montážního celku. Z hlediska montáže je nutno zvolit takové technologie, které zabezpečí výrobu v odpovídající kvalitě. Je třeba zvolit takové technologie výroby

a takové technologické postupy, aby ani následně nedocházelo ke snižování kvality výroby. Tato okolnost je zvlášť důležitá u technologií galvanického pokovení, kdy u výlisků ze slabých plechů může dojít použitím nevhodného technologického postupu k deformaci součástek.

Značný vliv zhoršení jakosti výroby mají dokončovací operace na lisovaných součástkách z plechu. Pro součástky používané dále při automatické montáži je z hlediska montáže nutné zabezpečit výrobní technologii tak, aby součástka byla kompletně vyrobena tzv. na jedno upnutí, tzn. bez dokončovacích ohybů či řezání závitů. Dokončovací operace nejen zvyšují pracnost výroby, ale také se nepříznivě projeví v kvalitě výroby.

Výběr vhodných technologických metod výroby součástek výrazně přispívá k vyšší efektivnosti automatizace montáže.

2.4 Systém jakosti prvků

Jak již bylo v předcházející kapitole analyzováno, jakost výroby součástek je do značné míry ovlivněna výběrem vhodných technologických metod výroby dílčích součástek. Jakost prvků vstupujících do montážního procesu ovlivňuje efektivnost a spolehlivost montážního systému. Automatická montáž mnohdy vyžaduje užší toleranční pole pro výrobu součástky než je nezbytně nutné pro vlastní funkci výrobku. Z toho hlediska je nutno přistupovat nejen k výběru technologických metod, ale také k výběru vhodných materiálů součástek a také ke konstrukčnímu řešení výrobku. Automatická montáž nevyžaduje absolutně přesné součástky, ale stejnorodá vysoká kvalita výrobních dávek je nezbytností. Pokud si finální výrobce montovaného výrobku sám zajistí dílčí součástky, je poměrně snadné zabezpečit vysokou úroveň jakosti. Složitější situace nastane v případě externí výroby součástek. Při současném chaosu v dodavatelsko-odběratelských vztazích jen vyjimečně přistoupí výrobce na požadavky zprísněných tolerancí.

Ve vztahu k množství povolených zmetků v dodávce je situace obdobná, neboť ČSN 01 0254 umožňuje dodávky spojovacího materiálu v množství do 5% zmetků. Při ruční montáži dělník vadnou součástku

rozpozná a odstraní ji. Při automatické montáži však stroj buď montuje zmetky, které je nutno následně nákladně opravovat, nebo se značně sníží jeho výkon. Z hlediska montáže je proto nutné, aby množství povolených zmetků v dávkách nepřestoupilo 1% celkového množství. Tento požadavek je možno stávajícími technologiemi výroby součástek splnit.

3. Teorie robotisované montáže

Robotisovaný montážní systém má svá specifika, odlišnosti od jiných systémů, jiné požadavky, jiné důsledky.

- 1) Jedním z rozhodujících předpokladů stavby robotisovaného montážního systému je odpovídající výroková základna, t.j. rozmanitost variant základního provedení výrobku s minimalisací počtu základních součástek (základní představitel).
- 2) Vyžaduje vysoký stupeň elektronisace periferních zařízení.
- 3) Vyžaduje variabilitu periferních zařízení,
- 4) Požadavky na kvalitu vstupních součástek jsou vysoké.
- 5) Vzhledem k ceně robotu je celkově finančně náročnější než dřívější systémy.
- 6) Klade vysoké požadavky na úroveň kvalifikace pracovní síly - tzn. obsluhy a údržby.

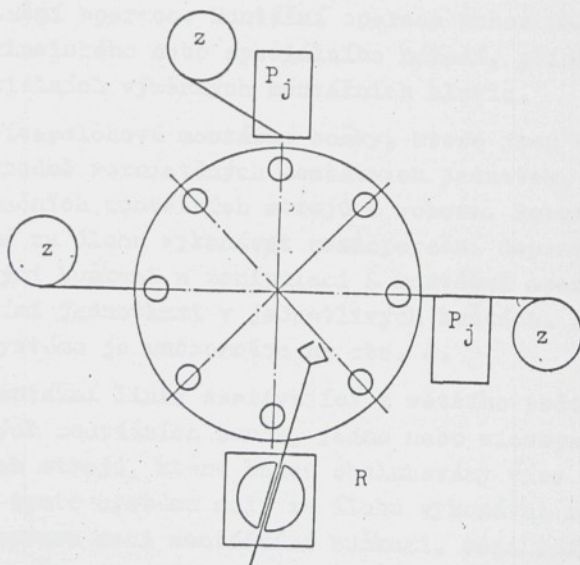
Pro vytvoření komplexního představitele je možné použít tyto zásady [1] :

- 1) Všechny montážní skupiny dané řady výrobků mají stejný typ základních součástek
- 2) Všechny montážní skupiny dané řady výrobků tvoří součástky spojované stejnými technologickými metodami montáže.
- 3) Tvar součástek a technologické metody předurčují skupinové a přípravkové vybavení montážního systému
- 4) Technologický postup montáže jednotlivých montážních skupin, zařazených do řady výrobků je částí technologického postupu komplexního představitele.
- 5) Komplexní představitel je sestavený z omezeného počtu součástek

3.1 Varianty montážního postupu

Základním článkem robotisovaného montážního stroje je robot. Vlastnosti a schopnosti robotu v převážné míře určují konfiguraci pracoviště a náročnost na periferní zařízení. Důležitými technickými vlastnostmi robotu, které je třeba brát do úvahy při návrhu aplikace v montáži jsou [2] :

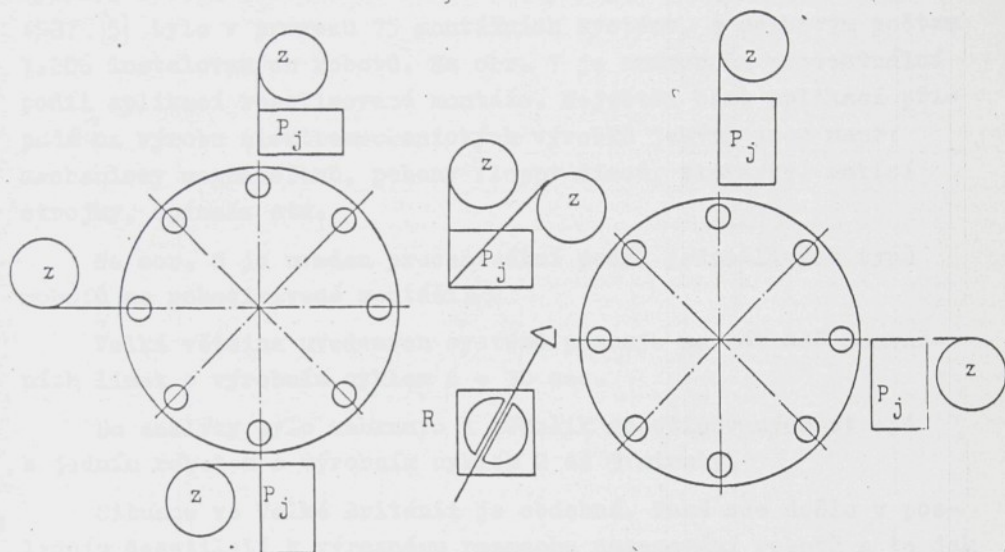
- 1) Souřadnicový pohybový systém - hlavní pohybový systém na přemísťování uchopovací hlavy vůči základu (kartézský, cylindrický, sférický, angulární)
- 2) Způsob polohování - od bodu k bodu (PTP), po přesně definované dráze (CP)
- 3) Počet stupňů volnosti - počet nezávisle programovatelných os (pohybů)
- 4) Rychlost a zrychlení uchopovací hlavy
- 5) Rychlost dalších úkonů - např. umístění součástky do otvoru, uchopení součásti atd.
- 6) Přesnost polohování
- 7) Další vlastnosti - způsob programování, manipulační prostor atd.



R - robot
 P_j - pracovní jednotka
 Z - zásobník

V rovině základních úvah a ideových návrhů využití robotu v montáži je více reálných variant montážních systémů. Vzhledem k charakteru výroby elektroinstalačního materiálu a současným montážním systémům v ZSE EP Jablonec přichází do úvahy zejména tyto robotizované montážní systémy:

- 1) Systém vzniklý spojením montážního robotu se současně známými systémy montážních strojů a kruhovým nebo lineárním tvarem mezioperační dráhy dopravy výrobku. Montážní robot vykonává v tomto systému obslužné operace, např. odebrání orientovaných součástí z odebracích míst a zakládání do montážní skupiny, vkládání součástí pod pracovní hlavice periferních zařízení. Aplikace tohoto systému je znázorněna na obr. 5.
- 2) Robotizované montážní linky vytvořené tak, že lidská obsluha se v některých nebo ve všech pracovních stanicích nahradí roboty nebo manipulátory. Roboty nebo manipulátory vykonávají v montážních linkách montážní nebo manipulační operace. Montážní operace mohou uskutečňovat pomocí klasického nebo speciálního nářadí, případně pomocí speciálních výměnných montážních hlavic.
- 3) Vícepolohové montážní buňky, které jsou vytvořené z více vhodně rozmístěných montážních jednotek, nebo jednooperačních montážních strojů a robota. Robot v tomto systému má za úlohu vykonávat mezioperační dopravu mezi jednotlivými buňkami a manipulací a montážní operace mezi montážními jednotkami v jednotlivých buňkách. Aplikace tohoto systému je znázorněna na obr. 6.
- 4) Montážní linky sestávající z většího počtu jednopoložových montážních buněk, jedno nebo víceoperačních montážních strojů, které budou obsluhovány více roboty. Roboty v tomto systému mají za úlohu vykonávat mezioperační dopravu mezi montážními buňkami, mezi montážními stroji a buňkami a dále manipulační a montážní operace v jednotlivých buňkách a na jednotlivých montážních strojích.



R - robot, P_j - pracovní jednotka, z - zásobník

obr. 6

4. Rozbor robotisace v průmyslově vyspělých zemích

V Japonsku došlo v posledním desetiletí k prudkému rozmachu využití robotů v montáži. Podle analýzy provedené v listopadu 1987 [5] bylo v provozu 75 montážních systémů, s celkovým počtem 1.206 instalovaných robotů. Na obr. 7 je znázorněn procentuální podíl aplikací robotisované montáže. Největší část aplikací připadá na výrobu elektromechanických výrobků jakými jsou např.: mechanismy magnetofonů, pohony floppy disců, tiskárny, holicí strojky, spínače atd.

Na obr. 8 je uveden procentuální podíl jednotlivých typů robotů na robotisované montáži.

Velká většina uvedených systémů pracuje na základě montážních linek s výrobním cyklem 6 + 30 sec.

Do analýzy bylo zahrnuto i několik robotisovaných strojů s jedním robotem s výrobním cyklem 2 až 3 minuty.

Situace ve Velké Británii je obdobná. Také zde došlo v posledním desetiletí k výraznému rozmachu nasazování robotů a to jak všeobecně, tak v montáži [5]. Na obr. 9 je znázorněn graf celkového nasazování robotů v U.K. a na obr. 10 aplikace nasazení robotů a to jak celkový počet, tak nasazení v roce 1987.

Z více než 400 nasazených montážních robotů je více než 53% instalováno v elektrotechnickém průmyslu, 20% ve strojírenství a 16% v automobilovém průmyslu. Počet nasazených montážních robotů představuje zhruba 10% všech instalovaných robotů v U.K.

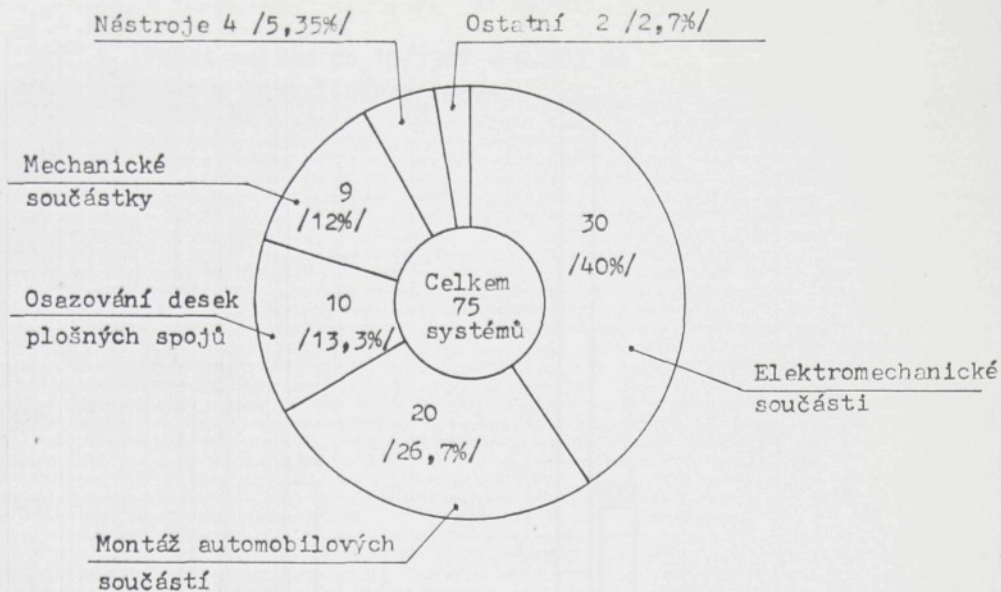
Podle [5] také více než 33% firem zkouší nasazení robotů v montáži na jednom stroji s jedním nebo dvěma roboty než se rozhodnou o zakoupení komplexní technologie vybavení montážními roboty.

Situaci ve Španělsku zachycuje graf instalace robotů na obr. 11, a TAB. 2 pak jednotlivé aplikace a nasazení do roku 1987 [5].

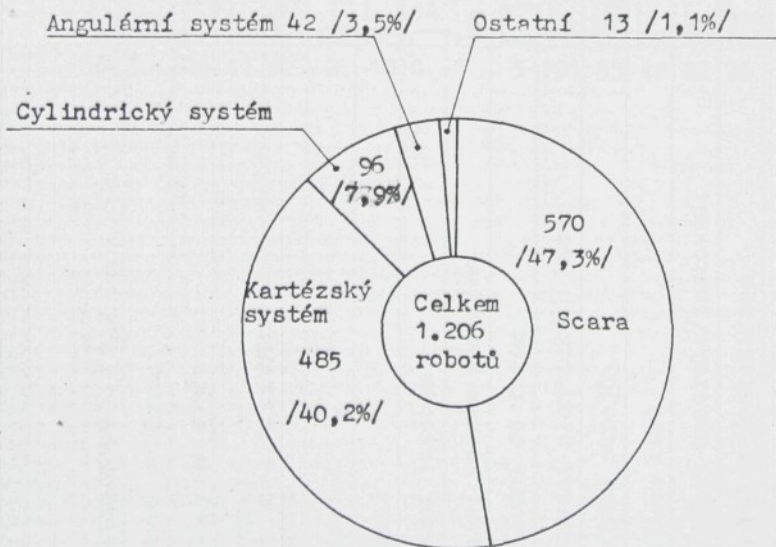
TAB. 2

APLIKACE	POČET	PODÍL %
Svařování	723	58,5
Manipulace	171	15,1
Montáž	97	8,6
Stříkání barev	61	5,4
Lepení	34	3,0
Výzkum a vzdělávání	30	2,7
Manipulace u strojů	29	2,6

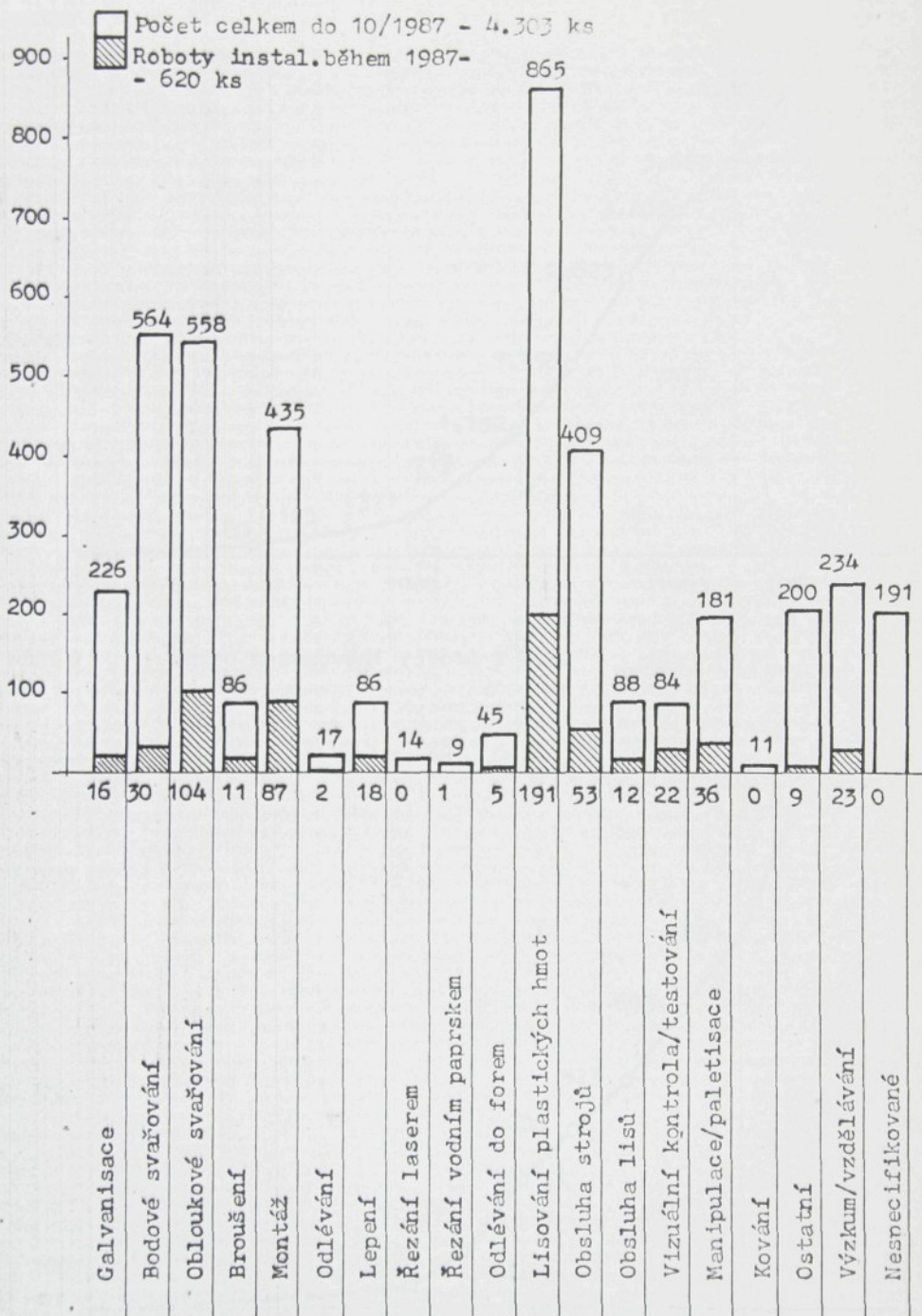
Situaci v nasazování robotů v NSR zachycuje graf na obr. 12 a počet v jednotlivých aplikacích pak graf na obr. 13 [5] .

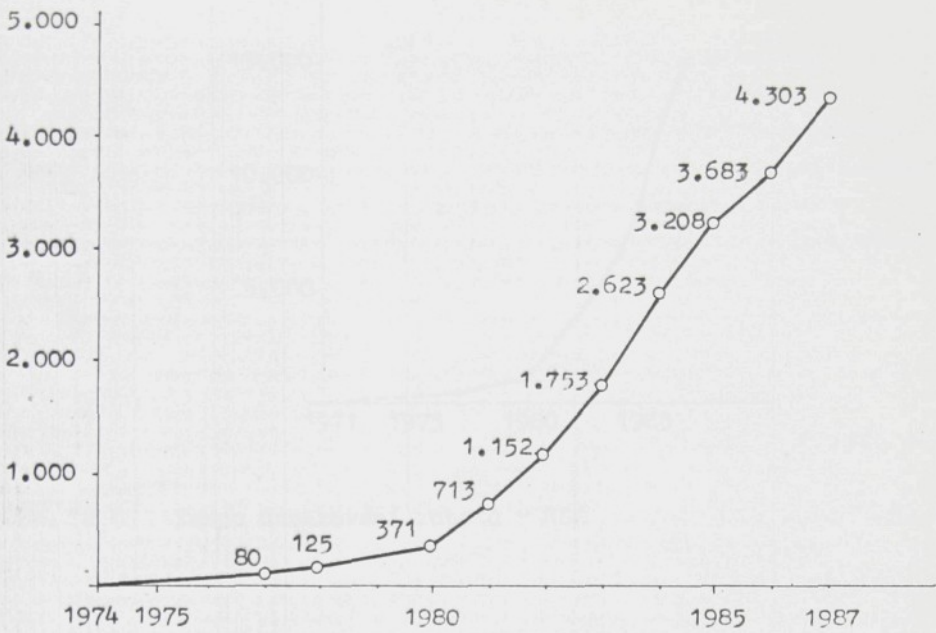


OBR. 7 Aplikace robotizovaných montážních systémů v Japonsku

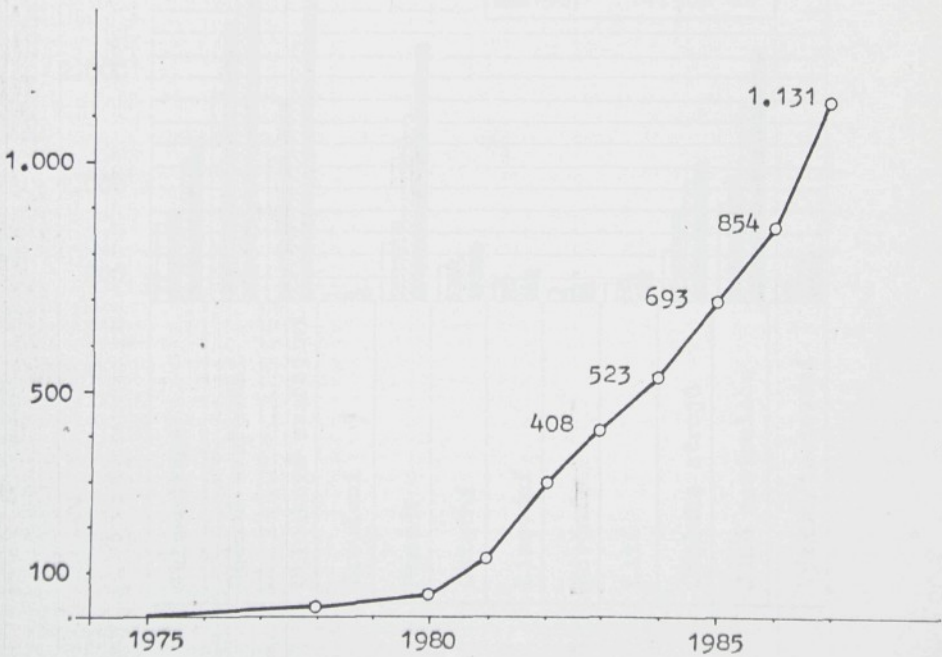


OBR. 8 Typy použitých montážních robotů v Japonsku

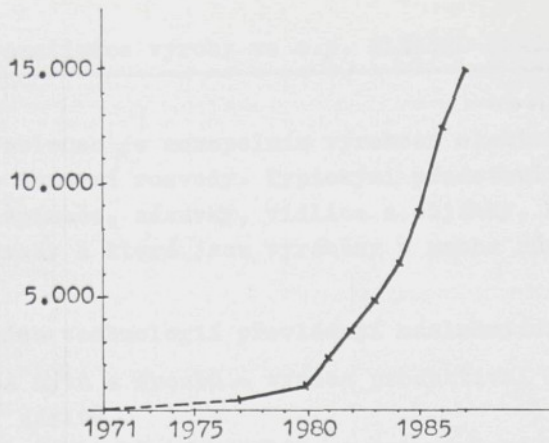




OBR. 9 Tempo nasazování robotů v U.K.

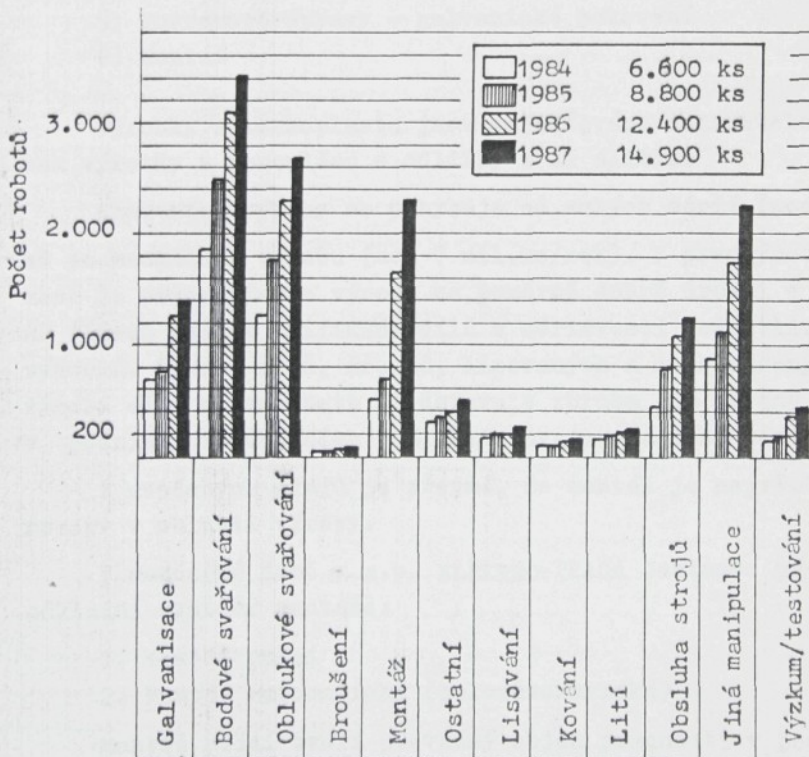


OBR. 11 Tempo nasazování robotů ve Španělsku



OBR. 12

Tempo nasazování robotů v NSR



OBR. 13

Přehled aplikací robotů v NSR

5. Rozbor automatizace výroby ve s.p. ELEKTRO-PRAGA Jablonec

ZSE EP Jablonec je monopolním výrobcem elektroinstalačního materiálu pro domovní rozvody. Typickými představiteli výrobků jsou domovní spínače, zásuvky, vidlice a objímky, které tvoří nosné typy výroby a které jsou vyráběny v mnoha různých variantách.

Z výrobních technologií převládají následující:

- 1) Výroba nýtů a šroubů - vysoce produktivní lisů a válcovačky závitů
- 2) Výroba soustružených dílů - soustružnické automaty TORNOS a INDEX
- 3) Výroba lisovaných dílů z plechu - automaty CHAPPUIS, TALO a lisů LEND s automatickým podáváním materiálu
- 4) Výroba dílů z termosetu - vstřikovací a přetlačovací lisů
- 5) Povrchové úpravy - galvanické pokovení
- 6) Montáž

Výrobky z termoplastu jsou zajišťovány dodavatelsky, rovněž tak výrobky z porcelánu a odlitky z Al slitin.

Charakter výroby se pohybuje od malých sérií (cca 2tis.ks/rok) až po hromadnou výrobu (cca 7 mil.ks/rok). V prvovýrobních provozech je automatizace výroby na poměrně dobré úrovni a to převážně vlivem značné unifikace dílů a sériovosti jednotlivých typů výrobků. Výroba nýtů, šroubů, lisovaných a soustružených dílů a výroba dílů z termosetu představuje zhruba 30% objemu pracnosti v podniku. Zbývajících 70% představuje pracnost montáže.

Z uvedených údajů je zřejmé, že montáž je největším zdrojem rezerv v oblasti výroby.

V současné době v s.p. ELEKTRO-PRAGA Jablonec převažují 2 základní systémy montáže:

1. Montáž ruční
2. Montáž automatická (poloautomatická)

Montáž ruční tvoří převážný objem pracnosti v podniku, cca 85% pracnosti z objemu montáže. Je uskutečňována u takových výrobků, které se vyrábějí v malých sériích a středních sériích,

tzn. v objemu 5.000 až 1.000.000 ks/rok. Výhodou tohoto způsobu výroby je rychlý přechod na výrobu jiného typu výrobku, či jiné varianty výrobku bez časově a finančně nákladného přeseřizování strojů. Podstatnou nevýhodou však je značná náročnost na počet pracovních sil.

Montáž automatická tvoří zhruba 15% objemu pracnosti v oblasti montáže. Přes tento malý objem pracnosti představuje automatická montáž asi 25% objemu výroby zboží finálních výrobků a zhruba 10% objemu v přípravných montážních operacích. Tato výroba je uskutečňována u nosných typů výrobků, které se vyrábějí ve velkých a hromadných sériích, tzn. 1.000.000 ks/rok a více. Nejvyšší sériovost vykazuje výroba objímek se závitem E27, kde počty kusů v sérii u základního typu dosahují zhruba 7.000.000 ks/rok.

Veškerá automatická (poloautomatická) montáž je realizována na jednoúčelových strojích. Všechny tyto stroje byly vyvinuty a vyrobeny ve vlastním středisku pro vývoj a výrobu jednoúčelových strojů (středisko RMV - Racionalizace a Mechanizace Výroby). Toto středisko bylo založeno v roce 1957 a počátkem 60. let byl vyvinut systém stavebnicových jednotek pro montáž a obrábění.

Jednoúčelové stroje pro montáž i obrábění jsou až na malé výjimky koncipovány jako stroje se synchronním systémem montáže. Koncepce strojů EP Jablonec je tvořena systémem samostatných mechanických pracovních jednotek, které jsou navzájem propojeny elektronickým řízením. Synchronizačním členem je základní poháňecí jednotka pro přesouvání montážních skupin, která udává takt stroje. Touto synchronizační jednotkou je buď karuselová převodová skříň základacího talíře, nebo centrální převodová skříň lineární montážní linky.

Výkon takového synchronního montážního stroje je značný. Při teoretickém výkonu cca 10.500 ks/směnu dosahuje praktický výkon 7.000 až 9.500 ks/směnu v závislosti na složitosti tvaru jednotlivých součástí montovaného výrobku, počtu součástí ve výrobku a v neposlední řadě na kvalitě výroby jednotlivých součástí.

Také cena těchto zařízení je značná. Pohybuje se od 300.000.- Kčs při výrobě jednoduššího automatu až do 1.500.000,- Kčs při stavbě automatické montážní linky. Vzhledem ke snížení pracnosti montáže se pohybuje cena montážního automatu kolem hodnoty 100,- Kčs za 1 uspořenou normohodinu. Tato hodnota je samozřejmě značně ovlivněna objemem pracnosti předchozí ruční montáže (tzn. kvalitou normování). Přes tuto značnou cenu montážního stroje realizujeme na montážních linkách 1.000,- Kčs výroby zboží ve VC v rozsahu 1,5 + 2,1 Nh (normohodina). Průměrná hodnota je cca 1,7 Nh/1.000,- Kčs. Při ruční montáži dosahujeme hodnoty 5,0 + 12,0 Nh/1.000,- Kčs. Průměrná hodnota je cca 8,5 Nh/1.000,- Kčs. Zavedením jednoúčelových montážních strojů dosahujeme zhruba zvýšení produktivity práce o 500%.

Značnou nevýhodou synchronních montážních strojů je jejich malá flexibilita. V podstatě lze říci, že montážní stroje EP Jablonec jsou schopny vyrábět až na malé výjimky pouze jednu variantu výrobku. Uvedené skutečnosti předurčují synchronní montážní stroje pouze k výrobě velkosériových a hromadně vyráběných výrobků.

Současná situace na čsl. trhu elektroinstalačního materiálu však vyžaduje od výrobců značnou variabilitu výrobního programu. Trh je nasycen zbožím, které EP Jablonec vyrábí ve velkých sériích a požaduje rozšíření sortimentu jak do různých variant základního výrobku tak do větší rozmanitosti základních typů. Tyto požadavky způsobují ve výrobě značné problémy, neboť požadavky čsl. trhu požadují výrobu v menších či malých sériích, které nelze vyrábět na synchronních montážních strojích a každý nárůst výroby je podmíněn nárůstem pracovních sil, kterých se nedostává. Pro další rozvoj výroby elektroinstalačního materiálu je třeba přejít na jiné typy montážní technologie.

Z mnoha systémů montážních technologií se jeví jako nejvhodnější tyto následující:

- 1) Asynchronní montážní systém
- 2) Pružný montážní systém
- 3) Robotisovaný montážní systém

Po zvážení všech aspektů výše uvedených systémů bylo v s.p. ELEKTRO-PRAGA Jablonec rozhodnuto začít s vývojem robotizovaného montážního systému, který by mohl nejlépe vyhovovat pro výrobu elektroinstalačního materiálu při velikosti sérií 5.000 + 200.000 ks/rok.

6. Robotisace výroby spínačů

Z množství typů elektroinstalačních výrobků s.p. EP Jablonec se jeví jako nejvýhodnější realizace robotisovaného montážního systému pro výrobu přístrojových spínačů řady 3353, 3454, 3554 a 3654. Výrobní série těchto spínačových řad se pohybují v rozsahu 3.000 + 350.000 ks/rok. Spínače sestávají z 19 základních součástí a umožňují výrobu cca 42 navržených variant výrobků, přičemž některé součástky se vyskytují ve více řadách.

Specifikace typů

3353 - spínač 4A/250V ; provedení kontaktů - pájecí očka

3454 - spínač 6A/250V ; provedení kontaktů - konektor

3554 - spínač 10A/250V; provedení kontaktů - šroubová svorka

3654 - spínač 16A/250V; provedení kontaktů - šroubová svorka

Vzhledem k dané výrobní kapacitě montážního celku na rok a počtu vyráběných spínačů v jednotlivých řadách bylo rozhodnuto rozdělit výrobu na 2 robotisovaná pracoviště takto:

- 1) Montáž řad 3353 a 3454 - konektorová provedení
- 2) Montáž řad 3554 a 3654 - svorková provedení

V 1. fázi vývoje robotisovaného montážního systému půjde o ověření vhodnosti robotisované montáže pro výrobu elektroinstalačního materiálu. V důsledku toho bylo rozhodnuto rozpracovat tento systém pouze na montáž konektorového provedení spínačů, t.j. na montáž spínačů řady 3353, 3454.

Na základě zavedení tohoto stroje do výroby a zkušeností z jeho provozu budou vyvozeny závěry o vhodnosti jeho rozšíření jak do oblasti výroby elektroinstalačního materiálu, tak do oblasti speciální výroby konektorových spojů.

Jednotlivé varianty dosud vyráběných typů řad 3353 a 3454 jsou uvedeny v tabulce č. 3 spolu se stručnou specifikací varianty. Spínače 3454 - .. 665 jsou v provedení základního typu (3454 - .. 615) s ozdobným rámečkem.

TAB 3

Typ \ Řada	3353	3454	Specifikace
01 615	X	X	spínač jednopólový
02 615	X	X	dvojité spínač jednopólový
05 615	X	-	2x spínač se společným přívodem
06 615	X	X	přepínač
53 615	X	X	2x spínač jednopólový
58 615	X	-	spínač + přepínač s nulovou polohou
62 615	X	-	dvojité přepínač s nulovou polohou
68 615	X	-	přepínač s nulovou polohou
79 615	X	-	přepínač + tlačítko
84 615	X	-	dvojité spínač + tlačítko
82 665	-	X	tlačítko s přepínačem
21 615	-	X	spínač s doutnavkou
01 625	X	-	spínač se značkou zapnuto
80 615	X	-	tlačítko

Varianta spínače 3353-05 615 nebude na robotisovaném pracovišti vyráběna. Společný přívodní kontakt v.č. 3353-R3 má opačný systém zajištění než ostatní pevné kontakty. Z prostorových důvodů nelze realizovat na stroji. Také varianta 3454-21 615 nebude vyráběna z důvodu montáže signalizační doutnavky s předřadným odporem jejichž automatické podávání a orientace není v současných možnostech automatisace. Ostatní typy budou na uvažovaném robotisovaném zařízení vyráběny.

6.1 Konstrukce spínače

V tabulce č. 4 jsou uvedeny základní součástky pro výrobu typových řad spínačů 3353 a 3454.

TAB 4

Poř.č.	Název	Typ.číslo
1	spodek	3353-B1, 3454-B1
2	spodek dvojitý	3353-B21, 3454-B21
3	kontakt pevný	3353-R15
4	kontakt pevný	3454-R2
5	kontakt pohyblivý	3353-A31
6	kontakt pohyblivý	3353-A33
7	kontakt pohyblivý	3353-A35
8	páčka	3353-B8
9	páčka dvojitá	3353-B9
10	pružina	3353-P7
11	palec	3353-B10
12	opěrka	3353-B11

Pro dosavadní způsob ruční montáže spínače tvary a rozměry jednotlivých součástek vyhovují stávající technologii. Pro robotizační montáže však jednotlivé součástky nevyhovují požadavkům jak automatického podávání dílů tak, a tozejména, automatické orientaci. Jednotlivé součástky budou upraveny podle zásad technologičnosti konstrukce.

6.2 Technologický postup montáže

Technologický postup ruční montáže spínačů řady 3353 a 3454 je rozvržen na 3 pracoviště:

- a) montáž a fixace pevných kontaktů ve spodku spínače
- b) montáž polosestavy páčky + celková montáž spínače
- c) kontrola

(Pro úplnost je třeba uvést, že v této práci nebude proveden rozbor ruční montáže typů, které se nebudou na připravovaném stroji realizovat, tzn. spínače se signální doutnavkou a operace uchycení krycích ozdobných rámečků provedení-... 65).

Pracoviště a) Do speciálního přípravku upnutého na ručním vřetenovém lisu se uloží pevné kontakty 3554-R2 podle konfigurace vyráběného typu. Dále se do přípravku vloží spodek 3353-B1 (B21) (3454-B1,B21). Pevné kontakty se pomocí lisu zatlačí do drážek spodku a provede se jejich zajištění otočením konců kontaktů o úhel 30° (resp. 15°). Polosestava se vyjme z přípravku, zkontroluje pevnost kontaktů a odloží se.

Pracoviště b) Do připravené polosestavy spodku s kontakty se vloží pohyblivý kontakt 3353-A31 (A33, A35) a toto se vloží do spec. přípravku vřetenového ručního lisu. Do otvoru páčky 3353-B8 (B9) se vloží pružina 3353-P7 a palec 3353-B10, jehož spodní konec se slabě namaže vaselinou. Páčka se vloží do vrchní části spec. přípravku a pomocí lisu se zamáčkne do spodku. Zkontroluje se vzhled spínače, pravidelnost chodu a odloží se.

V případě výroby tlačítka se do polosestavy spodku vloží opěrka 3353-R11, do páčky na zvláštní výstupek nasune pružina 3353-P7 a páčka se v přípravku zamáčkne do spodku.

Pracoviště c) Spínač se vloží do elektrické zkoušečky a přepínáním se ověří správná funkce spínače. Spínač se vyjme a po 200 kusech zabalí.

6.3 Technologičnost konstrukce spínače

Konstrukce spínače řady 3353 vycházela z požadavků ruční montáže. Tomu také odpovídaly tvary jednotlivých součástek. Pro potřebu robotisace výroby spínače bylo nutno posoudit každou součástku ze tří hledisek:

- 1) vhodnost tvaru a rozměrů součástky pro automatické zásobování a orientaci ve vibračním zásobníku
- 2) vhodnost tvaru součástky pro uchopovací čelisti chapadla robota
- 3) vhodnost dvojice součástek pro automatické zasouvání, t.j. tvar a rozměry zasouvané součástky a příslušného otvoru

Je třeba konstatovat, že téměř všechny součástky bylo nutno upravit, protože jejich tvary a rozměry neodpovídaly pravidlům technologičnosti jejich konstrukce dle výše uvedených hledisek.

6.3.1 Spodek 3454-B1, příl.1 obr.1

1) Při zakládání pevných kontaktů není pevně stanoveno situování kontaktů podle číselného označení na spodku (odběratelé to nepožadují). Při montáži tedy není nutno orientovat tuto součástku podle číselného označení. Je však nutné vytvořit symetricky k ose spínače další výstupek pro uložení opěrky pružiny (det.D). Opěrka 3353-R11 je vkládána při výrobě tlačítka.

2) Pro snadnější navádění pevných kontaktů při jejich zakládání je nutné vytvořit náběhy v drážce (det.A)

3) Pro snadnější navádění pohyblivých kontaktů při zakládání je vhodnější protáhnout drážku pro ložisko kontaktu až k hořenímu okraji vnitřní dutiny (det. 3). Dále je nutné vytvořit náběhy s patřičnými úkosi (det. B a C).

6.3.2 Spodek dvojitý 3454-B21, příl.1 obr. 2

1) Při zakládání pevných kontaktů je pevně stanoveno situování kontaktů podle číselného označení. Z tohoto důvodu je nutná přesná orientace součásti pro další montáž. Orientace ve vibračním zásobníku je usnadněna vytvořením asymetrické drážky na spodku součástky (det. A).

Další úpravy jsou totožné s úpravami spodku 3454-B1 podle bodů ad2, ad3.

6.3.3 Kontakt pevný 3454-R2 (3353-R15), příl.1 obr.3

Pro usnadnění navádění kontaktů do spodku je nutné vytvořit na kontaktu náběhy s patřičnými úkosi (det. A, det.B).

6.3.4 Kontakt pohyblivý 3353-A31 až A35, příl.1 obr.4

Pro zakládání součástky je nutné tuto uchopit chapadlem robota v krajních partiích součástky. V původním řešení byly v těchto místech různoběžné hrany, za které nebylo možno součástku uchopit. Bylo nutné změnit tvar součástky tak, aby měla součástka v místě uchopení stále stejnou šířku. Tímto řešením také došlo k mírnému snížení spotřeby materiálu.

6.3.5 Páčka 3353-B8 (3353-B9), příl.1 obr. 5

1) Pro usnadnění zamáčknutí páčky při montáži do spodku je třeba vytvořit na ložiskových čepech páčky náběhy (det.A).

2) Orientace páčky v podélné ose součástky je ve vibračním zásobníku nemyslitelná bez podstatných úprav na součástce. Pro montáž tlačítka je však nutné, aby vratná pružina byla si-

tuována podle konfigurace pevných kontaktů. Z těchto důvodů byl vytvořen, symetricky ke svislé ose páčky, nasouvací trn tak, aby nebylo nutno páčku ke svislé ose orientovat (det. B).

3) Pro usnadnění navádění palce 3353-B20 a pružiny 3353-P7 při montáži do páčky byly v komínku páčky vytvořeny náběhy (det.C).

Veškeré změny, které si vyžádala orientace součástí ve vibračním zásobníku či možnost uchopení chapadlem robotu, vycházely ze stávajících konstrukcí forem a řezných nástrojů pro původní výroby součástí. Dále byl brán zřetel na ekonomickou stránku, neboť každá úprava vstřikovací formy nebo lisovacího nástroje je značně finančně nákladná. Výsledné řešení součástí je tedy kompromisem mezi optimem technického řešení a minimalizací finančních nákladů potřebných k realizaci úprav.

6.4 Technologický postup robotisované montáže spínače

V úvahách o technologickém postupu montáže spínače na robotisovaném montážním stroji je třeba vycházet z následnosti montážních operací ruční montáže, z charakteru operací na jednotlivých pracovištích a na orientaci jednotlivých montážních polosestav.

Z celkové sestavy spínače (obr. 14) je zřejmé, že spodek 3454-B1,B21 je základní součástí jak celého spínače, tak hlavní součástí polosestavy spodku. Páčka 3353-B8 (B9) je hlavní součástí polosestavy páčky. Z celkové sestavy spínače a technologického postupu vyplývá, že obě tyto polosestavy je nutno montovat na rozdílných strojních pracovištích. Pracoviště funkční kontroly má jiný charakter operací a je nutno počítat se zvláštním pracovním místem.

6.5 Koncepce návrhu stroje

Jedněmi z hlavních kritérií vhodnosti použití průmyslového robota pro montáž je rychlost pohybu uchopovací hlavičky a přesnost polohování. Při vysoké úrovni těchto dvou parametrů je však

značně nízká nosnost robota resp. nízká zatížitelnost výstupní hlavice vnějšími silami. Aplikaci průmyslového robota pro montáž je tedy nutno kombinovat s pracovními jednotkami, které vykonávají za robota silové operace.

Na základě těchto uvedených zkušeností je třeba uvažovat pro montáž spínače 3353 (3454) s těmito pracovními jednotkami:

- a) Pracovní jednotka pro zatlačení pevných kontaktů do spodku a natočení kontaktů
- b) Pracovní jednotka zamačkávání páčky do spodku
- c) Funkční kontrola

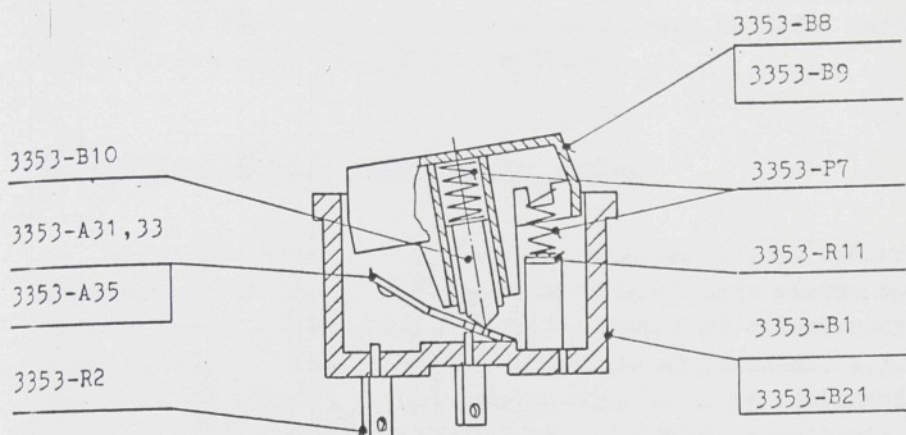
Zcela samostatnou součástí návrhu robotizovaného montážního pracoviště je mezioperační doprava polosestav. Tuto dopravu lze v podstatě řešit dvěma způsoby. V první řadě lze tuto mezioperační manipulaci realizovat robotem. Tohoto způsobu lze využít v případě, že robot není v průběhu montážního procesu časově plně vytížen a čas nutný k mezioperační manipulaci je kratší než pracovní čas periferních pracovních jednotek. V opačném případě, kdy čas pro vykonání mezioperační dopravy robotem je delší než pracovní čas pracovních jednotek a robot je pro montáž plně časově vytížen je tento způsob nevhodný a je nutno použít druhého způsobu, t.j. použití přídatné manipulační jednotky. Touto jednotkou může být:

- a) další robot
- b) manipulátor
- c) dopravní systém lineární nebo karuselový

V návrhu robotizovaného montážního stroje na spínač 3353 (3454) bude robot vykonávat veškeré montážní operace, t.j. zakládání všech součástek. Použití robota také pro mezioperační dopravu by tedy značně snižovalo výkon stroje.

Použití dalšího robota pro dopravu není možné z finančního hlediska, jelikož se jedná o montážní stroj, který by měl ověřit vhodnost robotizované montáže pro elektroinstalační výrobu a robot je finančně nejnáročnější zařízení systému.

V návrhu stroje navrhují realizovat mezioperační dopravu speciální dopravní jednotkou s kruhovou nebo lineární dráhou. S těmito způsoby dopravy máme v podniku značné zkušenosti, neboť tvoří základní systém dopravy u synchronních montážních systémů, které používáme již více než 20 let. Tento způsob dopravy je spolehlivý, přesný a poměrně levný.



Vestavný spínač 3353

Obr. 14

7. Varianty řešení stroje

Rozbor aspektů technologického postupu montáže spínače řady 3353 (3454) a rozbor koncepce stroje, tak jak byly rozpracovány v kapitolách 3 a 6 jednoznačně vede ke dvěma variantám robotisovaného montážního zařízení.

7.1 Systém s kruhovou meziperační dráhou

Koncepce návrhu stroje je znázorněna na obr.15. Veškeré montované součástky jsou dopravovány k odebíracím místům pomocí vibračních zásobníků, ve kterých jsou také orientovány. Robot vykonává všechny montážní pohyby se součástkami, t.j. přemístění součástek z místa odebírání do místa zakládání. Silové operace jsou realizovány pracovními jednotkami: P_2 - natočení pevných kontaktů; P_3 - zamáčknutí páčky do spodku. Funkční kontrola je realizována jednotkou P_4 a meziperační doprava karuselovým pohonem P.

Montážní postup:

- 1) Robot založí do karuselového talíře do přípravku "A" v pozici "1" spodek B1 (B21)
- 2) Robot založí do spodku B1 v pozici "1" pevné kontakty R2 podle vyráběné konfigurace spínače
- 3) Karusel přemístí přípravek "A" do pozice "2"
- 4) Jednotka P_2 zajistí pevné kontakty natočením
- 5) Karusel přemístí přípravek "A" do pozice "1"
- 6) Robot založí pohyblivý dotek A31 (A33,A35)
- 7) Karusel přemístí přípravek "A" do pozice "3" (vyčká na založení páčky - op. 11)
- 8) Robot založí do mont. místa "B" páčku B8 (B9)
- 9) Robot založí do páčky pružinu P7
- 10) Robot uchopí palec B10, namočí jej do vaseliny v místě "D" a založí do páčky v místě "B"
- 11) Robot uchopí polosestavu páčky v místě "B" a založí do přípravku pracovní jednotky P3
- 12) Jednotka P3 zamáčkne páčku do spodku

- 13) Karusel přemístí přípravek "A" do posice "4"
- 14) Jednotka P₄ provede zkontrolování funkce spínače
- 15) Karusel přemístí přípravek "A" do posice "5"
- 16) Robot vyjme spínač a odloží na určené místo podle výsledku funkční kontroly

Na základacím talíři jsou umístěny pouze 2 přípravky a vzájemně jsou posunuty o 180°. Jednotky P₂ a P₃ pracují ve stejném čase. Vyjímání smontovaných spínačů z posice "5" je v pracovním čase jednotky P₃.

7.2 Systém s lineární mezioperační dráhou

Koncepce návrhu stroje je znázorněna na obr. 16. Všechny montované součástky jsou dopravovány k odebíracím místům pomocí vibračních zásobníků, ve kterých jsou také orientovány. Robot vykonává všechny montážní pohyby se součástkami, t.j. přemístění součástek z místa odebíracího do místa základacího. Sílové operace jsou realizovány pracovními jednotkami P₂ - natočení pevných kontaktů, P₃ - zamáčknutí páčky do spodku. Funkční kontrola je realizována jednotkou P₄ a mezioperační doprava lineárním posouváním spínačů mezi vodícími lištami. Odebírání smontovaných spínačů je řešeno jejich samočinným vypadáváním na konci vodících lišt.

Montážní postup:

- 1) Robot založí do prostoru vodících lišt spodek B1 (B21) v posici "A"
- 2) Robot založí do spodku v posici "A" pevné kontakty R2 podle vyráběné konfigurace spínače
- 3) Lišta pohonu přemístí polosestavu do posice "B"
- 4) Jednotka P₁ zajistí pevné kontakty natočením
- 5) Lišta přemístí polosestavu do posice "C"
- 6) Robot založí do polosestavu v posici "C" pohyblivý kontakt A31 (A33, A35)
- 7) Lišta posune polosestavu do posice "D"
- 8) Robot založí páčku B8 (B9) do montážní posice "G"

- 9) Robot založí pružinu P7 do páčky
- 10) Robot uchopí palec B10, namočí jej do vaseliny a založí do páčky
- 11) Robot uchopí polosestavu páčky v posici "G" a založí do přípravku v posici "D"
- 12) Jednotka P₄ zamačkne polosestavu páčky do spodku
- 13) Lišta přesune smontovaný spínač do posice "E"
- 14) Jednotka funkční kontroly P₄ provede zkontrolování funkce spínače
- 15) Lišta přesune zkontrolovaný spínač na konec vedení "F"

Pracovní jednotky P₂, P₃ a P₄ pracují ve stejném čase. Spodky spínače B1 (B21) jsou posunovány mezi vodicími lištami dráhy bez přípravků. Na konci lineární dráhy (posice F) smontované spínače vypadávají do výhybkového mechanismu, kde jsou oddělovány zmetky od dobrých kusů.

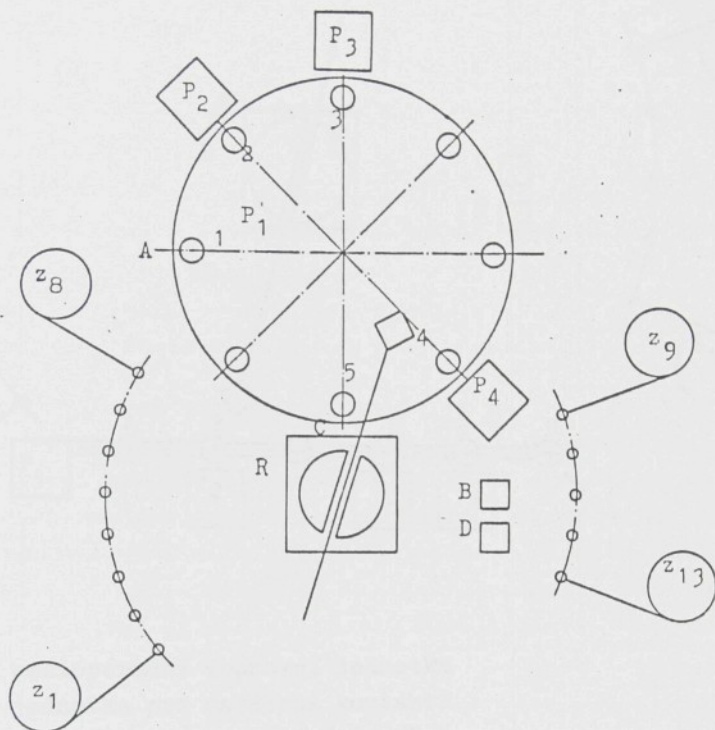
7.3 Výběr optimální varianty

Porovnáním obou variant řešení zjistíme, že obě varianty obsahují společný závažný nedostatek. Robot nestačí obsloužit periferní pracovní jednotky pro co nejvyšší výkon montážního zařízení. Pro tento typ spínače je výhodnější montáž pomocí 2 robotů. První montuje polosestavu spodku spínače, druhý polosestavu páčky + založení páčky do zamačkávací jednotky. Protože se v této fázi jedná o ověřovací vzorek robotizovaného montážního stroje a zakoupení druhého robota je finančně velice nákladné, není možné řešit stroj tímto způsobem.

Je tedy třeba vybrat optimální variantu řešení z rozpracovaných variant. Technologický postup montáže je u obou variant zhruba shodný, tzn. výkon zařízení je zhruba stejný. Pro výběr optimální varianty je rozhodující celkové uspořádání stroje a technické řešení pracovních jednotek.

Při uspořádání stroje podle varianty 2 (bod 7.2) s lineární mezioperační dráhou je z hlediska seřizování stroje a jeho údržby mnohem lepší přístupnost pracovních jednotek. Tzn. snížení nutných prostojů na seřízení a údržbu při jinak vysokých

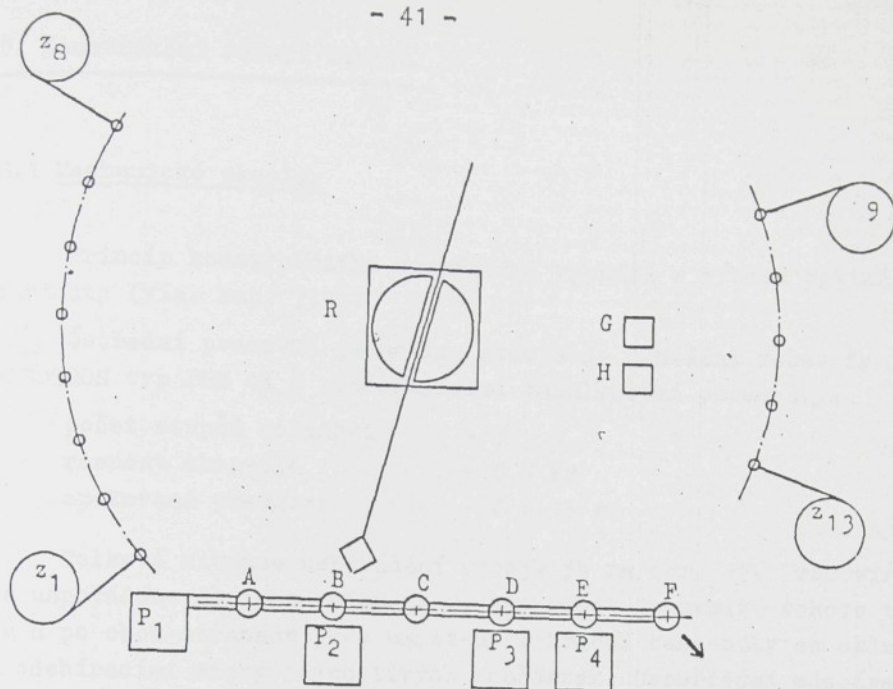
parametrech celého stroje. Z tohoto důvodu je vybrána jako řešení robotisovaného montážního zařízení varianta č. 2 (bod 7.2) - robotisovaný montážní systém s lineární mezioperační dráhou.



LEGENDA:

- P₁ - karuselová jednotka mezioperační dopravy
- P₂ - jednotka pro natáčení pevných kontaktů
- P₃ - jednotka pro zamačkávání páček
- P₄ - jednotka funkční kontroly
- R - robot
- z_{1÷13} - vibrační zásobník
- A - základací místo spodků B1, B21, pevných kontaktů R2 a pohyblivých kontaktů A31, A33, A35
- B - montáž polosestavy páčky
- C - vysouvání smontovaných spínačů
- D - nanášení vaselíny na palec B10

Robotizovaný montážní systém
s kruhovou mezioperační dráhou



LEGENDA:

- P₁ - mezioperační dopravní jednotka
- P₂ - jednotka pro natáčení kontaktů
- P₃ - jednotka pro zamačkávání páček
- P₄ - jednotka funkční kontroly
- R - robot
- z_{1÷13} - vibrační zásobník
- A - zakládací místo spodků B1, B21 a pevných kontaktů R2
- C - zakládací místo pohyblivých kontaktů A31 (A33, A35)
- F - vysouvání smontovaných spínačů
- G - montáž polosestavy páčky
- H - nanesení vaseliny na palec B10

Robotisovaný montážní systém
s lineární mezioperační dráhou

8. Konstrukční řešení stroje

8.1 Mechanické skupiny

Princip konstrukčního uspořádání vychází z výběru optimální varianty (viz. kap. 7.3).

Ústřední pracovní jednotkou stroje je montážní robot fy ROBOTRON typ PHM 41 s následujícími tabulkovými parametry:

počet stupňů volnosti	- 5
nosnost chapadla	- 0,5 kg
opakovaná přesnost	- $\pm 0,15$ mm

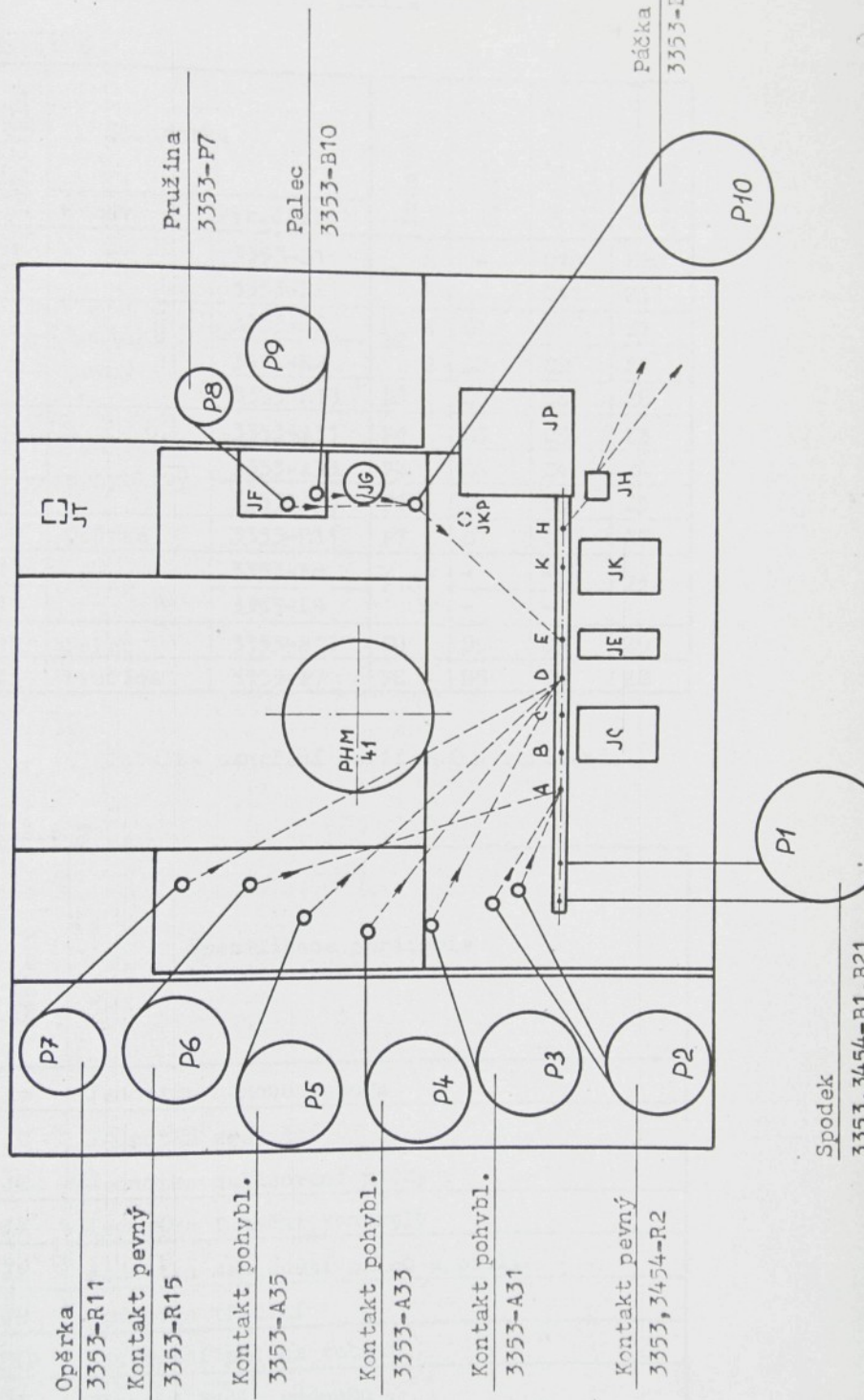
Celková situace uspořádání stroje je na obr. 17. Pracoviště je uspořádáno do tvaru písmene U, kdy robot je uvnitř tohoto tvaru a po obou stranách jsou umístěny vibrační zásobníky se skluzy a odebíracími místy jednotlivých součástek. Uspořádání odebíracích míst součástek zhruba odpovídá četnosti výskytu součástky v celoroční produkci (rok 1988) viz TAB 5. Montované podskupiny jsou posouvány mezi jednotlivými montážními místy v lineární dráze bez montážních přípravků.

Všechny součástky jsou orientovány ve vibračních zásobnících a odtud dopravovány v gravitačních skluzech do odebíracích míst. Přehled montovaných součástek, označení vibračních zásobníků, děličů a jednotlivých senzorů je uveden v TAB 6. Tam jsou součástky indikovány pomocí speciálních senzorů. Základní součástka spínače, spodek 3454-B1 (B21), je odebírána lištou lineární mezioperační dopravy. Ostatní součástky jsou z odebíracích míst transportovány do míst zakládacích pomocí robota. Robot vykonává pouze transportní operace. Silové operace vykonávají periferní pracovní jednotky. Přehled těchto jednotek a použité zkratky jsou uvedeny v TAB 7.

Jednotka pohonu posuvu (JP) - zajišťuje mezioperační dopravu montovaných podskupin mezi jednotlivými montážními místy.

OBR. 17 Montáž snímačů

celková situace



Tabulka označení periferních částí.

TAB.: 6

Poř.číslo	Součástka		Podavač	Dělič	Odebírací židlo	Zastavovací židlo
	Název	Výr.číslo				
1	Spodek	3353-B1	P1	A	-	C10
2		3353-B21		B	-	C11
3	Kontakt pevný	3353-R2	P2	A	D1	C1
4		3454-R2		B	D2	C2
5		3353-R15	P6	D6	C6	Z6
6	Kontakt pohyblivý	3353-A31	P3	D3	C3	Z3
7		3353-A33	P4	D4	C4	Z4
8		3353-A35	P5	D5	C5	Z5
9	Opěrka	3353-R11	P7	D7	C7	Z7
10	Páčka	3353-B8	P10	A	-	Z12
11		3353-B9		B	-	
12	Palec	3353-B10	P9	D9	C9	Z9
13	Pružina	3353-P7	P8	D8	C8	Z8

Tabulka označení periferních zařízení.

TAB.: 7

Označení	Specifikace periferie
JP	Jednotka náhonu posuvu
JC	Jednotka aretační
JE	Jednotka zalisování páčky
JK	Jednotka funkční kontroly
JF	Jednotka zakládání palců a pružin
JH	Jednotka třídění
JKP	Kontrolní poloha robota
JT	Tlakové židlo vzduchu
JG	Lázeň vaselíny

Tabulka četnosti součástek

TAB. 5

Množství /1988/ [tis.ks]		Počet součástek ve spínači [ks] / objem za rok [tis.ks]																	Pořadí četnosti										
		Typ spínače		Součástka																									
				Výrobní číslo		Název																							
Pořadové číslo	455	10	200	65	140	2	20	5	8	430	112	150	60	16	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1	455	3353-01615	3353-01625	3353-02615	3353-06615	3353-58615	3353-62615	3353-68615	3353-79615	3353-80615	3454-01615	3454-02615	3454-06615	3454-01665	3454-53665	3454-82665													
2																													
3																													
4																													
5																													
6																													
7																													
8																													
9																													
10																													
11																													
12																													
13																													

Jednotka aretační (JC) - zajišťuje 2 operace

- 1) Protlačení pevných kontaktů drážkou ve spodku (robot kontakty jen lehce zasune)
- 2) Aretace kontaktů jejich natočením vzhledem ke spodku

Jednotka zalisování páčky (JE) - robot založí polosestavu páčky do přípravku jednotky a tato ji zalisuje do podskupiny spodku spínače

Jednotka funkční kontroly (JK) - provádí elektrickou kontrolu funkce spínače v závislosti na konfiguraci spínače

Jednotka zakládání palců a pružin (JF) - provádí terciální orientaci palce a situuje obě součástky tak, aby je robot mohl spolehlivě odebírat

Jednotka třídění (JH) - provádí oddělení zmetkových kusů při propadu spínačů z montážní linie

Všechny pracovní jednotky mají nezávislý pohon a jejich činnost řídí počítačový systém. Jednotky JP, JC a JK jsou elektromechanické, jednotky JE a JF jsou pneumatické a jednotku JH pohání střídavý elektromagnet.

8,2 Řídicí systém

Celý stroj je řízen dvěma nezávislými počítači, které jsou propojeny komunikačními kanály.

Hlavním počítačem (Master computer) je řídicí počítač robota PHM 41. Je postaven na fázi mikroprocesoru Z 80. Programy montáže jsou uloženy na magnetofonové kazetě, odkud jsou nahrávány do paměti tohoto počítače. Veškerý styk obsluhy se strojem je prostřednictvím klávesnice a obrazovkou displeje zprostředkován tímto počítačem. Počítač ROBOTRON také vydává příkazy pro vedlejší počítač podle potřeb hlavního programu.

Vedlejším počítačem (slave computer) je počítač SAPI-1 a řídí práci všech periferních zařízení. Je postaven na bázi mikroprocesoru INTEL 8080A. Nezávisle na hlavním počítači zabezpečuje dodávku součástek do odebíracích míst, t.j. řídí činnost vibračních zásobníků a příslušných děličů v závislosti na odebraných

součástkách. Dále přijímá příkazy z hlavního počítače a zabezpečuje jejich vykonání. V paměti uchovává veškeré důležité informace o stavu vykonání operací jednotlivých pracovních jednotek, zabezpečuje bezkolizový chod těchto jednotek. Všechny důležité informace pro obsluhu stroje počítač zobrazuje na světelném panelu.

Řídicí systém provádí 100% kontrolu přítomnosti součástek v odebíracích místech a vyhodnocuje výsledky funkční kontroly podle zadání konfigurace spínače. Při výskytu jakékoliv poruchy dochází k jejímu oznámení obsluze stroje, v případě podstatné poruchy k zastavení robota nebo jiných pracovních jednotek.

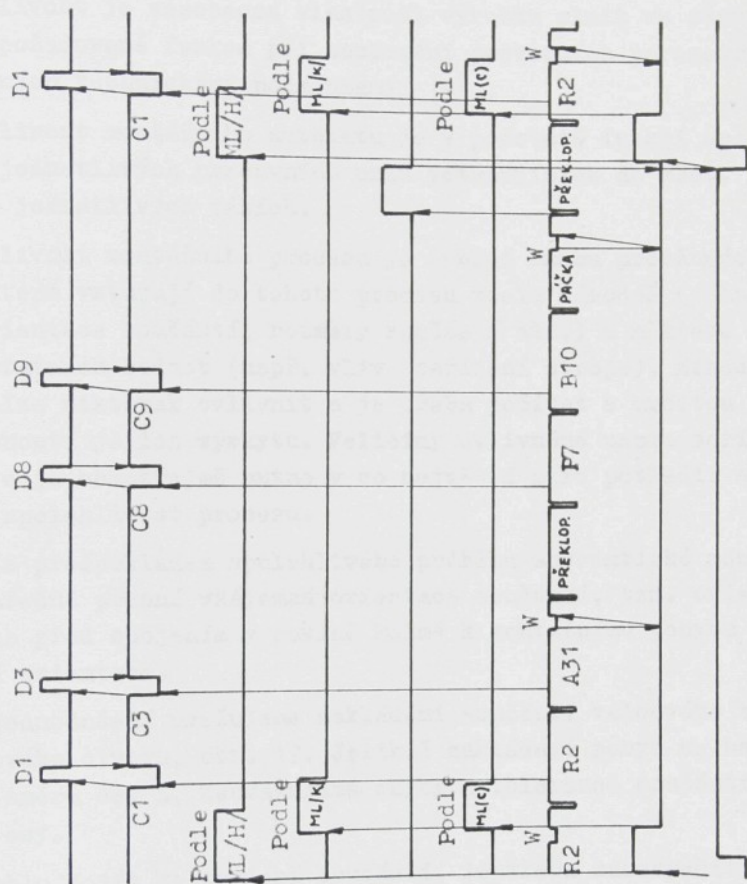
8.3 Funkce stroje

Časový diagram funkce stroje je znázorněn na obr. 18. Jsou v něm uvedeny nejen posloupnosti montáže spínače a posloupnost činnosti pracovních jednotek, ale také vazby řídicího systému na činnosti jednotlivých periferních zařízení. Např. činnost příslušného děliče je odvozena od odebrání součástky robotem, identifikace chybějící součástky čidlem, uvedením děliče do činnosti a zpět kontrolou, zda uvedená součástka byla oddělena a nachází se ve stanoveném čase po oddělení v odebíracím místě.

Příkazy z hlavního programu jsou uváděny do činnosti jednotka náhonu posuvu a jednotka zalisování páčky. Jednotka aretační a jednotka funkční kontroly jsou uváděny do činnosti vedlejším počítačem při dokončení cyklu náhonu posuvu v závislosti na stavu paměti montážní linie (ML). Jednotka třídění pracuje současně s náhonem posuvu v závislosti na stavu paměti montážní linie. Označené prodlevy v činnosti robota (W - WAIT) značí čekací smyčku, t.j. kontrolu zda je náhon posuvu ve výchozí poloze.

Vývojové schéma stroje je uvedeno v příloze č. 2.

OBR. 18 Časový diagram funkce stroje



Číslo D1	D9
Číslo C1	C9
Jednotka třídění	JH
Jednotka funkční kontroly	JK
Jednotka zalisování páček	JE
Jednotka aretační	JC
Robot	R
Jednotka posuvu	JP
Číslo C10, C11	

9. Spolehlivost

Spolehlivost je všeobecná vlastnost výrobku plnit ve stanoveném čase požadované funkce při zachování provozních parametrů výrobku, daných technickými podmínkami [9].

Spolehlivost montážního automatu je v podstatě funkcí spolehlivostí jednotlivých pracovních uzlů vstupujících do mont. procesu v jeho jednotlivých fázích.

Spolehlivost montážního procesu je funkcí mnoha proměnných z nichž některé vstupují do tohoto procesu zcela náhodně (např. přesnost orientace součástí, rozměry součástí atd.) a některé nabývají konstatních hodnot (např. vliv seřízení stroje). Náhodné veličiny nelze nikterak ovlivnit a je třeba počítat s určitou pravděpodobností jejich výskytu. Veličiny ovlivněné např. seřízením stroje je samozřejmě nutno v co největší míře potlačit a tím zvýšit spolehlivost procesu.

Hlavním předpokladem spolehlivého průběhu automatické montáže je dostatečně přesná vzájemná orientace součástí, tzn. orientace jejich ploch před spojením v rovině kolmé k montážnímu pohybu - terciální orientace.

Pro zjednodušení uvažujeme zakládání součástí válcového tvaru do kruhového otvoru, obr. 19. Jelikož zakládací pohyb se uskutečňuje ve směru osy Z, neuvažujeme chyby a tolerance součástí ve směru této osy.

Aby mohlo dojít ke spojení součástí, je třeba zabezpečit s určitou přesností jejich souosost. Obecně lze říci, že chybu souososti vzájemně montovaných součástí je možno vyjádřit jako funkci:

$$\xi = \xi (\xi_P, \xi_S, \xi_T, \alpha) \quad (1)$$

rozepsáno do souřadných os

$$\xi_x = \xi_x (\xi_{Px}, \xi_{Sx}, \xi_{Tx}, \alpha_x) \quad (2)$$

$$\xi_y = \xi_y (\xi_{Py}, \xi_{Sy}, \xi_{Ty}, \alpha_y) \quad (3)$$

- f_p - chyba polohy ustavovací plochy (osy) součásti
- f_s - chyba polohy otvoru v součásti vzhledem k ustavovací ploše (ose)
- f_T - chyba transportního zařízení
- α - chyba sklonu součásti

K těmto chybám se samozřejmě přidružují chyby vzniklé tolerancí rozměrů montovaných součástek $\Delta s_1, \Delta s_2$. Takže chybu vzájemné polohy součástí lze vyjádřit obecně jako funkci:

$$\eta = \eta(f_p, f_s, f_T, \alpha, \Delta s_1, \Delta s_2) \quad (4)$$

Uvedené chyby jsou společné všem technologickým montážním soustavám a v závislosti na konkrétních případech konstrukce jednotlivých členů montážní soustavy se určují běžnými metodami výpočtu.

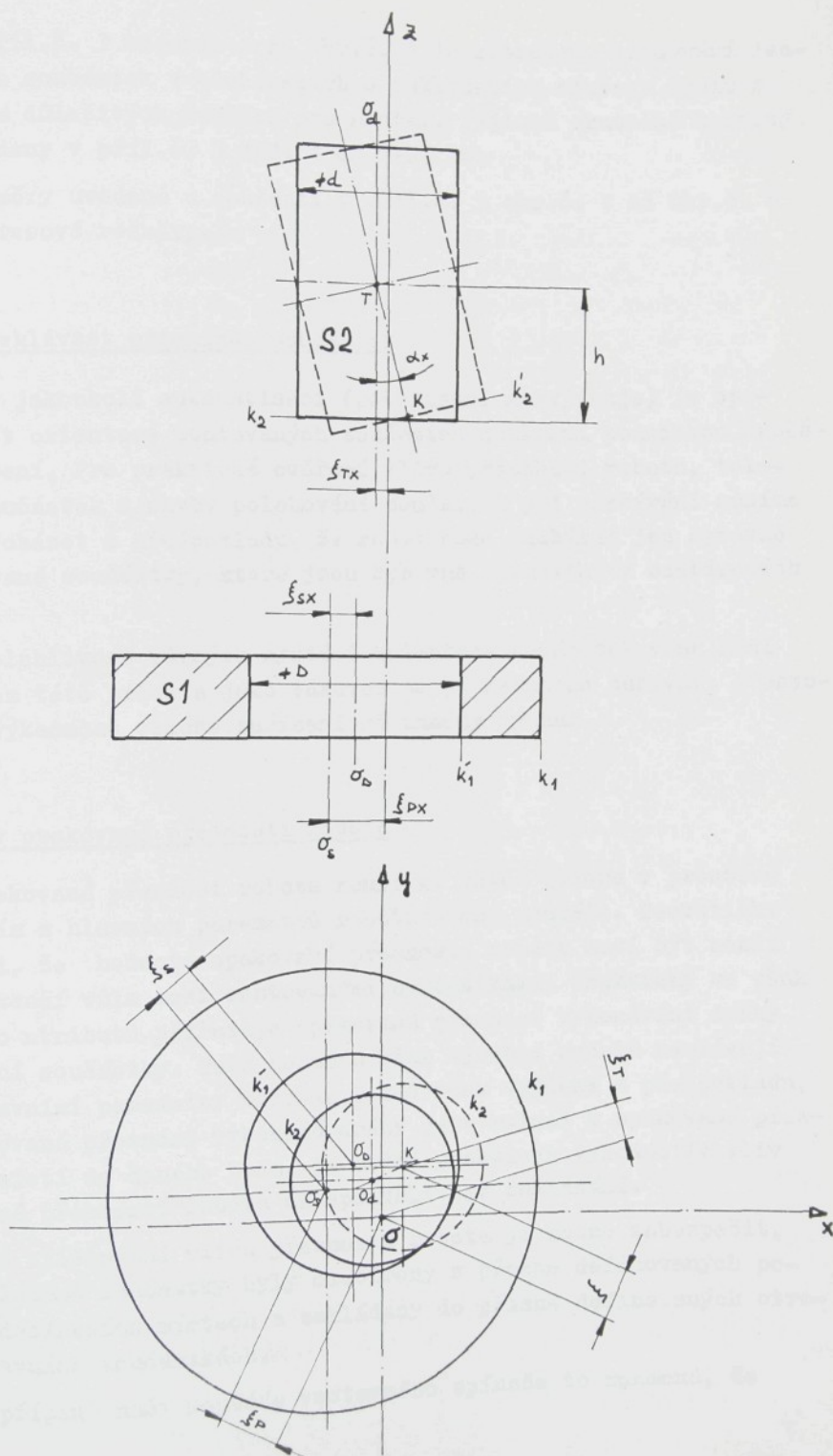
Aby mohlo dojít ke smontování součástí, nesmí výsledná chyba η mít vyšší hodnotu než vzájemná vůle mezi montovanými součástkami μ_{dov} .

Podmínky smontovatelnosti součástek na základě jejich tvarů jsou rozpracovány např. v [6] a [8] a nejsou obsahem této práce.

9.2 Rozbor objektů montáže.

Při rozboru spolehlivosti automatické montáže vycházíme z rozboru skutečných rozměrů a jejich tolerancí, přičemž rozložení rozměrů součástek není dáno podle výkresových rozměrů a teorie pravděpodobnosti, ale skutečným rozptylem ve výrobní dávce. Rozptyl odpovídajících rozměrů jednotlivých součástek je uveden v příl.č. 3 TAB. 1 až TAB. 10 spolu s váženým aritmetickým průměrem každého rozměru.

Posun hodnot maxima četnosti rozměrů většiny součástí od výkresových jmenovitých hodnot je způsoben stupněm opotřebení výrobních nástrojů, neboť tyto jsou konstruovány a vyráběny tak, aby rozhodující rozměry součástek v průběhu životnosti výrobního nástroje nepřesáhly toleranční pole a přitom zaručovaly co nejvyšší životnost nástroje



V příl.č. 3 na obr. 1 až obr.č. 6 je zobrazeno situování jednotlivých součástí v odebíracích a zakládacích místech spolu s označením důležitých rozměrů pro montáž, jejichž skutečné hodnoty jsou uvedeny v příl.č. 3 TAB. 1 až TAB. 10.

Rozměry uvedené u součástí v příl.č. 3 obr.č. 1 až obr.č. 6 jsou výkresové rozměry.

9.2 Spolehlivost orientace součástí

Pro jakoukoli automatisaci (robotisaci nevyjímaje) je spolehlivost orientace montovaných součástí základní podmínkou úspěšného řešení. Pro praktické ověření vlivu přesnosti robota, tolerance součástí a chyby polohování součástí při odebírání musíme nutně vycházet z předpokladu, že robot bude odebírat jen správně orientované součástky, které jsou správně situovány v odebíracích místech.

Spolehlivost různých systémů orientace součástí však není předmětem této práce a jako takovou se jí nebudeme zabývat, přestože pro výkonnost celého zařízení má značný význam.

9.3 Vliv opakované přesnosti robota

Opakovaná přesnost robota zaujímat tutéž polohu v prostoru je jedním z hlavních parametrů robotisované montáže. Teoreticky lze říci, že hodnota opakované přesnosti robota musí být menší než nejmenší vůle mezi montovanými součástkami. Prakticky se však k tomuto atributu přiřazuje opakovaná přesnost vykonávání dráhy zakládání součástky. Tuto hodnotu však výrobci robotů neudávají mezi hlavními parametry robota. Pokud však vyjdeme z předpokladu, že opakovaná přesnost vykonané dráhy je v relaci k opakované přesnosti najetí do daného bodu, je možné prakticky vyhodnotit vliv opakované přesnosti robota na spolehlivost zakládání.

Při zjišťování vlivu přesnosti robota je nutno zabezpečit, aby zakládané součástky byly odebírány z přesně definovaných poloh v odebíracích místech a zakládány do přesně definovaných otvorů v hlavních součástkách.

V případě naší montáže vestavného spínače to znamená, že

hlavní součástka (spodek 3353-B21; páčka 3353-B8) je prvně fixována v zakládací poloze a zakládána součástka je opakovaně (vždy tatáž součástka) odebírána z odebíracího místa. Odebíraná součástka je přitom ručně dotlačena na stále stejné dorazové plochy v odebíracím místě.

Samozřejmě při tomto a dalších způsobech zkoušek budou do výsledků negativně vstupovat chyby, které vznikají při seřizování robota do odebíracích, ale hlavně do zakládacích míst. Při správném seřízení by výsledky při zakládání různých součástek měly být odpovídající. V opačném případě výsledky zkoušek ukazují na nepřesné seřízení.

9.4 Vliv vůle součástky v odebíracím místě

Vůle součástky v odebíracím místě má vliv na to, jak přesně uchopí čelisti robota danou součástku. Teoreticky lze říci, že hodnota vůle součástky v odebíracím místě musí vyhovovat následujícímu vztahu:

$$v_0 < v_s - (\xi_D + \xi_s + \xi_T) \quad (5)$$

v_0 - vůle součástky v odebíracím místě

v_s - vůle mezi montovanými součástkami

ξ_D - chyba polohy ustavovací plochy hlavní součástky

ξ_s - chyba polohy otvoru v hlavní součásti vzhledem k ustavovací ploše

ξ_T - chyba robota

Uvedený vztah je samozřejmě názornější při rozepsání do jednotlivých os souřadnicového systému.

$$v_{0x} < v_{sx} - (\xi_{Px} + \xi_{sx} + \xi_{Tx}) \quad (6)$$

$$v_{0y} < v_{sy} - (\xi_{Py} + \xi_{sy} + \xi_{Ty}) \quad (7)$$

Podmínkou smontovatelnosti obou součástek je splnění těchto vztahů pro všechny osy.

Při zjišťování vlivu vůle součástky v odebíracím místě je nutno zabezpečit, aby součástky byly zakládány do přesně definovaných otvorů hlavní součástky při náhodné poloze součástky v odebíracím místě.

V případě montáže vestavného spínače to znamená, že hlavní součástka (spodek, páčka) je pevně fixována v základacím místě. Odebíraná součástka je robotem libovolně odebírána z odebíracího místa.

Při experimentu jsou hodnoty zkreslovány vlivem opakované přesnosti robota. Tento vliv však nelze vyloučit.

9.5 Vliv přesnosti polohování hlavní součástky

Nepřesnost polohování transportního systému hlavní součástky v základacím místě, vůle této součástky v základacím přípravku, tolerance rozměrů hlavní součástky či kombinace těchto vlivů bezprostředně působí na spolehlivost vzájemné montáže součástek. Vzájemný vztah těchto vlivů lze vyjádřit následující nerovností:

$$V_s > f_p + f_s + f_r \quad (8)$$

Uvedený vztah samozřejmě platí i po rozepsání do jednotlivých souřadných os. Podmínkou úspěšné smontovatelnosti součástek je splnění uvedeného vztahu pro všechny osy.

Při zjišťování vlivu nepřesnosti polohování hlavní součástky je nutné, aby zakládána součástka byla odebírána robotem z přesně definované polohy v odebíracím místě při náhodné poloze hlavní součástky.

V případě montáže vestavného spínače je spodek spínače přemísťován podávacím mechanismem ve vodící liště. Nepůsobí zde tedy vliv vůle součástky v základacím přípravku. Další hlavní součástka, páčka, je dopravována vlivem gravitační síly v šikmém gravitačním skluzu, kde je dotlačována ostatními součástkami na pevnou dorazovou plochu. Nepůsobí zde tedy vliv nepřesnosti transportního systému, ale vůle páčky v odebíracím místě. Odebíraná součástka (vždy tatáž součástka) je opakovaně odebírána z odebíracího skluzu, kde je ručně dotlačována na stále stejné dorazové plochy v odebíracím místě.

Při experimentu jsou hodnoty zkreslovány vlivem opakované přesnosti robota. Tento vliv však nelze vyloučit.

9.6 Spolehlivost reálné montáže

Podmínky skutečné montáže se značně liší od podmínek simulovaných v předešlých kapitolách. Vlivy jednotlivých parametrů jsou náhodnou veličinou montáže. Předmětem této kapitoly je experimentálně zjistit, do jaké míry se spolehlivost reálné montáže liší od průběhu experimentů simulované montáže a zjistit společné znaky těchto experimentů.

Při výpočtu vůlí mezi odpovídajícími součástkami nevycházíme z výkresových rozměrů, ale z rozměrů maxima založení skutečných rozměrů dle příl.č. 3 TAB. 1 až TAB. 10.

10. Experimentální část

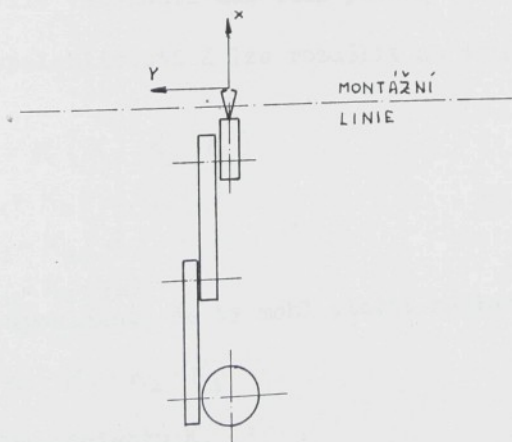
10.1 Rozbor objektů montáže

Rozptyl rozměrů jednotlivých součástí byl naměřen na souborech o velikosti 100 ks součástí od každého typu. Rozměry větší než 1 mm byly měřeny posuvným měřítkem s rozlišením 0,02 mm, menší rozměry pak mikrometrem s rozlišením 0,01 mm. Výsledky těchto měření jsou uvedeny v příl. č.3 TAB.1 až TAB. 10 spolu s váženým aritmetickým průměrem každého rozměru [7] .

Pro úplnost vstupních parametrů montáže byly změřeny hodnoty skutečné opakované přesnosti koncového členu mechanismu robota (f_r), přesnost polohování spodku 3353-B21 v liště (f_p) a hodnoty vůle páčky 3353-B8 v odebíracím (a také montážním) místě. Tato měření byla provedena celkem 50x pro každý parametr a zde jsou uvedeny naměřené hodnoty:

- 1) opakovaná přesnost robota $f_{rx} = f_{ry} = \pm 0,015 \text{ mm}$
- 2) přesnost polohování v liště $f_{py} = \pm 0,015 \text{ mm}$
- 3) vůle páčky v odebíracím místě $f_{py} = 0,31 \text{ mm}$
(aritmetický průměr)

Orientace souřadných os vzhledem ke kloubu chapadla robota je znázorněna na obr.č. 20.



obr. 20

10.2 Výsledky experimentu

Podle pravidel stanovených v kap.č. 9 byla provedena měření ve 4. sériích:

- 1) Měření vlivu přesnosti robota
- 2) Měření vlivu vůle při odebírání součástky
- 3) Měření vlivu polohování hlavní součástky
- 4) Reálná montáž

V každé z uvedených sérií bylo pro každou součástku provedeno 500 pokusů a zaznamenávány chybné pokusy. Výsledky experimentu jsou uvedeny v TAB. 8

10.3 Vyhodnocení experimentu

Na spolehlivost montáže má vliv řada parametrů. Podle průběhu experimentu lze předpokládat, že platí následující vztah pro stanovení koeficientu spolehlivosti K .

$$K = K(v_0, v_2, f_P, f_T, \sigma) \quad (9)$$

kde

- v_0 - vůle součástky při odebírání
- v_2 - vůle mezi součástkami při zakládání
- f_P - nepřesnost polohování hlavní součástky
- f_T - přesnost polohování robota
- σ - vliv velikosti dosedací plochy

Koeficient spolehlivosti K lze rozdělit na dílčí koeficienty K_1 následovně:

$$K = K(K_1, K_2, K_3) \quad (10)$$

tak, že

$$K_1 = K_1(v_0, v_2, f_T)$$

$$K_2 = K_2(\sigma)$$

$$K_3 = K_3(f_P)$$

Dále lze předpokládat, že by mohl platit následující vztah:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (11)$$

10.3.1 Stanovení koeficientu K_1

Za předpokladu platnosti vztahu (11) je navržena následující tvorba koeficientu K_1 pro každou součástku a souřadnou osu

$$K_1 = \frac{v_2 - v_0}{f_T} \quad (12)$$

TAB. 8 Výsledky experimentu

	Vliv přesnosti robota			Vliv vůle při odebírání			Vliv přesnosti polohování			Reálná montáž		
	Serie 1			Serie 2			Serie 3			Serie 4		
	P	Ch	S	P	Ch	S	P	Ch	S	P	Ch	S
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3454-R2	500	0	100	500	0	100	500	0	100	500	0	100
3353-R15	500	0	100	500	0	100	500	0	100	500	0	100
3353-A31	500	0	100	500	0	100	500	0	100	500	0	100
3353-A33	500	0	100	500	0	100	500	0	100	500	0	100
3353-A35	500	0	100	500	0	100	500	0	100	500	0	100
3353-B10	500	0	100	500	3	99,4	500	12	97,6	500	14	97,2
a) 3353-P7	500	51	89,8	500	56	89,0	500	62	87,6	500	68	86,4
b) 3353-P7	500	25	95,0	500	26	95,0	500	31	93,8	500	32	93,6
3353-R11	500	0	100	500	1	99,8	500	1	99,8	500	5	99,0

P - počet pokusů Ch - počet chyb S - spolehlivost %

TAB. 9

Součástka		Vše součástky mm											
		při odeírání						při zakládání					
		V ose X		V ose Y		V ose X		V ose Y		V ose X		V ose Y	
Název	Výr. číslo	VZOREK	MAX.	MIN.	VZOREK	MAX.	MIN.	VZOREK	MAX.	MIN.	VZOREK	MAX.	MIN.
Kontakt pevný	3454-R2	0,03	0,03	0,03	0,18	0,22	0,12	1,04	1,12	0,96	1,94	2,02	1,86
	3353-R15	0,03	0,03	0,03	0,41	0,17	0,07	0,50	0,58	0,40	1,72	1,84	1,64
Kontakt pohyblivý	3353-A31	0,42	0,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,46	0,54	0,38	0,54	0,62	0,46
	3353-A33	0,42	0,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,44	0,52	0,38	0,56	0,62	0,46
	3353-A35	0,42	0,42	0,03	0,03	0,03	0,03	0,44	0,52	0,38	0,56	0,62	0,46
Pelec	3353-B10	0,31	0,35	0,29	0,26	0,30	0,22	0,44	0,54	0,34	0,48	0,58	0,38
Pružina	a) 3353-P7	0,16	0,20	0,10	0,16	0,20	0,10	1,14	1,24	1,0	0,58	0,68	0,46
	b) 3353-P7	0,16	0,20	0,10	0,16	0,20	0,10	1,56	1,66	1,48	1,56	1,66	1,48
Opěrka	3353-R11	0,09	0,09	0,03	0,03	0,03	0,03	0,36	0,42	0,26	0,40	0,50	0,32

Jako směrodatnou hodnotu předpokládejme minimální hodnotu K_{1x} nebo K_{1y} . Hodnoty vůlí jednotlivých typů součástek při ode-
bírání (v_o) a při zakládání (v_z) jsou uvedeny v TAB. 9. Uvedené
hodnoty se vztahují k relevantním rozměrům příslušných součástek.
Za vzorek jsou považovány součástky s rozměry o hodnotě váženého
aritmetického průměru u příslušného rozměru. TAB. 10a uvádí hod-
noty vstupních parametrů platných pro sérii měření č. 1 t.j. pro
měření vlivu přesnosti robota. Ve sl.č. 5 této tabulky jsou vy-
počteny hodnoty koeficientu K_1 podle (12). TAB. 10b uvádí hodno-
ty vstupních parametrů platných pro sérii měření č. 2, t.j. pro
měření vlivu vůle při odebírání součástky. Ve sl.č. 5 této tabul-
ky jsou vypočteny hodnoty koeficientu K_1 podle (12).

Všimněme si hodnot vypočtených koeficientů v obou tabulkách
pro díly 3353-R11 a 3353-B10. Je zřejmé, že vlivem zvětšení vůle
při odebírání součástek došlo ke snížení hodnoty koeficientu K_1 .
Dejme si tyto souvislosti do TAB. 10c.

Lze předpokládat, že spolehlivost montáže 95% je již tak
nízká, že pod touto hodnotou již nelze ekonomicky vyrábět. Poklá-
dejme tedy $S=95\%$ za tzv. dead point. Při průměrné hodnotě koefi-
cientu $\bar{\mu} = 10,8$ a pro výchozí hodnotu

$$K_1 = 11,0 \text{ pro } S = 100$$

platí

$$S = 95 \text{ pro } K_1 = -43$$

Protože při tvorbě koeficientu spolehlivosti lze považovat
za výhodnější, aby platilo $K_1 > 0$ byl navržen následující možný
tvar koeficientu K_1

$$K_1 = \frac{v_z - v_o}{f_\tau} + A \quad (13)$$

přičemž

$$A > 43$$

Pro zjednodušení lze navrhnout $A=100$ a tento tvar koeficien-
tu K_1 :

$$K_1 = 100 + \frac{v_z - v_o}{f_\tau} \quad (14)$$

Hodnoty koeficientu K_1 podle (14) jsou uvedeny v TAB. 10a a 10b
ve sloupcích č. 6.

TAB. 10a, Tvorba koeficientu K1

Součástka	Vůle součástky mm				$\frac{(V_2 - V_0)_{\min}}{\sum T}$	K1	SLOUPEC 3 TAB. S [%]	
	VODEBÍR.		V2AKL.					
	V _{0x}	V _{0y}	V _{2x}	V _{2y}				
	1	2	3	4				
3454-R2	0,03	0,03	1,04	1,94	33,67	133,67	100	
3353-R15	0,03	0,03	0,5	1,72	15,67	115,67	100	
3353-A31	0,03	0,03	0,46	0,54	14,33	114,33	100	
3353-A33	0,03	0,03	0,44	0,56	13,67	113,67	100	
3353-A35	0,03	0,03	0,44	0,56	13,67	113,67	100	
3353-B10	0,03	0,03	0,44	0,48	13,67	113,67	100	
3353-P7	a)	0,03	0,03	1,14	0,58	37,0	137,0	89,8
	b)	0,03	0,03	1,56	1,56	51,0	151,0	95,0
3353-R11	0,03	0,03	0,36	0,40	11,0	111,0	100	

TAB. 10b, Tvorba koeficientu K1

Součástka	Vůle součástky mm				$\frac{(V_2 - V_0)_{\min}}{\sum T}$	K1	SLOUPEC TAB. S [%]	
	VODEBÍR.		V2AKL.					
	V _{0x}	V _{0y}	V _{2x}	V _{2y}				
	1	2	3	4				
3454-R2	0,03	0,18	1,04	1,94	33,67	133,67	100	
3353-R15	0,03	0,11	0,50	1,72	15,67	115,67	100	
3353-A31	0,12	0,03	0,46	0,54	11,33	111,33	100	
3353-A33	0,12	0,03	0,44	0,56	10,67	110,67	100	
3353-A35	0,12	0,03	0,44	0,56	10,67	110,67	100	
3353-B10	0,31	0,26	0,44	0,48	4,33	104,33	99,4	
3353-P7	a)	0,16	0,16	1,14	0,58	14,0	114,0	89,0
	b)	0,16	0,16	1,56	1,56	46,67	146,67	95,0
3353-R11	0,09	0,03	0,36	0,40	9,0	109,0	99,8	

TAB. 10c, Tvorba koeficientu K₁

Serie č.	Součástka	$\frac{V_2 - V_0}{f_T} = K_1'$	S [%]	$\bar{y} = \frac{\Delta K_1'}{\Delta S}$	$\bar{y}$
1	3353-R11	11,0	100		
2	3353-R11	9,0	99,8	10,0	10,8
2	3353-B10	4,33	99,4	11,6	
4	3353-R11		99,0		
3	3353-B10		97,6		
4	3353-B10		97,2		
		- 43	95,0		

TAB. 11 Tvorba koeficientu K₃

Serie č.	Součástka	K ₁	S [%]	$\bar{y}$
1	3353-R11	111,0	100	10,8
2	3353-R11	109,0	99,8	
2	3353-B10	104,33	99,4	
4	3353-R11	93,53	99,0	
3	3353-B10	85,08	97,6	
4	3353-B10	80,76	97,2	
		57,0	95,0	

10.3.2 Stanovení koeficientu K_2

Vliv dosedací plochy součástky v dutině je patrný jen při zakládání opěrky 3353-R11, která přemostuje dutinu spodku a dosedá na osazení o velikosti 20% z půdorysné plochy součásti. Při sebe-menším doteku zakládané součástky o spodek spínače se tato součástka nakloní a již nedosedne na osazení a spadne do dutiny. Při vyplnění dutiny tak, aby tvořila souvislou plochu k chybnému založení nedošlo (při měření č. 2).

Při měření série č. 1 $K_{1(1)} = 111,0$

Při měření série č. 2 $K_{1(2)} = 109,0$

z toho

$$\frac{K_{1(2)}}{K_{1(1)}} = 0,98$$

při dosedací ploše 20% $K_2 = 0,98$

100% $K_2 = 1$

proto je navržen koeficient K_2 v následujícím tvaru

$$K_2 = \delta^a \quad (15)$$

kde a - konstanta

δ - poměr velikosti dosedací plochy k ploše součásti

Při platnosti vztahu (15) pak platí:

$$\delta = 0,2 \rightarrow K_2 = 0,98 \rightarrow a = 0,0125$$

Koeficient K_2 pak má následující tvar

$$K_2 = \delta^{0,0125} \quad (16)$$

10.3.3 Stanovení koeficientu K_3

Z TAB. 8 vyplývá, že se značně mění spolehlivost montáže v závislosti na přesnosti polohování hlavní součástky. Zejména markantní je to pro palec 3353-B10, kde vůle hlavní součástky (páčky 3353-B8) v montážním místě je značná. Naproti tomu u ostatních součástek, kdy přesnost polohování hlavní součástky v montážní linii je řádově vyšší, se spolehlivost montáže téměř nemění.

Při stanovení tvaru koeficientu K_3 lze vycházet z upravené TAB. 10c. Tabulku upravíme tak, že vztah $\frac{v_2 - v_0}{f_r}$ nahradíme vztahem pro koeficient K_1 podle (14). Při pohledu na tuto TAB. 11 a TAB. 10b je patrné, že pro palec 3353-B10 platí:

$$\begin{aligned} K_1 (S=100) &= 110,67 \\ K_1 (S=97,6) &= 85,08 \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \frac{K_1 (S=97,6)}{K_1 (S=100)} = 0,769$$

dále lze předpokládat, že:

$$K_3 (f_P = 0,03) \approx 1$$

$$K_3 (f_P = 0,31) \approx 0,769$$

a proto je navržen koeficient K_3 v následujícím tvaru:

$$K_3 = a^{f_P} \quad (17)$$

Při platnosti vztahu (17) pak platí:

$$K_3 (f_P = 0,31) = a^{0,31} \approx 0,769$$

$$K_3 (f_P = 0,03) = a^{0,03} \approx 1 \quad a \approx 0,429$$

Koeficient K_3 pak má následující tvar

$$K_3 = 0,429^{f_P} \quad (18)$$

10.4 Zhodnocení výsledků

Na základě analýzy v předcházejících kapitolách má koeficient spolehlivost montáže konečný tvar

$$K = \left(100 + \frac{v_2 - v_0}{f_r} \right) \cdot \sigma^{0,0125} \cdot 0,429^{f_P} \quad (19)$$

Výsledky experimentu získané měřením a následujícími výpočty jsou shrnuty v TAB. 12. Z té je patrné, že výsledky platné pro pružinu 3353-P7 se diametrálně liší od ostatních. Zřejmě je to dáno použitou technologií výroby pružin, které chybí zabrušování čel pružin. Z toho důvodu je osa pružiny v odebracím přípravku odkloněna od svislice v důsledku nutné vůle mezi pružinou a přípravkem.

Další nepodstatnou vadou použité technologie výroby pružin je kolísající vnější průměr pružiny, který způsobuje nekonstantní uchopení do čelistí robota.

Vzhledem k malé spolehlivosti montáže pružin přímo do dutiny páčky bylo toto montážní místo rekonstruováno a pružiny po uvolnění z čelistí robota propadávají do dutiny páčky kuželovou dutinou naváděcího přípravku.

Z uvedených důvodů nelze považovat výsledky platné pro pružinu 3353-P7 za reprezentativní k zevšeobecnění a nebylo s nimi v průběhu vyhodnocování takto nakládáno.

Z TAB. 12 je patrná zřejmá souvislost hodnoty koeficientu spolehlivosti K a spolehlivosti montáže S v těchto rozmezích:

- 1) $K > 110$ - lze považovat spolehlivost montáže za 100%
- 2) $107 < K < 110$ - rozmezí, kdy může, ale nemusí být spolehlivost montáže 100%
- 3) $K < 107$ - spolehlivost montáže již nelze považovat za 100%

Z uvedeného je patrné, že při zajištění vysoké spolehlivosti robotizovaného montážního stroje je třeba u všech součástí, pro které $K < 110$, přehodnotit jejich rozměry a tvar, přehodnotit tvar a rozměry odebíracího místa a pokud je to možné použít přesnější meziperační dopravník či přesnější robot. Z popisu metody je zřejmé, že tyto kroky je nutné vykonat ve stádiu konstruktérských prací při návrhu stroje z důvodu co největšího snížení dodatečných úprav a nákladů.

TAB. 12 Celková tabulka experimentu

	Vliv přesnosti robota				Vliv vůle při odebírání				Vliv přesnosti polohování				Reálná montáž			
	Serie 1				Serie 2				Serie 3				Serie 4			
	P	Ch	S	K 1	P	Ch	S	K	P	Ch	S	K	P	Ch	S	K
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3454-R2	500	0	100	113,67	500	0	100	113,67	500	0	100	113,67	500	0	100	113,67
3353-R15	500	0	100	115,67	500	0	100	115,67	500	0	100	115,67	500	0	100	115,67
3353-A31	500	0	100	114,33	500	0	100	114,33	500	0	100	114,46	500	0	100	114,54
3353-A33	500	0	100	113,67	500	0	100	110,67	500	0	100	110,82	500	0	100	107,89
3353-A35	500	0	100	113,67	500	0	100	110,67	500	0	100	110,82	500	0	100	107,89
3353-B10	500	0	100	113,67	500	3	99,4	104,33	500	42	97,6	87,44	500	44	97,2	80,25
3353-P7	a)	500	51	89,8	500	56	89,0	114,0	500	62	87,6	105,38	500	68	86,4	87,69
	b)	500	25	95,0	500	26	95,0	114,67	500	31	93,8	116,16	500	32	93,6	112,82
3353-R11	500	0	100	111,0	500	1	99,8	109,0	500	1	99,8	108,21	500	5	99,0	105,75

P - počet pokusů

Ch - počet chyb

S - spolehlivost %

11. Závěry a přínosy práce

Zpracováním disertační práce byly splněny cíle uvedené v kapitole 1.

Studiem domácí i cizí literatury týkající se problémů mechanisace a automatisace montáže, aktivní účastí na vědeckotechnických akcích a vlastní tvořivou činností v oblasti konstrukce montážních strojů získal autor jistý objem zkušeností, které mu umožnily zpracovat teoretické podklady důležité pro praktické aplikace při konstrukci montážních strojů.

Pozornost byla věnována zejména charakteru prvků montáže, kde je v současné době všeobecně nedoceněna jejich analýza ještě před samotným návrhem montážní technologie. Analýza prvků je také jednou z nejdůležitějších oblastí, kde je možno znatelně snížit náklady na dodatečné úpravy montážního stroje, vlastních prvků a z toho vyplývající neúměrně vysoké náklady na výrobní technologii.

V disertační práci nebyla věnována velká pozornost konkrétním montážním technologiím, neboť tyto jsou natolik rozmanité, že jednu a tu samou operaci lze vykonat mnoha systémy pracovních jednotek, přičemž při konstrukci dané pracovní jednotky je nutné vycházet z charakteru montážního prvku.

Dále byla pozornost věnována experimentálnímu ověření vlivu zjištěných parametrů robotisovaného montážního procesu na spolehlivost montáže. Vztahy mezi těmito zjištěnými parametry byly formulovány do tvaru koeficientu spolehlivosti "K".

Navrhovaný tvar koeficientu spolehlivosti je jistě jedním z mnoha možných řešení. Je formulován subjektivním pohledem autora na daný proces montáže. Tento tvar koeficientu také vychází z konkrétních podmínek daného technologického procesu a daného charakteru součástí. V současné době není v možnostech autora a jeho spolupracovníků ověřit vypovídací schopnost navrženého tvaru koeficientu spolehlivosti "K" na jiných typech montážních robotisovaných strojů, s jinými charaktery montážních prvků. Je nezbytné prověřit tuto metodiku na jiných montážních robotisovaných pracovištích. Autor si proto klade za úkol seznámit širší technickou veřejnost s touto

metodikou formou uveřejnění v technické literatuře.

Disertační práce tudíž odkryla nutnost pokračování a zpřesňování uvedené metodiky na základě budoucích informací také z jiných pracovišť.

seznam použité literatury

- [1] - Kováč, M., Svoboda, M., Šimčík, D. : Příspěvek k metodice posuzování flexibility mont. systému - Strojírenství 6,7/84
- [2] - Mikláš, D. : Náčrt koncepce využití průmyslových robotů a manipulátorů v montáži - Strojírenství 1/85
- [3] - Kaufman, M. a kol. : Racionalisace interních montáží
- [4] - norma VDI - RICHTLINIEN 3239
- [5] - kolektiv: Robots on assembly lines start to became a reality - The industrial robot 15/1988
- [6] - Dušák, K. : Vzájemná orientace při automatické montáži. Kandidátská disertační práce Moskva 1977.
- [7] - Cyhelský, L., Zelinka, J. : Statistické metody v příkladech - SNTL Praha 1961
- [8] - Pokorný, P., Dušák, K. : Teorie obrábění a montáže II - VŠST Liberec 1986
- [9] - ČSN 01 01 02
- [10] - Novák, M. : Analýza procesu automatisace montáže Písemná část odb.kand.zkoušky - Liberec, VŠST 1988
- [11] - Novák, M. : Vliv tvaru součástí na montážní proces Sborník přednášek z kongresu "Technologičnost konstrukce" - Dům Techniky Bratislava 1979

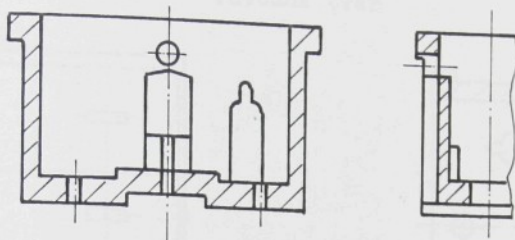
[12]

- Novák, M. : Montážní systémy

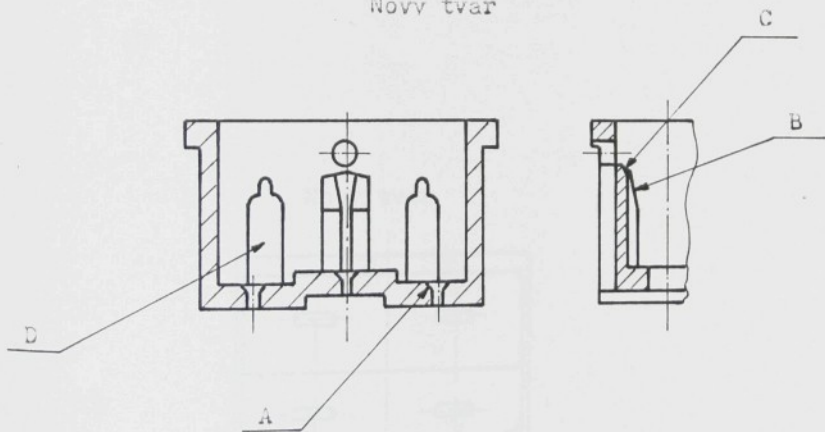
Sborník přednášek z kongresu "Montáž"
Dům techniky Bratislava 1982

3454-B1

Původní tvar



Nový tvar

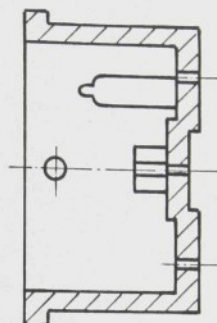
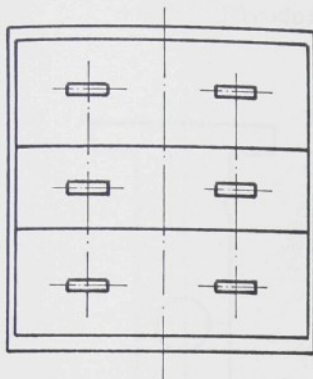


obr. 1

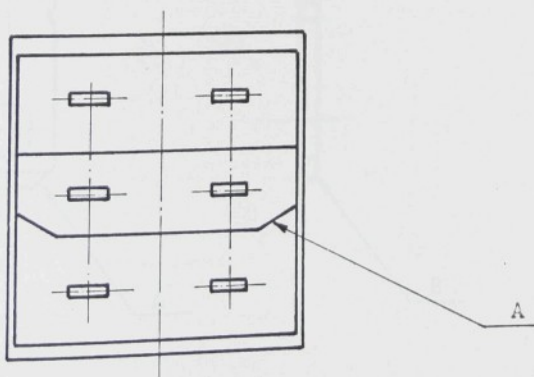
Spodek dvojitý

3454-B21

Původní tvar



Nový tvar

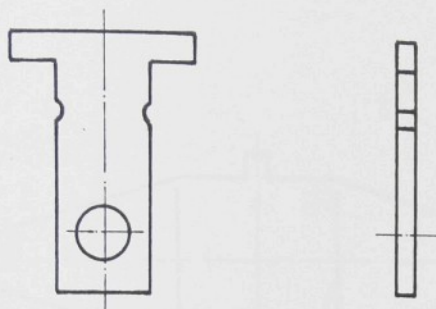


Pevný kontakt

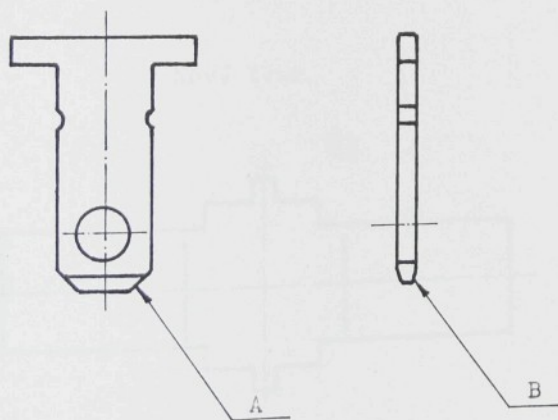
3454-R2

(3353-R15)

Původní tvar



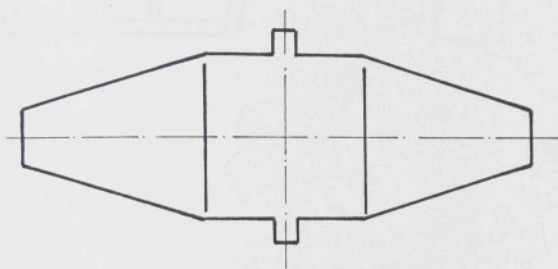
Nový tvar



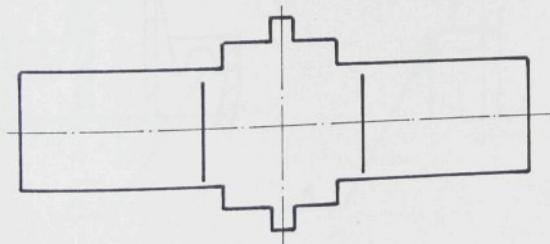
Pohyblivý kontakt

3353-A31 + 35

Původní tvar



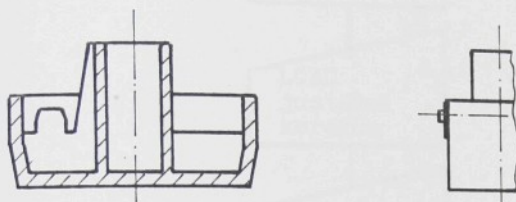
Nový tvar



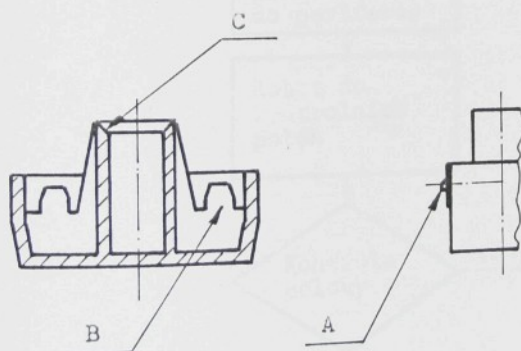
Páčka

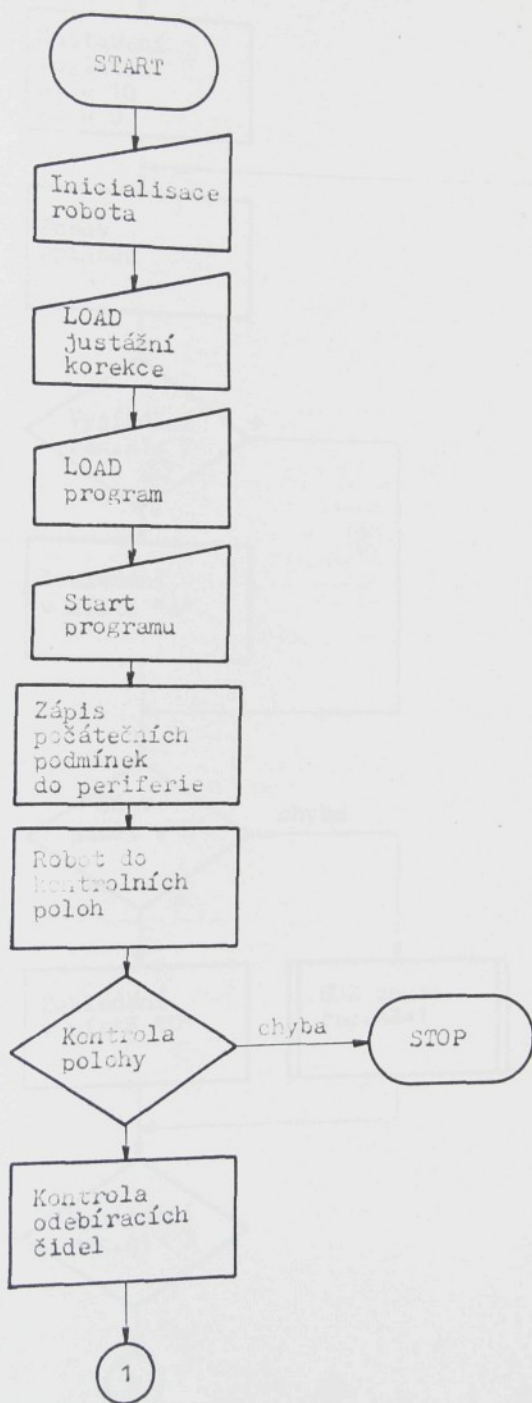
3353-B8 (B9)

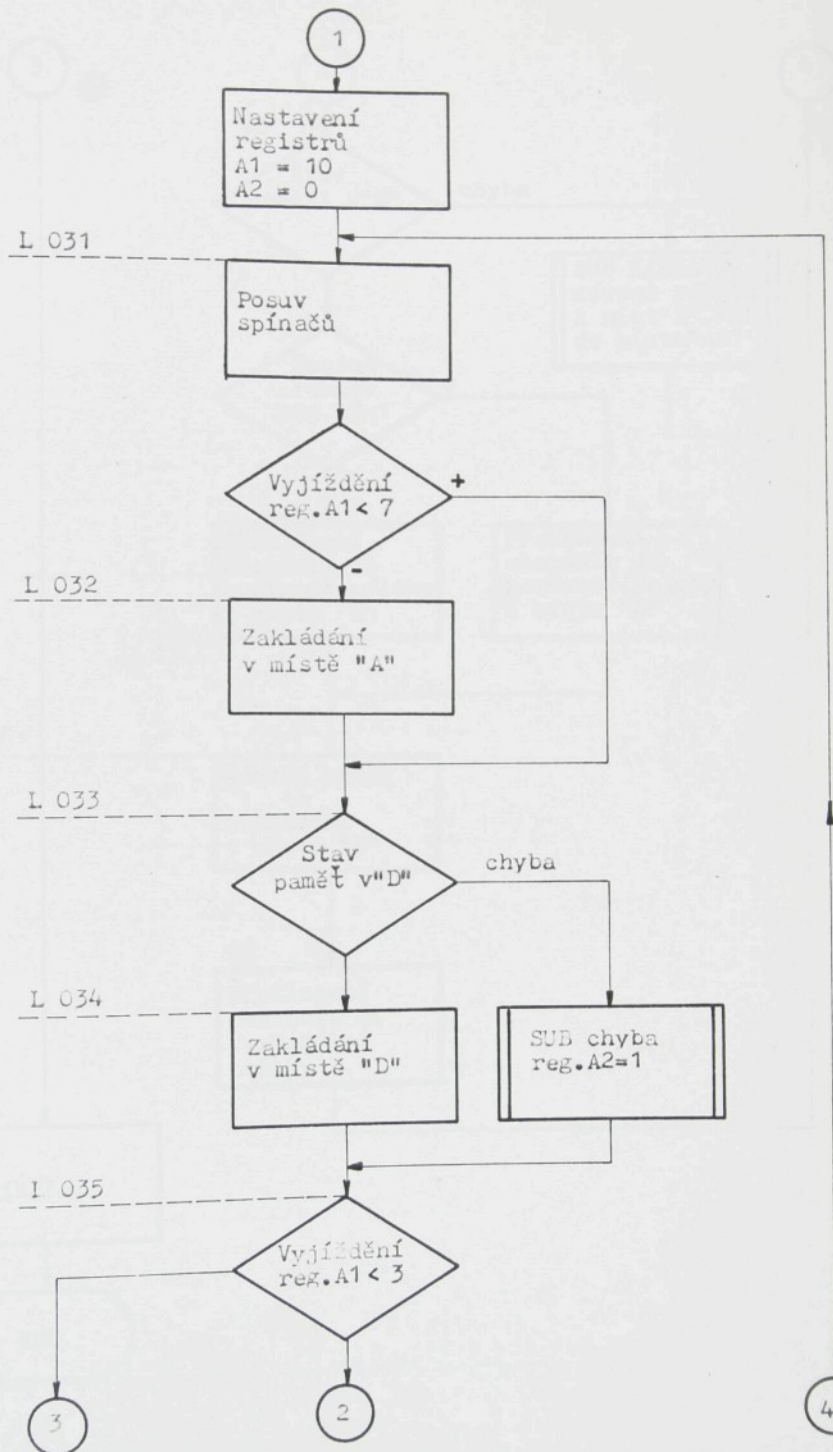
Původní tvar

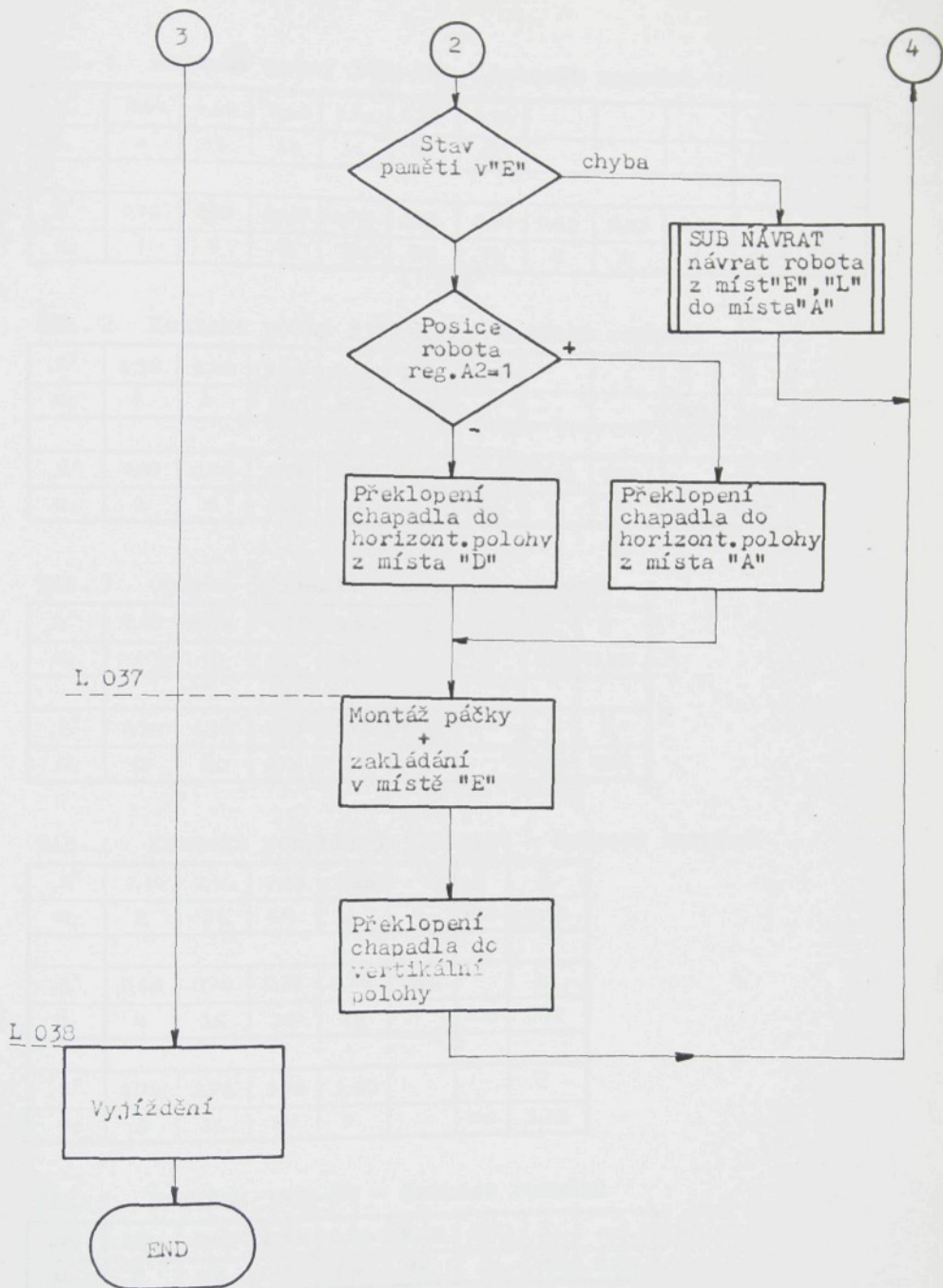


Nový tvar









TAB. 1 Kontakt pevný 3454-R2 - četnost rozměrů

"A"	4,64	4,66	4,68	4,70	4,72	4,74				Σ	$\bar{A}$
q_i	4	13	34	31	15	13				100	4,68
"B"	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84		$\bar{B}$
q_i	1	7	14	20	30	16	8	2	2	100	0,80

TAB. 2 Kontakt pevný 3353-R15 - četnost rozměrů

"A"	3,38	3,40	3,42	3,44	3,46	3,48			Σ	$\bar{A}$
q_i	1	4	14	55	25	1			100	3,44
"B"	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74		$\bar{B}$
q_i	2	8	16	27	21	19	6	1	100	0,70

TAB. 3 Opěrka 3353-R11 - četnost rozměrů

"A"	9,18	9,20	9,22	9,24	9,26	9,28	Σ	$\bar{A}$
q_i	1	10	33	37	17	2	100	9,24
"B"	1,34	1,36	1,38	1,40	1,42			$\bar{B}$
q_i	17	20	30	21	12		100	1,38

TAB. 4 Kontakt pohyblivý 3353-A31 - četnost rozměrů

"A"	7,14	7,16	7,18	7,20		Σ	$\bar{A}$
q_i	2	36	59	3		100	7,18
"B"	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76		$\bar{B}$
q_i	4	35	38	22	1	100	0,72
"C"	3,74	3,76	3,78	3,80			$\bar{C}$
q_i	3	36	54	7		100	3,78

TAB. 5 Pružina 3353-P7 - četnost rozměrů

$\pm d$	2,50	2,52	2,54	2,56	2,58	2,60	Σ	$\pm \bar{d}$
q_i	5	12	36	26	19	2	100	2,54

TAB. 6 Kontakt pohyblivý 3353-A33 - četnost rozměrů

"A"	7,14	7,16	7,18	7,20	Σ	$\bar{A}$
q_i	10	58	26	6	100	7,16
"B"	0,70	0,72	0,74	0,76		$\bar{B}$
q_i	8	27	53	12	100	0,74
"C"	3,74	3,76	3,78	3,80		$\bar{C}$
q_i	15	42	37	6	100	3,76

TAB. 7 Kontakt pohyblivý 3353-A35 - četnost rozměrů

"A"	7,14	7,16	7,18	7,20	Σ	$\bar{A}$
q_i	9	57	26	8	100	7,16
"B"	0,70	0,72	0,74	0,76		$\bar{B}$
q_i	9	25	53	13	100	0,74
"C"	3,74	3,76	3,78	3,80		$\bar{C}$
q_i	18	43	32	7	100	3,76

TAB. 8 Palec 3353-B10 - četnost rozměrů

"A"	3,90	3,92	3,94	3,96		Σ	$\bar{A}$
q_i	4	32	60	4		100	3,94
"B"	3,30	3,32	3,34	3,36	3,38		$\bar{B}$
q_i	1	19	59	18	3	100	3,34

TAB. 9 Páčka 3353-B8 - četnost rozměrů

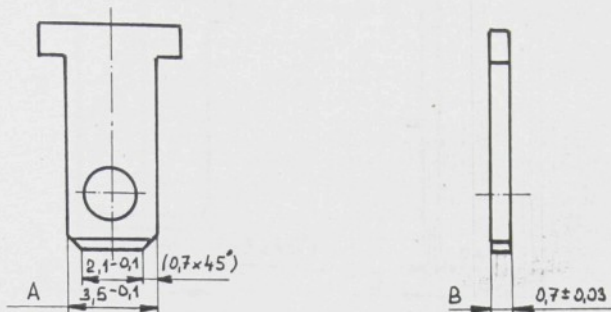
"A"	3,76	3,78	3,80	3,82	3,84	3,86	3,88		Σ	$\bar{A}$
q_i	1	3	18	46	28	3	1		100	3,82
"B"	4,30	4,32	4,34	4,36	4,38	4,40	4,42	4,44		$\bar{B}$
q_i	1	6	7	7	24	34	17	4	100	4,38
"C"	2,34	2,36	2,38	2,40	2,42					$\bar{C}$
q_i	1	22	58	18	1				100	2,38

TAB. 10 Spodek 3454-B23 - četnost rozměrů

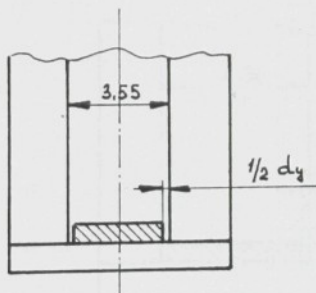
"A"	5,0	5,02	5,04				Σ	$\bar{A}$
q_i	20	70	10				100	5,02
"B"	1,0	1,02	1,04	1,06	1,08			$\bar{B}$
q_i	2	26	52	15	5		100	1,04
"C"	1,14	1,16	1,18	1,20	1,22			$\bar{C}$
q_i	15	23	31	21	10		100	1,18
"D"	7,66	7,68	7,70	7,72	7,74	7,76		$\bar{D}$
q_i	2	4	25	38	29	2	100	7,72
"E"	9,60	9,62	9,64	9,66	9,68			$\bar{E}$
q_i	2	32	54	8	4		100	9,64
"F"	1,0	1,02	1,04	1,06				$\bar{F}$
q_i	18	32	45	5			100	1,02
"G"	3,72	3,74	3,76	3,78	3,80	3,82		$\bar{G}$
q_i	4	13	26	45	11	1	100	3,76
"H"	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94		$\bar{H}$
q_i	2	4	17	53	21	3	100	0,90

Kontakt pevný

3353 - R 15

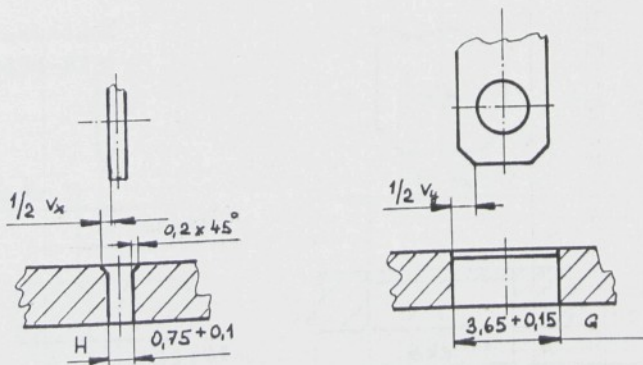


Odebírání

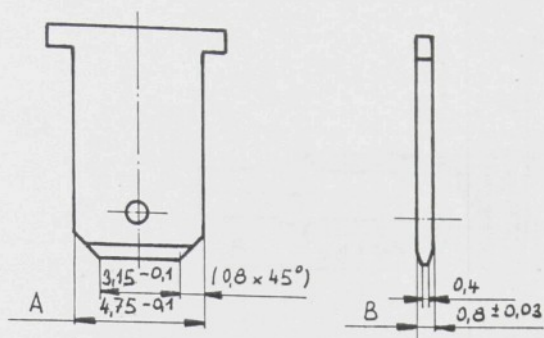


Zakládání

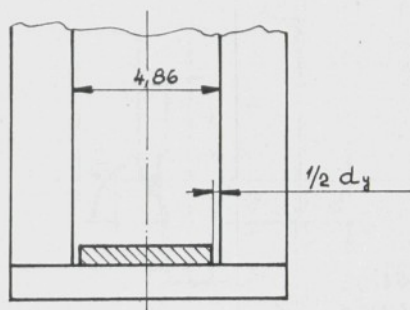
3454-B 23



3454 - R2

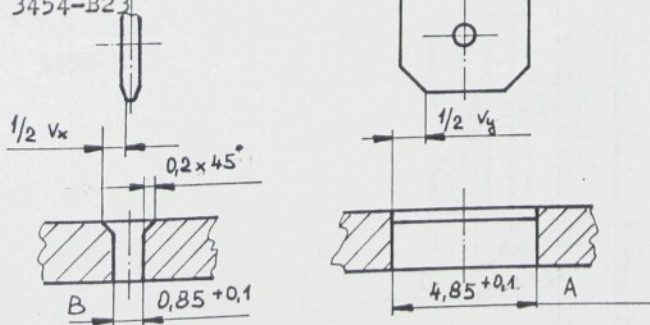


Odebírání



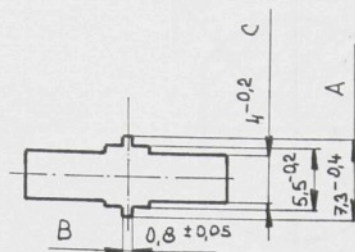
Zakládání

3454-B23

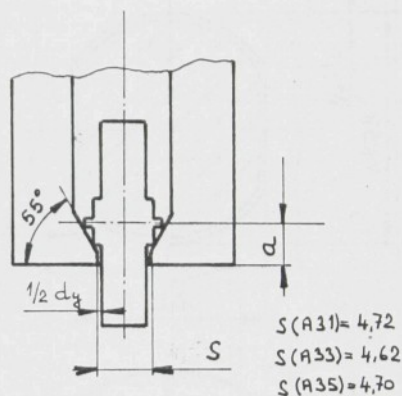


Kontakt pohyblivý

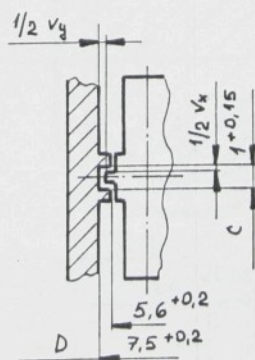
3353 - A31 + A35



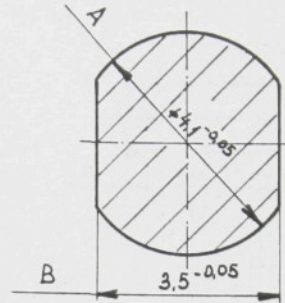
Odebírání



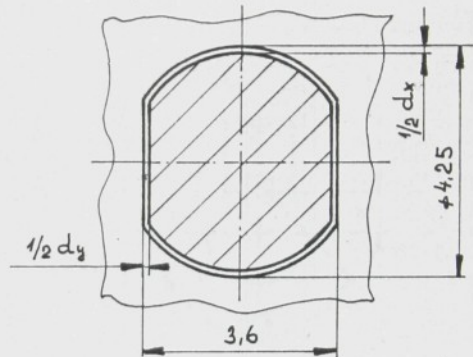
Zakládání
3454-B23



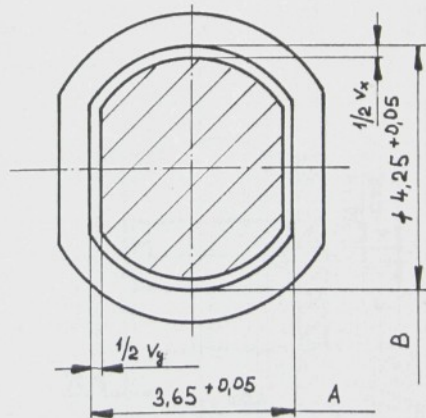
3353 - B10



Odebírání

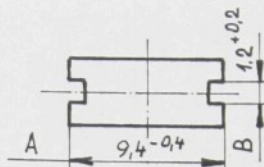


Zakládání
páčka 3353-B8

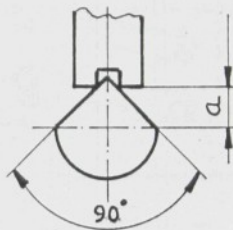


Opěrka

3353 - R11

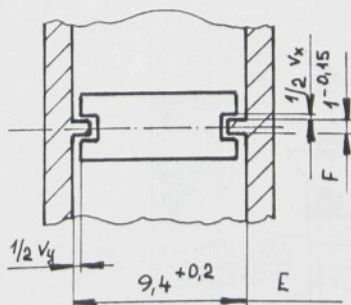


Odebírání

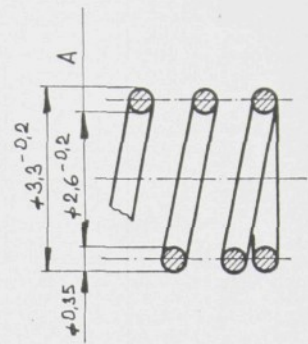


Zakládání

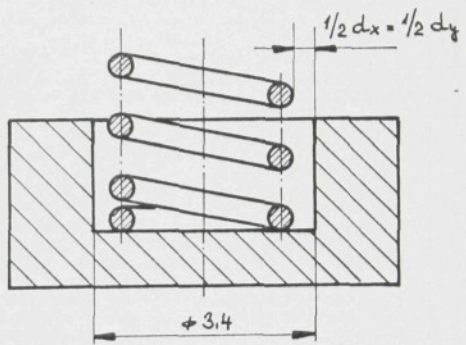
3454-B23



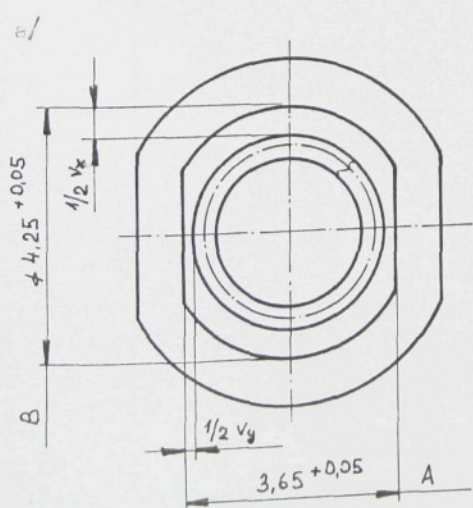
3353 - P7



Odebírání



Zakládání
3353-B8



b/

