



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

KATALOGIZACE PRUŽNÝCH VÝROBNÍCH SYSTÉMŮ A OBRÁBĚCÍCH CENTER

CLASSIFICATION OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS &
MACHINING CENTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAROSLAV SELUCKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ROMAN KUBÍK, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jaroslav Selucký

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Katalogizace pružných výrobních systémů a obráběcích center

v anglickém jazyce:

Classification of flexible manufacturing systems & machining centers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem studenta je zpracovat analýzu pružných výrobních systémů a obráběcích center dostupných na současném trhu. Student by měl tyto výrobní systémy roztrždit do skupin podle vhodných hledisek. Může se jednat o maximální rozměry zpracovávaných součástí, vhodnost pro určitou skupinu technologických operací, způsob napojení na systém vnitroobjektové manipulace s materiálem apod.

Cíle bakalářské práce:

1. Analýza současných pružných výrobních systémů a obráběcích center a jejich začlenění do definovaných skupin
2. Posouzení efektivity nasazení těchto prostředků z hlediska sériovosti výroby

Seznam odborné literatury:

1. HAJDUK, M. Pružné výrobné bunky. 1. vyd. Košice: Technická univerzita, 1998. 153 s. ISBN 80-7099-387-1.
2. HLAVENKA, B. Projektování výrobních systémů: Technologické projekty I. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
3. SAMEK, J. Modely optimálního rozmístění výroby. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 150 s.
4. TALÁCKO, J. Projektování automatizovaných systémů, (vybrané partie). 1 vyd. Praha: ČVUT, 1996. 124 s. ISBN 978-80-01014-417.
5. ZELENKA, A. Projektování výrobních procesů a systémů. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. 136 s. ISBN 978-80-01-03912-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Roman Kubík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 11.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá analýzou pružných výrobních systémů a obráběcích center. V první části jsou popsány základní charakteristické vlastnosti pružných výrobních systémů a varianty jejich uspořádání. Jsou zde také blíže popsány manipulační a dopravní prvky, které v pružných výrobních systémech nejčastěji využíváme. Druhá část práce je zaměřena na popis a rozdělení obráběcích center, jakožto hlavních prvků pružných výrobních systémů. Dělení je provedeno nejprve z obvyklého konstrukčně technického pohledu a poslední část práce se věnuje rozdělení a shrnutí vlastností obráběcích center z pohledu uživatele.

Klíčová slova

Pružné výrobní systémy, obráběcí centra, popis, katalogizace

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on analysis of the flexible manufacturing systems and machining centers. In the first section the basic characteristics of the flexible manufacturing systems and their versions are described. There's also a description of the manipulators, conveyors and possible layouts of systems which are often used in the flexible manufacturing systems. The next section is focused on the description and classification of the machining centers as the main parts of flexible manufacturing systems. The classification is firstly done according to the design and technical possibilities and in the last section the flexible manufacturing systems are classified according the user's requirements.

Key words

Flexible manufacturing systems, machining centers, description, classification

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SELUCKÝ, Jaroslav. *Katalogizace pružných výrobních systémů a obráběcích center*. Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 53 s. Vedoucí práce Ing. Roman Kubík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Katalogizace pružných výrobních systémů a obráběcích center** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jaroslav Selucký

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu, panu Ing. Romanu Kubíkovi Ph.D, za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším, za podporu při studiu.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ.....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD	9
1 PRUŽNÉ VÝROBNÍ SYSTÉMY	10
1.1 Rozdělení PVS podle rozmístění pracovišť	11
1.1.1 Uspořádání pracovišť	12
1.1.1.1 Plošné uspořádání.....	12
1.1.1.2 Lineární uspořádání s transportními smyčkami	12
1.1.1.3 Kruhové uspořádání	13
1.1.1.4 Liniové uspořádání	14
1.1.1.5 Buňkové uspořádání.....	14
1.1.2 Seskupení pracovišť podle principů	14
1.1.2.1 Technologický princip uspořádání	14
1.1.2.2 Předmětný princip uspořádání.....	16
1.2 Doprava, a manipulace v PVS	17
1.2.1 Operační manipulace na technologických pracovištích - průmyslové roboty a manipulátory.....	18
1.2.1.1 Jednouúčelové manipulátory	19
1.2.1.2 Univerzální manipulátory	20
1.2.2 Mezioperační doprava a manipulace.....	22
1.2.2.1 Válečkové tratě	23
1.2.3 Ostatní dopravníky využívané v PVS	25
1.2.3.1 Pásové dopravníky	25
1.2.3.2 Řetězové dopravníky	25
1.2.3.3 Podvěsné dopravníky	26
1.2.4 Třískové hospodářství	27
1.2.4.1 Čláňkové dopravníky	27
1.2.4.2 Hrablové dopravníky	27
1.2.4.3 Magnetické dopravníky.....	28
1.2.4.4 Pásové dopravníky	28

1.2.4.5 Šnekové dopravníky.....	29
1.2.4.6 Kruhové dopravníky	29
2 KATALOGIZACE OBRÁBĚCÍCH CENTER.....	30
2.1 Popis obráběcího centra	30
2.1.1 Skelet obráběcího centra.....	30
2.2 Rozdělení obráběcích center	32
2.2.1 Technické hledisko	32
2.2.1.1 Podle polohy vřetene	33
2.2.1.2 Podle počtu os pohyblivosti.....	34
2.2.1.3 Podle konstrukce zásobníku	37
2.2.1.4 Souhrn dělení podle technického hlediska	40
2.2.2 Uživatelské hledisko	41
2.2.2.1 Dělení OC podle velikosti obráběných součástí	41
2.2.2.2 Podle počtu operací pro obrobení	46
2.2.2.3 Co nejkratší strojní čas.....	47
2.2.2.4 Zastavěná plocha.....	48
2.2.2.5 Souhrn dělení podle uživatelského hlediska	48
ZÁVĚR.....	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	50

ÚVOD

Zavádění pružných výrobních systémů ve spojení s obráběcími centry můžeme považovat za překonání dalšího pomyslného milníku na časové ose vývoje průmyslové výroby.

Průmyslovou revoluci v období osmnáctého a devatenáctého století charakterizuje hromadné zavádění strojů do výroby, za ústupu lidské ruční práce. Výrobní strategie se začaly primárně zaměřovat na co největší objem výroby. Efektivnost přicházela s využíváním jednoduchých strojů a synchronizovaných vícepředmětných linek, kde i minimální zkrácení délky taktu přinášelo vysoký zisk. Takové linky měly samozřejmě své výhody, problém však nastal při požadavku na změnu výrobku. Pevná struktura linky zkrátka neumožňovala rychlé změny a zásah do ní byl velmi nákladný.

Přelom do třetího tisíciletí by se dal v průmyslu charakterizovat obdobím spotřebitelské individualizace, obdobím ohromného nárůstu rozmanitosti výrobků. Aby byly současné výrobní strategie úspěšné, musí být zaměřeny na co nejpresnější splnění požadavků zákazníka, v co nejkratším čase. A právě zkracování času dnes přináší zvyšování zisku i samotným výrobním podnikům.

Cílem této práce je popsat a rozlišit charakteristické rysy pružných výrobních systémů a přiblížit základní prvky, z nichž bývají tyto systémy složeny. V druhé části se podrobněji věnuje popisu a rozdělení obráběcích center, která jsou základními výrobními součástmi, současných pružných výrobních systémů.

1 PRUŽNÉ VÝROBNÍ SYSTÉMY

Pružnost výroby představuje skloubení rychlosti reakce na tržní požadavky, za výrazného nezvýšení výrobních nákladů a současně za zachování kvality výrobků.

Systém můžeme obecně popsat jako celek, složený z několika prvků, které jsou vzájemně propojeny. Tato definice je přímo aplikovatelná na samotné pružné výrobní systémy (dále jen PVS), kde jako prvky označujeme jednotlivé výrobní buňky a propojení mezi nimi chápeme jako toky (viz obr. 1).

- Toky materiálů – Patří sem doprava materiálu, řízení dopravních vozíků, řízení paletových systémů, odvod třísek i hotových výrobků. Ale také mezioperační doprava realizovaná pomocí pásových dopravníků a podávacích robotů [2].
- Toky informační – Jedná se o tok dat ke strojům a tok informací od strojů. Nejsou to však jen data programová, ale i technologická a také informace o zakázkách [2].

Pružné výrobní systémy mohou sdružovat velké množství pracovních jednotek, které ovšem na základě vzájemných kooperací vytváří vlastní menší subsystémy. Pro snadnější orientaci je můžeme hierarchicky rozdělit:

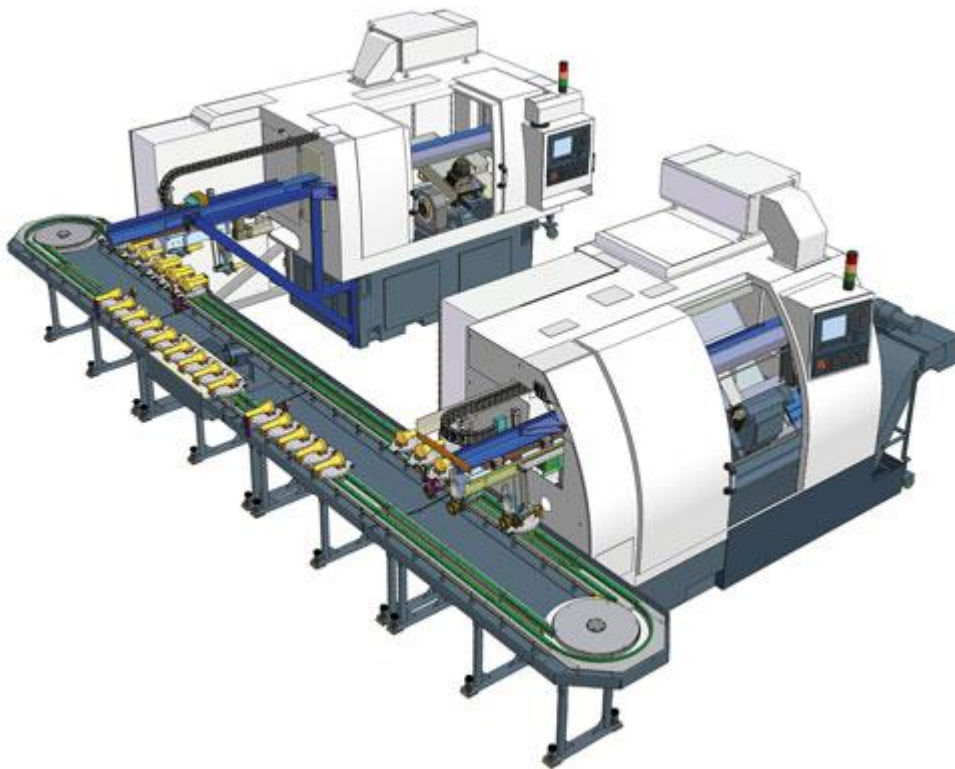
- Modul – Tvoří ho jeden stroj, který je schopný samostatné činnosti a zároveň je základním prvkem pro výstavbu vyšších úrovní [1].
- Buňka – Je seskupením více modulů do jednoho celku. Prioritním manipulačním prvkem se v buňce stává robot, ale může jím být i člověk [1].
- Systém – Vzniká integrací modulů a buněk. Hlavním činitelem integrace v systému je mezioperační doprava a počítačové řízení. Za další charakteristický znak se považuje jeho materiálové a informační propojení se skladovacím systémem [1].
- Linka – Její moduly jsou uspořádány v sledu technologických operací [1].

„Pružný výrobní systém je takový systém, který propojuje CNC stroje, dopravní jednotky nástrojů, dopravní jednotky obrobků a kontrolní jednotky pomocí počítače a odpovídajícího softwaru.“[1]

Předchozí definice již naznačuje, čím mohou být tyto systémy tvořeny. Zde vidíme jejich rozdělení podle funkcí, které plní v systému:

- Obráběcí CNC stroje – Počítačem řízené obráběcí stroje, doplněné množstvím servomotorů, které umožňují pohyby ve všech osách.
- Nástrojové systémy – Jsou to například mechanismy pro upínání různých druhů nástrojů. Základem je obvykle univerzální upínací část, do níž se upevňují prodlužovací část a pracovní část nástroje.

- Dopravníky, manipulační prostředky – Jsou to transportní zařízení, která propojují jednotlivá obráběcí centra (buňky) v rámci PVS. Slouží k dopravě materiálu, odpadu, ale i hotových výrobků.
- Softwarové součásti:
 - Technologické programy
 - Kontrola nástrojů
 - Výměna nástrojů
 - Koordinace dopravníků



Obr.1 Automatická výrobní linka CZTECH Čelákovice [40].

1.1 Rozdělení PVS podle rozmístění pracovišť

Pružné výrobní systémy mají zcela individuální podobu v každé výrobní společnosti. Jsou vždy sestaveny tak, aby zajišťovaly výrobu co nejefektivnějším způsobem, a proto není možné je kategoricky rozdělovat do skupin. Můžeme však rozdělit některé jejich vlastnosti, které jsou pro různé výroby určující, a jejich vhodným kombinováním pak vzniká ideální linka.

Strukturu linky můžeme rozdělit dle následujících dvou pohledů:

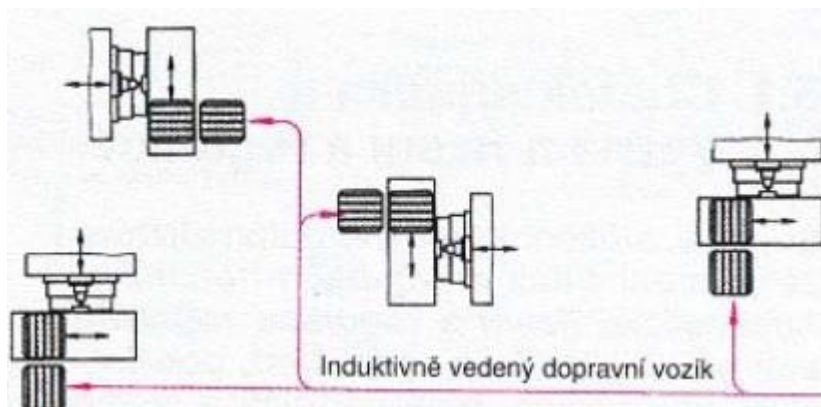
- Uspořádání pracovišť
- Seskupení pracovišť podle technologického nebo předmětného principu

1.1.1 Uspořádání pracovišť

- Plošné uspořádání
- Lineární uspořádání s transportními smyčkami
- Kruhové uspořádání
- Liniové uspořádání
- Buňkové uspořádání

1.1.1.1 Plošné uspořádání

Plošné uspořádání pracovišť (viz obr. 2), bývá realizováno zejména při nutnosti transportu velkých obrobků, ke kterému se užívají převážně paletové vozíky. Pro pružné výrobní systémy se prosadilo plošné uspořádání jednotlivých stanic, které jsou propojené např. indukivními smyčkami vodičů pro prostředky pozemní dopravy. Propojení řídí příslušné programy a hlavní počítač [2].

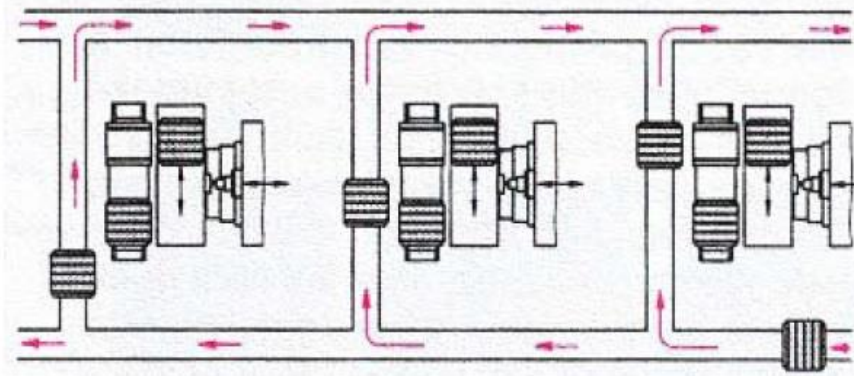


Obr. 2 Plošné uspořádání pracovišť [2].

1.1.1.2 Lineární uspořádání s transportními smyčkami

Tento způsob uspořádání je specifický tím, že každé technologické pracoviště je umístěno v uzavřené transportní smyčce, přičemž tyto smyčky jsou vzájemně propojeny (viz obr. 3).

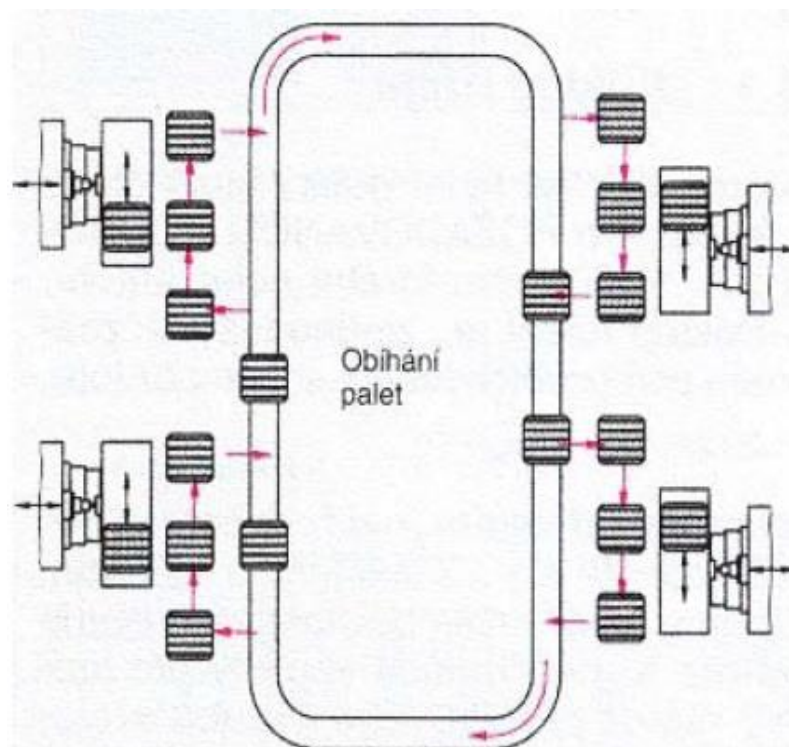
Paleta s obrobkem nebo jiným materiálem je opatřena jedinečným kódem a obíhá jednotlivá technologická pracoviště tak dlouho, dokud ji na základě shodnosti kódu „nepřijme“ vhodné pracoviště. Po provedení příslušných operací na obrobku se kód palety změní a ta se přesune znovu na transportní systém. Podle stavu obrobku může hledat další vhodné technologické pracoviště, nebo je odeslána na upínací stanici [2].



Obr. 3 Lineární uspořádání pracovišť s transportními smyčkami [2].

1.1.1.3 Kruhové uspořádání

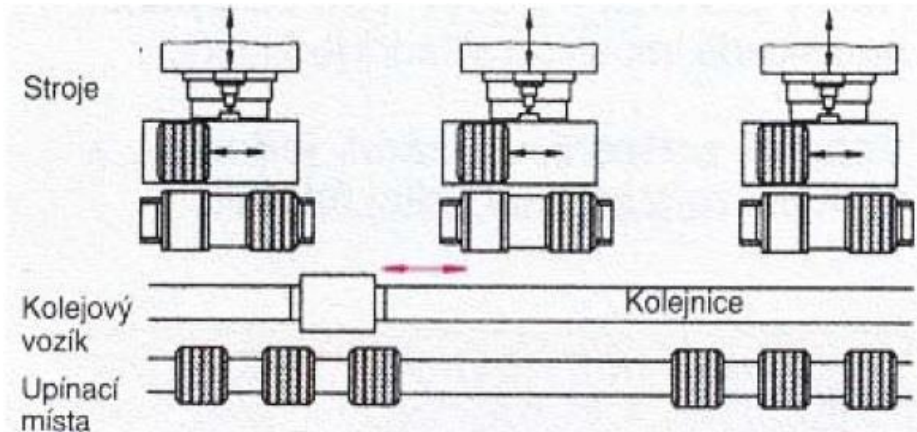
Princip kruhového uspořádání pracovišť (viz obr. 4) je velmi podobný lineárnímu se smyčkami s tím rozdílem, že palety obíhají až do dokončovací polohy v kruhu. Technologická pracoviště leží mimo dráhu a jsou dobře přístupná. Jednotlivé palety jsou ke stanovištím přebírány opět na základě kódu, který paleta nese v elektronickém paměťovém modulu. Zavádění palet do okruhu se může dít z centrální upínací stanice [2].



Obr. 4 Kruhové uspořádání pracovišť [2].

1.1.1.4 Liniové uspořádání

U liniového uspořádání pracovišť (viz obr. 5) je charakteristická přímá dopravní trasa. Technologická pracoviště mohou být instalována po obou stranách trasy a musí být vybavena vhodnými výměníky palet. Na jednom konci trasy vstupují palety s upnutými obrobky a na druhém konci je např. mycí stanice hotových obrobků. Obíhání vozíků s paletami zde není možné [2].



Obr. 5 Liniové uspořádání pracovišť [2].

1.1.1.5 Buňkové uspořádání

Při buňkovém uspořádání bývají stroje umístěny do tvaru písmena U. Velmi často se při tomto uspořádání kombinují CNC stroje s klasickými ručními pracovišti, jako jsou kontrola, nebo některé dokončovací operace, například zbavování otřepů. Lze ovšem udělat i výrobní buňku složenou z více CNC strojů pro komplexní obrábění.

Buňkové uspořádání se využívá především pro vícestrojovou sestavu. Při využití moderních obráběcích center, je lidská činnost pouze jako dohled případně provádí jednoduché obslužné operace [2].

1.1.2 Seskupení pracovišť podle principů

Výrobní buňky mohou být uspořádány do výrobního systému podle různých principů:

- Technologický princip
- Předmětný princip

1.1.2.1 Technologický princip uspořádání

Technologické uspořádání výrobních buněk – pracovišť (viz obr. 6) se vyznačuje tím, že do jednotlivých úseků výroby jsou zařazována pracoviště se stejnou nebo velmi podobnou technologickou charakteristikou. Výsledkem pak jsou výrobní úseky, u nichž jen podle názvu snadno poznáme druh technologie, která je v nich realizována.

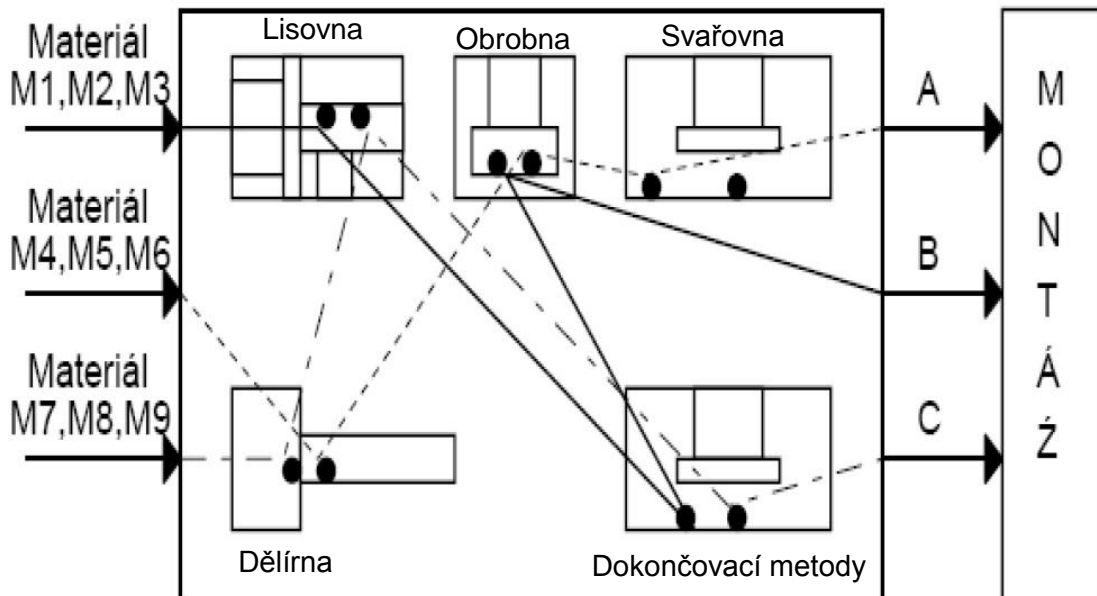
Pro strojírenskou výrobu jsou typické názvy jako: Obrobná, Lisovna, Kovárna, Slévárna, Svařovna, Montáž, Povrchové úpravy a další [3].

Výhody:

- Malá citlivost na změny výrobního programu
 - Prakticky jakákoliv změna výrobního programu, a tedy i změněný postup výroby výrobků, nebývá u takto uspořádaných pracovišť výrazným problémem. Změna se dotkne především dopravy dílů mezi pracovišti [3].
- Systém nabízí možnost neprodleného využití volné kapacity pracovišť přijetím kooperačních prací [3].
- Malá citlivost na poruchy strojů
 - Díky podobnosti strojů, lze úkoly určené pro stroj, který je v poruše snadno převést na vedlejší stroj s obdobnou technologickou charakteristikou [3].
- Podpora růstu kvalifikace dělníků
 - Soustředění dělníků vykonávajících stejnou profesi podporuje proces vzájemného učení a zdokonalování [3].
- Výhodné podmínky pro zajištění údržby a oprav strojů
 - Tato výhoda je dána právě soustředěním stejných a podobných strojů v jednom prostoru [3].

Nevýhody:

- Dlouhé dopravní cesty při dopravě dílů mezi pracovišti.
- Náročnost přípravy výroby a řízení výroby.
- Relativně dlouhá průběžná doba výroby.
- Velká potřeba výrobních ploch.
- Relativně velká potřeba mezikladů.
- Relativně velký objem rozpracované výroby a tím i relativně velký objem vázaných oběžných prostředků [3].



Obr. 6 Technologický princip uspořádání pracovišť [41].

1.1.2.2 Předmětný princip uspořádání

Předmětné uspořádání výrobních buněk – pracovišť (viz obr. 7) se vyznačuje tím, že do výrobních úseků jsou zařazována všechna technologická pracoviště, nutná k výrobě určité konkrétní části výrobku. Výsledkem pak jsou výrobní úseky, které již svým názvem prozrazují předmět své výroby. Pro strojírenskou výrobu jsou typické názvy: Ozubená kola, Hřídele, Převodovky, Motorárna, Karosárna, Nápravy a další [3].

Při předmětném uspořádání pracovišť je typické použití linek. Linky představují prostorově velice koncentrované uspořádání pracovišť. Významnou součástí linky je dopravní systém, který dopravuje zpracované díly mezi pracovišti linky a tvoří tak mezi nimi významnou vazbu [2].

Takovýmto způsobem uspořádané linky se dají dělit na:

- Vícepředmětné
- Jednopředmětné

přičemž každá z těchto možností může být složena ze strojů:

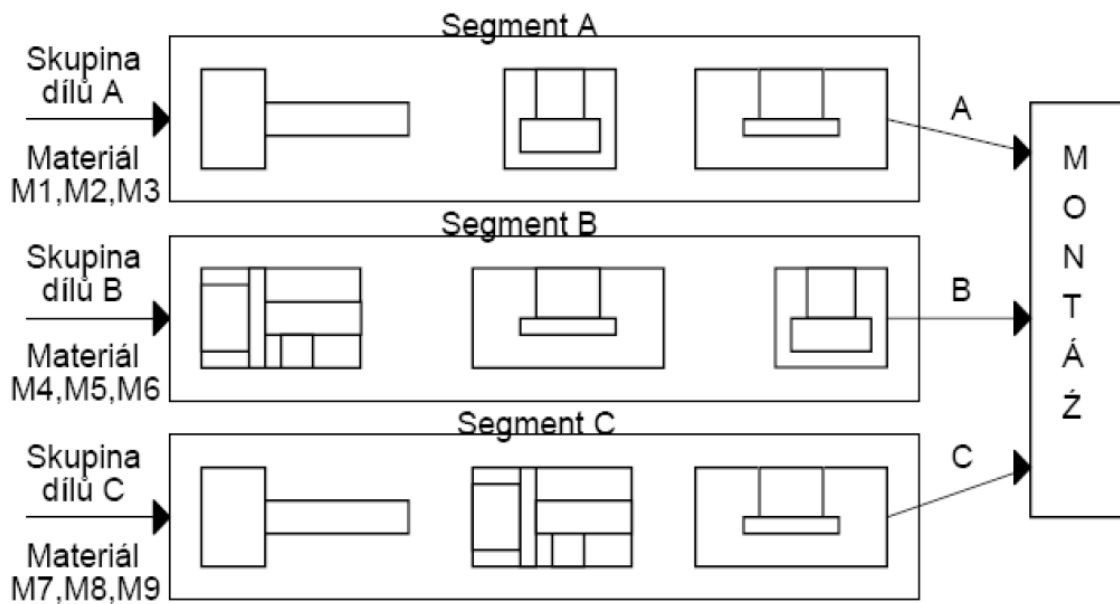
- Víceúčelových
- Jednoúčelových

Výhody:

- Krátké a přehledné dopravní cesty mezi pracovišti.
- Krátké průběžné doby výroby.
- Relativně nižší objem rozpracované výroby, a tím i menší objem vázaných oběžných prostředků.
- Relativně malé nároky na výrobní plochy, a z toho plynoucí nižší nároky na investiční prostředky.
- Menší potřeby meziskladů.
- Méně náročná příprava výroby a její řízení.

Nevýhody:

- Velká citlivost na změny výrobního programu – Změněný výrobní program, a tedy změněný postup výroby, obvykle znehodnotí stávající uspořádání pracovišť. Nutné jsou významné změny výrobního systému.
- Obtížnost, nebo nemožnost využití volné kapacity pracovišť přijetím kooperačních prací.
- Náročnost údržby a oprav speciálních a jednoúčelových strojů a zařízení [3].

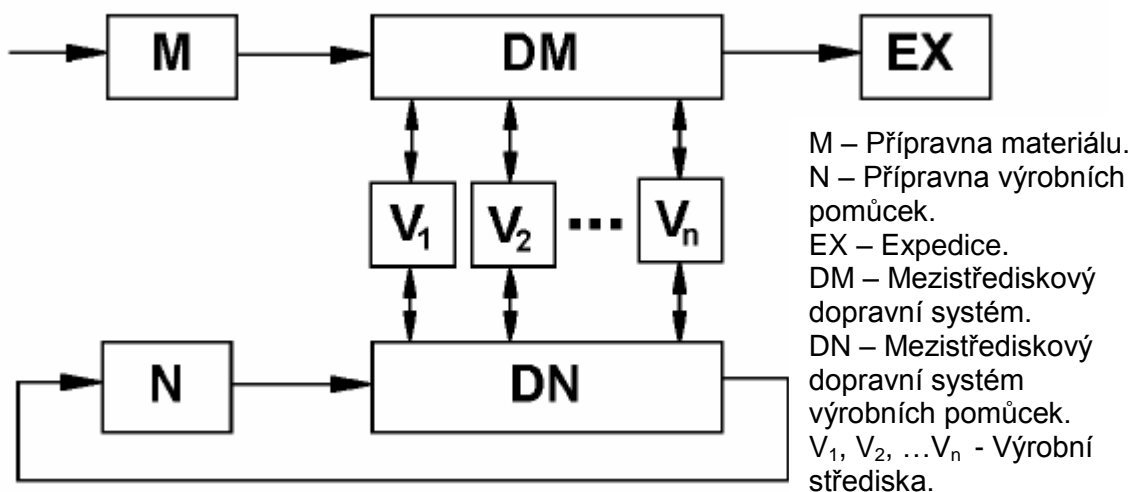


Obr. 7 Předmětný princip uspořádání pracovišť [41].

Tyto dva principy uspořádání pracovišť jsou uplatňovány v praxi poměrně dlouhou dobu, nicméně uspořádání PVS z nich stále vychází. Nebývá výjimkou, že tyto principy se v rámci jednoho systému kombinují.

1.2 Doprava, a manipulace v PVS

Výrobní proces je realizací hmotného toku materiálu a výrobních pomůcek po výrobním systému. Struktura dopravního systému je znázorněna níže (viz obr. 8) [4].



Obr. 8 Struktura dopravního systému v PVS [4].

Dopravní systém začíná v přípravných nebo skladech, které propojuje s výrobními středisky. V jednotlivých střediscích musí být ještě zajištěn mezioperační pohyb, zejména u vstupů a výstupů technologických pracovišť, a v rámci těchto pracovišť je ještě prováděna operační manipulace.

Mezioperační doprava se uskutečňuje mezi jednotlivými technologickými a kontrolními pracovišti a mezioperačními skladovými místy.

Dopravní proces končí ve výstupní kontrole a expedici, kde je výstup celého výrobního systému.

„Podle druhu a charakteru výroby je poměr technologických a manipulačních operací 1:2 až 1:8, někdy až 1:20. Při skladování materiálu dochází průměrně ke dvěma až šesti manipulačním operacím. Náklady na manipulaci s materiálem tvoří asi 35 % z celkových nákladů na zpracování. Proto tato oblast vyžaduje maximální pozornost a potřebu účinně prosazovat nejprogresivnější metody a technické prostředky [4]“.

V rámci řešení PVS se zaměříme zejména na :

- Operační manipulace na technologických pracovištích
- Mezioperační doprava a manipulace

1.2.1 Operační manipulace na technologických pracovištích - průmyslové roboty a manipulátory

Operační manipulace je dnes již nezbytnou součástí technologických pracovišť. U moderních automatizovaných PVS je automatizována i tato operační manipulace se součástmi, výrobními pomůckami a s odpadem. Operační manipulace je velmi těsně vázána na mezioperační dopravu, někdy v ní bývá přímo integrována.

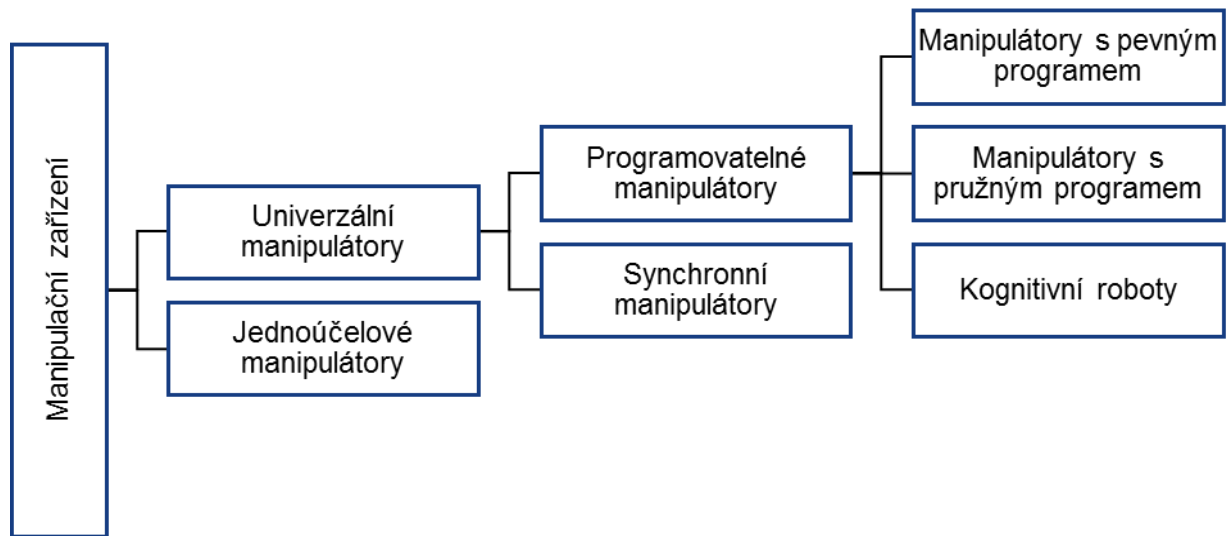
Operační manipulace zajišťuje přesun součástí ze vstupního manipulačního místa pracoviště, kam je ukládá mezioperační doprava, buď do zásobníku, nebo přímo do pracovního prostoru stroje a odtud po provedení operace na výstupní místo, odkud je přebírá mezioperační doprava a převáží na další pracoviště nebo do mezioperačního skladu. Výrobní pomůcky jsou ze vstupního místa přesouvány do pohotovostní polohy (např. do zásobníku nástrojů) na stroji a odtud zpět na výstup výrobních pomůcek [4].

Tyto operační manipulace u dnešních PVS provádí především průmyslové roboty a manipulátory, jimž se více věnuje následující část.

Průmyslové roboty a manipulátory

Průmyslové roboty a manipulátory se rozvíjí velmi vysokou rychlostí a jejich oblast použití se také stále rozšiřuje. Dá se říct, že cílem robotizace v průmyslu je vyloučení člověka a jeho podílu ruční práce ze všech operací daného technologického procesu.

Dělení manipulačních zařízení podle funkčního určení, stupně řízení a složitosti provedení, můžeme vidět v schématu (viz obr. 9) [4].



Obr. 9 Dělení manipulačních zařízení v PVS [4].

1.2.1.1 Jednoučelové manipulátory

Jednoučelové manipulátory (viz obr. 10) jsou velmi často přímo součástí obsluhovaného stroje, konstrukčně i tvarovým provedením s ním souvisejí. Zpravidla nedisponují vlastním pohonem, protože svůj pohyb odvozují od pohonného mechanismu stroje, jímž jsou také řízeny. Obvykle plní funkci podavačů a podobných jednodušších zařízení. Název jednoučelové napovídá, že jsou určeny pro manipulaci s jedním předmětem, nebo předměty, které jsou si tvarově podobné. Funkce prováděné manipulátory jsou jednoduché, spočívají většinou ve výměně nástroje, opracovaného předmětu, nebo podávání materiálu do stroje a jeho vyjímání [4].

Úkony a činnost vykonávaná manipulačními mechanismy je:

- převážně manipulační – Slouží tedy k přemístování předmětů a provádění různých úkonů schopným ústrojím [4].
- výrobně-technologická – Vykonávají některé technologické operace dosud realizované výhradně výrobními zařízeními, např. svařování, stříkání barev, broušení, vrtání, soustružení, měření apod. [4].
- manipulační a technologická – Manipulátor je vybaven jak schopným ústrojím na uchopení manipulovaného předmětu, tak i nástrojem, který při uchopení předmětu provede nějaký technologický úkon, např. vyjmutí výlisku ze vstřikovacího lisu a během této manipulace se provede odstřížení vtokového nálitku (popř. i jeho začistění) [4].

Druh činnosti, kterou manipulátor vykonává, má přímý vliv na jejich konstrukční uspořádání, na požadované parametry a také na nutnou úroveň řízení. Samotný výběr vhodného typu manipulátoru je také ovlivněn pracovním procesem, který má vykonávat a tvarem i rozměry přemísťovaných objektů [4].



Obr. 10 Automatický podavač tyčí pro soustruhy značky HAAS [5].

1.2.1.2 Univerzální manipulátory

Univerzální manipulátory jsou na rozdíl od jednoúčelových manipulátorů naprosto nezávislé na obsluhovaném stroji a to jak konstrukčně, řízením i způsobem pohonu. Tyto mechanismy jsou často mobilní a můžeme je dělit do několika skupin (viz obr. 9) [4].

Synchronní manipulátory

Synchronní manipulátory (viz obr. 11) jsou někdy také nazývány jako teleoperátory. Ovládání těchto manipulátorů provádí průběžně pracovník. Teleoperátory představují vlastně zesilovací ústrojí pro násobení silových a kinematických veličin. Dalo by se říct, že jsou „prodlouženou rukou“ ovládajícího pracovníka, díky níž je schopen velmi přesných operací, nebo manipulací s rozměrnými a těžkými předměty. Výkonné ústrojí je buď samostatné, umístěné mimo pracovníka (toho se využívá při práci v prostředí, kde člověk nemůže existovat, např. zamořeném radioaktivními materiály), nebo je upevněno na paži člověka.

„Synchronní manipulátory jsou složité servomechanismy, které se často používají při výzkumu, práci v laboratoři, všude tam, kde sice nelze vyloučit řídicí funkci pracovníka, kde však pracovník musí své úkony provádět buď na dálku, nebo kde tyto úkony přesahují fyzické možnosti člověka“ [4].



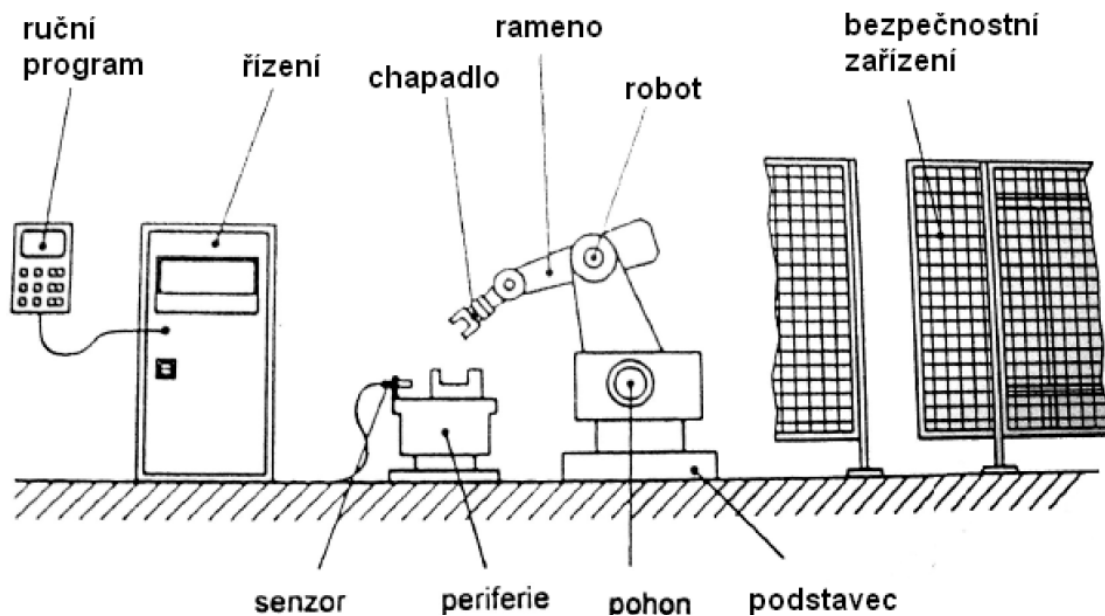
Obr. 11 Kovací manipulátor QKK 100° [6].

Programovatelné manipulátory

Programovatelné manipulátory podléhají řízení nějakého programového ústrojí. Svou konstrukcí, funkčností pohonem i řídicím systémem jsou na stroji, který obsluhují [4].

Manipulátory s pevným programem

Manipulátory s pevným programem (viz obr. 12) bývají často uváděny pod názvem jednoduché roboty, nebo roboty 1. generace. Během činnosti se jejich program nijak nemění [4].

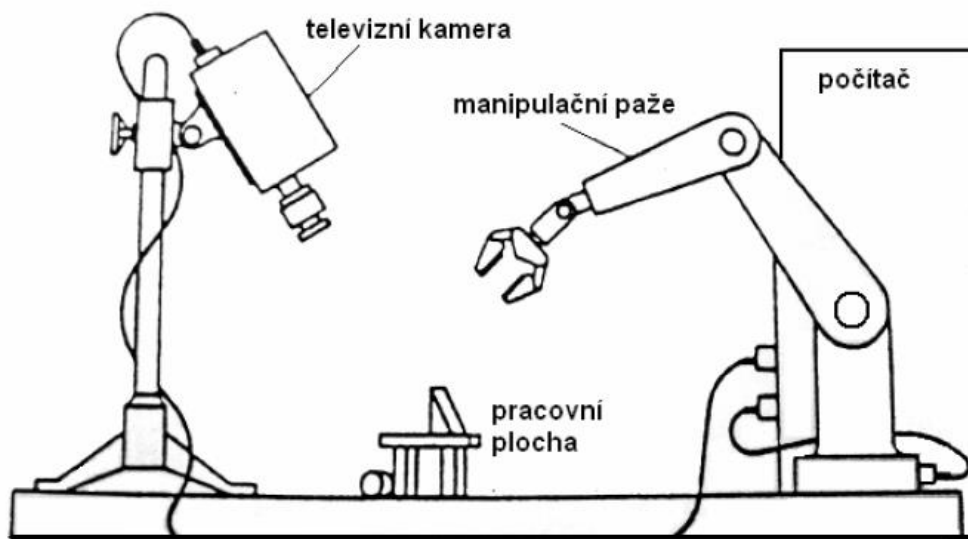


Obr. 12 Schéma průmyslového robota 1. generace [8].

Manipulátory s pružným programem

Můžeme se s nimi setkat i pod názvem roboty 2. generace (viz obr. 13). Disponují složitějším řídicím systémem, který má možnost přepínání nebo volby programu přímo podle pracovní situace, v níž se nachází. Nazýváme to adaptivním chováním a tyto manipulátory obvykle nazýváme průmyslovými roboty[4].

„Průmyslový robot je automatický anebo počítačem řízený integrovaný systém, schopný autonomní, cílově orientované interakce s přirozeným prostředím, podle instrukcí od člověka. Tato interakce spočívá ve vnímání a rozpoznávání tohoto prostředí a v manipulování s předměty, popř. v pohybování se v tomto prostředí“ [8]



Obr. 13 Schéma průmyslového robota 2. generace [8].

Kognitivní roboty

Jsou mechanismy s možností vnímání a racionálního myšlení. Člověk takovému přístroji zadá cíl, kterého má dosáhnout, ale samotný plán si již tento robot vytvoří sám. Kognitivní systémy jsou špičkou ve vývoji manipulačních zařízení [4].

1.2.2 Mezioperační doprava a manipulace

Hlavním spojovacím prvkem pružných výrobních systémů i výrobních soustav nižšího řádu je mezioperační doprava a manipulace. Ta musí být spojnicí technologických pracovišť, mezioperačních skladů a vstupů, i výstupů samotných PVS.

„Základním požadavkem na dopravní systém v podmínkách nižších typů výrob je vysoká pružnost, která umožňuje dopravu materiálu mezi dvěma zcela libovolnými manipulačními místy nezávisle na předcházejícím dopravním cyklu. Tím je zajištěna pružnost výrobní soustavy s širší součástkovou základnou.“ [4]

1.2.2.1 Válečkové tratě

Válečkové tratě jsou nejčastěji používaný druh dopravníku v rámci mezioperační dopravy PVS. Válečkové tratě můžeme rozdělit na poháněné a nepoháněné.

Nepoháněné válečkové tratě jsou nejčastěji využívaná, velmi jednoduchá dopravní zařízení, která se používají k přemísťování rozměrných a tvarově rozmanitých objektů. Může se na nich provádět jednoduchá montáž a mezioperační předávání montovaných skupin, slouží k zavážení skladů a nakládání do vagonu. Nepoháněné tratě (viz obr. 14) mohou posloužit i ke krátkému mezioperačnímu skladování pro období, než se uvolní následující operační buňka.

Nepoháněné tratě:

- Vodorovné – postrk: ruční, mechanický, pneumatický
- Gravitační – mohou být konstruovány s mírným sklonem, který závisí na provedení válečkové tratě. Pohybuje se v rozmezí 2 – 4°.



Obr. 14 Oblouk gravitační válečkové trati STRAND 120 [9].

Poháněné tratě:

- Řetězový pohon
- Pohon ozubeným soukolím

Změny směru pohybu:

- Kuličkovým stolem (viz obr. 15)



Obr. 15 Kuličkový stůl válečkové trati LOGSYS [10].

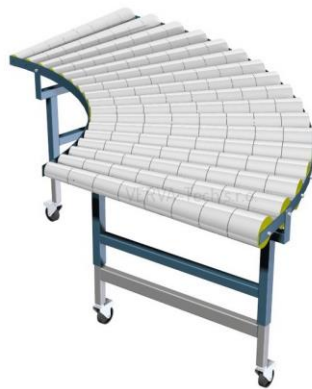
- Otočným stolem (viz obr. 16)



Obr. 16 Otočný stůl válečkové trati AMG - Karel Pícha, s.r.o. [11].

Zatáčky:

- Kuželové válečky (viz obr. 17)



Obr. 17 Zatáčka válečkové trati, řešená kuželovými válečky Verva-tech [12].

- Válečky ve dvou řadách (viz obr. 18) – vnější řada válečků rotuje rychleji



Obr. 18 Zatáčka válečkové trati, řešená válečky ve dvou řadách STRAND [9].

1.2.3 Ostatní dopravníky využívané v PVS

Dopravníky jsou základními prvky dopravy ve výrobních podnicích a mohou být různého provedení a typu. Tvoří důležitý článek mezi jednotlivými stroji, pracovišti a dílnami. Dpravují polotovary, hotové součásti, nástroje, výrobní pomůcky, montážní celky i odpad [13].

Nejpoužívanějšími dopravníky jsou:

- pásové dopravníky,
- řetězové
- podvěsné dopravníky,

1.2.3.1 Pásové dopravníky

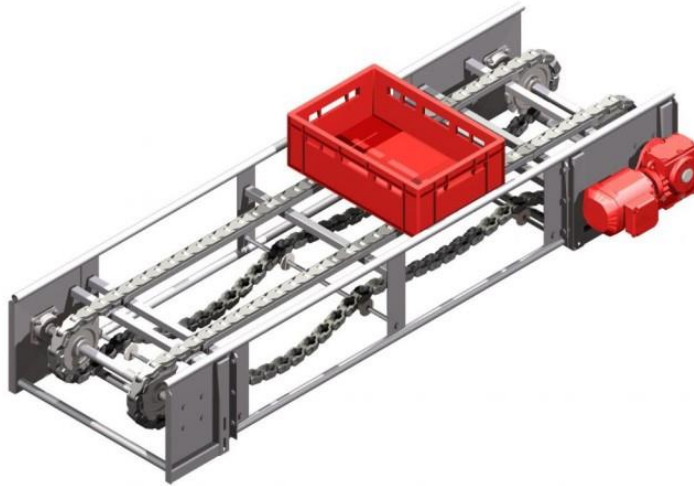
Pásových dopravníků (viz obr. 19) se kromě dopravy sypkých materiálů používá též pro dopravu kusových materiálů, a to ve vodorovném nebo mírně nakloněném směru (do 18°) [13].



Obr. 19 Vodorovný pásový dopravník značky BESEL [14].

1.2.3.2 Řetězové dopravníky

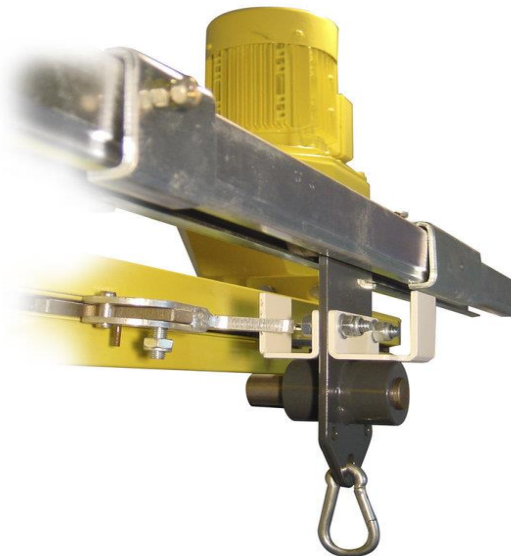
Řetězové dopravníky (viz obr. 20) jsou určeny k přepravě kusových výrobků středních a větších rozměrů, vyšších hmotností (výrobky, palety, přepravní boxy aj.), a taktéž pro aplikace s vyšší provozní teplotou (sušící boxy a tunely). Používají se jako samostatné jednotky nebo v kombinovaných linkách a také pro zástavbu do větších manipulačních celků [15].



Obr. 20 Řetězový dopravník značky MARTING [15].

1.2.3.3 Podvěsné dopravníky

Podvěsné dopravníky (viz obr. 21) jsou určeny především pro kusový materiál, který je tažen nekonečným obíhajícím tažným prostředkem ve vodící dráze. Rozdělují se na jednodráhové a dvoudráhové [16].



Obr. 21 Podvěsný dopravník značky Conductix - Wampfler [16].

1.2.4 Třískové hospodářství

Obráběcí centra svou činností neprodukuje při opracovávání kovových materiálů pouze polotovary další výroby či finální produkty konečné spotřeby, nýbrž i kovový odpad. Tím jsou nejen nezpracovatelné zbytky výchozích materiálů, ale především materiál odebíraný při různých technologiích třískového opracování těchto materiálů.

V rámci operační manipulace bývají třísky odebírány z pracovního prostoru obráběcích center buď jednorázově, nebo průběžně. Například vlivem gravitační síly odpadávají do spodní části centra. V těchto místech bývá napojen prvek meziobjektového dopravního systému, který odvádí odpad z frekventovaných oblastí pružného výrobního systému.

Nejčastěji bývají pro manipulaci s třískami využívány:

- Čláňkové dopravníky
- Hrablové dopravníky
- Magnetické dopravníky
- Pásové dopravníky
- Šnekové dopravníky

1.2.4.1 Čláňkové dopravníky

Čláňkové dopravníky třísek (viz obr. 22) jsou vhodné k přepravě většiny druhů třísek: drobné, dlouhé, spirálové, šavlovité i chuchvalce třísek. Dají se použít nejenom na vynášení třísek od obráběcích strojů, ale i k přepravě drobných součástí [17].



Obr. 22 Čláňkový dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

1.2.4.2 Hrablové dopravníky

Hrablové dopravníky třísek (viz obr. 23) jsou vhodné především pro dopravu drobných a krátkých třísek, nejčastěji tak bývají využívány pro dopravu třísek z hliníku a barevných kovů. Používají se u frézovacích center, pásových pil a dalších strojů, produkujících drobné třísky [17].



Obr. 23 Hrablový dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

1.2.4.3 Magnetické dopravníky

Magnetické dopravníky třísek (viz obr. 24) jsou vhodné především pro přepravu krátkých třísek z magnetických materiálů, s kapalinou nebo bez kapaliny. Uplatňují se především u ozubárenských strojů a pil na dělení různých materiálů [17].



Obr. 24 Magnetický dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

1.2.4.4 Pásové dopravníky

Pásové dopravníky (viz obr. 25) nabízí široké uplatnění v různých oblastech průmyslu a služeb. Pásové dopravníky jsou určeny k přepravě sypkých materiálů, drobných součástek, drceného odpadu. Uplatní se především tam, kde se přepravuje kusový materiál [17].



Obr. 25 Pásový dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

1.2.4.5 Šnekové dopravníky

Šnekové dopravníky (viz obr. 26) jsou nejjednodušší a nejlevnější variantou dopravníků, které však mají omezené využití. Jsou určeny k vodorovné nebo i šikmé přepravě různých drobných třísek a sypkých materiálů [17].



Obr. 26 Šnekový dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

1.2.4.6 Kruhové dopravníky

Kruhový dopravník (viz obr. 27) byl vyvinut pro karuselové soustruhy a je patentován společností ASTOS MACHINERY a.s.. Je určen pro přepravu všech druhů třísek po skoro celém obvodu pracovního prostoru obráběcího stroje (až 270°) a je vhodný nejen pro karusely, ale i na jednoúčelové stroje [17].



Obr. 27 Kruhový dopravník třísek od firmy ASTOS [17].

2 KATALOGIZACE OBRÁBĚCÍCH CENTER

2.1 Popis obráběcího centra

Obráběcím centrem (dále OC) se rozumí takový číslicově řízený obráběcí stroj, na němž lze na jedno upnutí provést řadu různých operací anebo úplně obrobít celou součást. K vykonání těchto operací, které probíhají za sebou nebo současně, provádí stroj automatickou výměnu nástrojů ze zásobníku, nastavuje vzájemnou polohu nástroje vůči obrobku, řídí otáčky, posuvy. Pomocné úkony, např. otáčení nebo naklápění pracovního stolu s obrobkem, polohování vřetena [18].

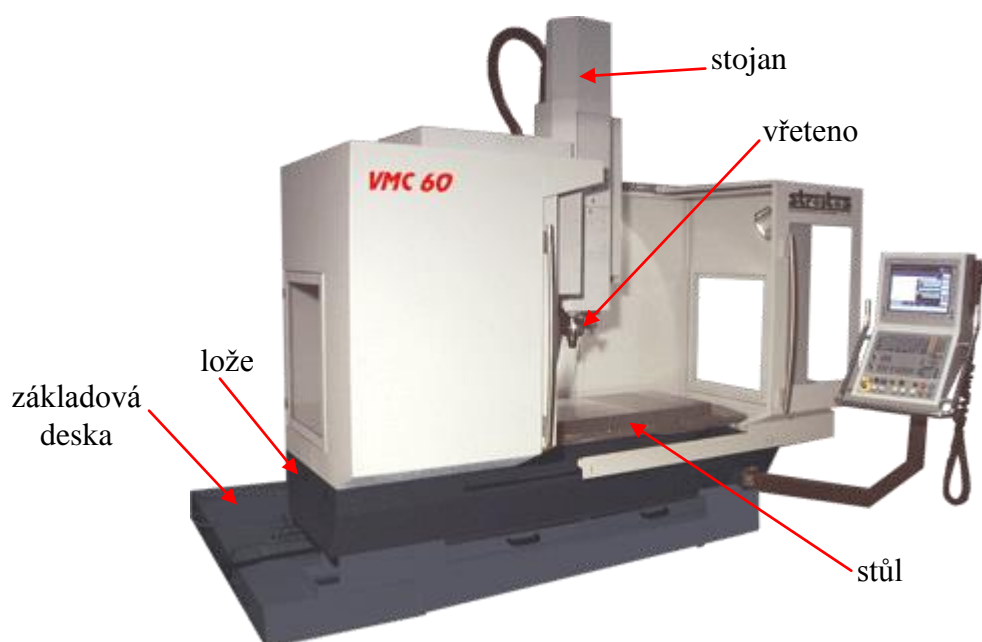
Tato koncepce strojů má od doby uvedení na trh trvalý a progresivní vzestup, jak co do velikosti výrobního objemu, tak co do zvyšování užitečných parametrů. V posledním vývoji se jednoznačně prosazují OC s vysokou tuhostí stroje, která je nutná pro vysoké výkony a požadavky přesnosti, zkracování všech vedlejších časů, vysoká pružnost aj. [19].

Hlavními důvody pro tyto vývojové tendence jsou:

- Růst sortimentu různých druhů výrobků v celém průmyslu
- Relativní snižování sériovosti a výrobních dávek
- Stoupající požadavky na přesnost a kvalitu výrobků
- Rostoucí nedostatek kvalifikovaných řemeslníků
- Stoupající osobní náklady (mzdy) [19]

2.1.1 Skelet obráběcího centra

Popis základních částí skeletu obráběcího centra můžeme vidět na vertikálním obráběcím stroji VMC 60 od firmy Strojtos Lipník a.s. (viz obr. 28) [20], [21], [22].



Obr. 28 Obráběcí centrum VMC 60 od firmy Strojtos Lipník a.s. [22].

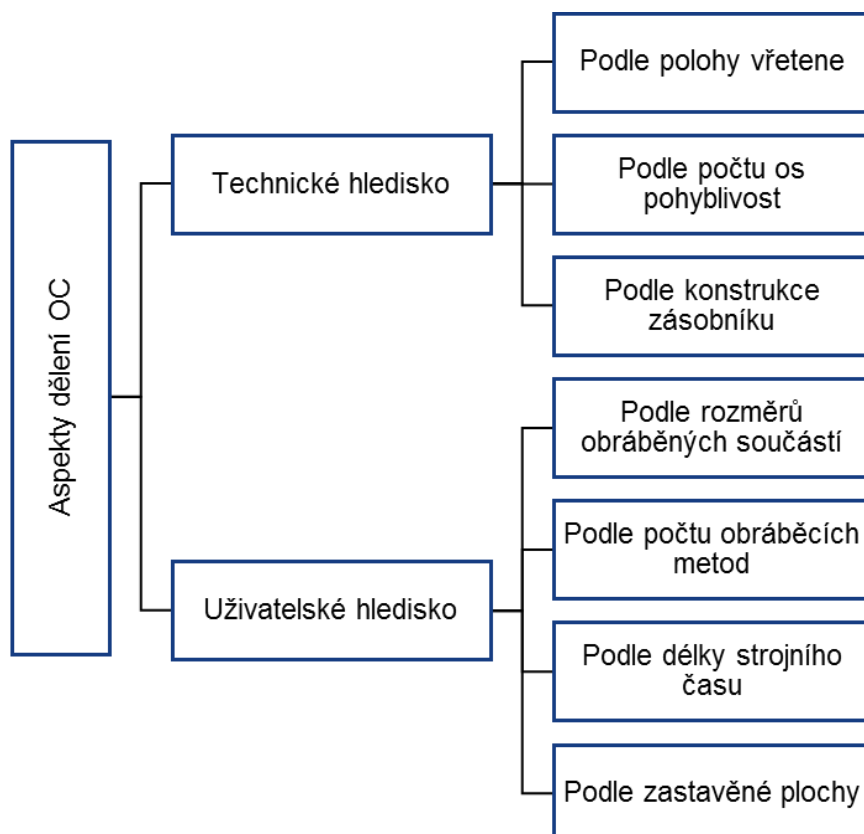
Skelet stroje

- lože – je tuhý rám tvořící podstavec pod stojan a stůl. Na loži jsou vodící plochy (zde válečková vedení) a mohou zde být dosedací plochy pro uložení dalších základních částí. V tělese podstavce je umístěn servopohon, a pod podstavcem jsou mísy na třísky a nádrž s chladicí kapalinou.
- stůl – část stroje zpravidla plochého tvaru pro upnutí obrobku. Stoly jsou křížové (pohyb ve dvou na sobě kolmých směrech) nebo otočné.
- základní deska – spodní část stroje, na které jsou dosedací plochy (případně upínací plochy).
- stojan – část stroje s výškou převládající nad ostatními rozměry. Jsou na něm upevněna vedení nebo dosedací plochy. Stojan je svislý nebo šikmý. U tohoto stroje je příčné válečkové vedení a v zadní části stojanu je příčný servopohon pohánějící kuličkový šroub.
- příčné sáně – součást pohybující se po vodících plochách základní části. Obvykle jsou tvořeny žebrovaným odlitkem.
- vřeteník - je v něm uloženo vřeteno a někdy též převodové ústrojí pro změnu otáček. U tohoto stroje je vřeteno uloženo na přesných valivých ložiscích a opatřeno automatickým upínáním nástrojů. Dutá tyč umožňuje ofukování nástroje a přívod chladicí kapaliny.

2.2 Rozdělení obráběcích center

Obráběcí centra jsou hlavními tvořivými jednotkami PVS. V dnešní době existuje velmi široká nabídka nejrůznějších variací těchto center a výrobci se předhánějí v jejich neustálém zdokonalování. Tento rychlý rozvoj se ovšem také podepisuje na složitosti orientace mezi variantami, které výrobci nabízí.

Obráběcí centra můžeme pro snazší orientaci rozdělit podle následujícího schématu (viz obr. 29).



Obr. 29 Schéma dělení obráběcích center.

2.2.1 Technické hledisko

Dle technického hlediska dělíme obráběcí centra na základě jejich konstrukčního řešení a celkové variability. V těchto ohledech jsou rozhodující kritéria:

- Podle polohy vřetene
- Podle počtu os pohyblivosti
- Podle konstrukce zásobníku

2.2.1.1 Podle polohy vřetene

Obráběcí centra se podle uložení vřetena dělí do dvou skupin: centra se svislou osou vřetena a s vodorovnou osou vřetena.

Vertikální OC

Centra se svislou osou vřetena (viz obr. 30) se objevují na trhu častěji, protože nabízejí širší technologické možnosti. Jsou vybavena obvykle otočným stolem s příslušným polohováním, takže umožňují opracovat součásti z několika stran při jednom upnutí. Pracovní stůl se může také naklápět. Oba tyto pohyby jsou řízeny číslicově [23].

„Slouží k obrábění rozměrných a těžkých součástí rotačních i nerotačních obrobků. Na těchto strojích lze soustružit válcové, kuželové a rovinné plochy, vyvrtávat válcové a kuželové otvory i řezat závity.“ [19]



Obr. 30 Vertikální obráběcí centrum HAAS VF 2. [25].

Horizontální OC

Obráběcí centra s vodorovnou osou vřetena (viz obr. 31) jsou vhodná zejména pro obrábění skříňového tvaru ze všech stran [23].

Tato koncepce má následující přednosti:

- Možnost obrábění složitých součástí z více stran.
- Vyšší tuhost vřetena, daná umístěním na rámu stroje.
- Lepší odchod třísek, zejména při výkonném obrábění (frézování, vrtání).
- Dobrá možnost automatizace výměny obrobku aj. [19].



Obr. 31 Horizontální obráběcí centrum Pinnacle LH500. [24].

2.2.1.2 Podle počtu os pohyblivosti

Moderní obráběcí centra, aby uspěla v konkurenci ostatních, musí být schopna obrábět součásti prakticky všech možných tvarů.

Na základě tohoto požadavku je můžeme rozdělit podle schopnosti změny poloh, v nichž dochází k obrábění. Nejdokonalejší centra mají pohyblivé vřeteno i stůl, což umožňuje obrobení materiálu do požadované podoby na jedno upnutí. Tím je výrazně zkrácen obráběcí čas.

OC na rotační součásti

Jsou to centra konstrukčně odvozena od jednoprofesních CNC soustružnických strojů, která ovšem kromě soustružení umožňují i další technologické operace jako vrtání a frézování. Disponují automatickým výměníkem nástrojů i obrobků a jsou schopna pracovat v automatickém cyklu. Primární činností těchto center je soustružení, proto je obrobek vždy upnut a koná pouze rotační pohyb kolem osy z. Vřeteno s nástrojem je posuvově pohyblivé ve 3 osách [19].

OC na nerotační součásti


OC pro obrábění nerotačních součástí mají pro splnění technologických požadavků minimálně tři translační souřadnice, doplňované podle podmínek využití dalšími rotačními, příp. translačními pohyby. Pro základní klasifikaci variant lze využít třídění podle rozdělení tří základních translačních souřadnic, které určují charakter pracovního prostoru (hranol, krychle) mezi základní dvojicí obrobek – nástroj (O – N) [19].

Jednotlivé kombinační varianty pohybů klasifikujeme zvlášť u obráběcích center horizontálních a vertikálních.

Horizontální

Klasifikace koncepčních variant pohybů nástroje OC na nerotační součásti s vodorovnou osou, podle základních translačních pohybů dvojice obrobek – nástroj (O – N) je znázorněna na následujícím obrázku (viz obr. 32).

OBRÁBĚCÍ CENTRA NA NEROTAČNÍ SOUČÁSTI S VODOROVNOU OSOU VŘETENA



3 souřadné osy v nástroji		2 souřadné osy v nástroji		1 souřadná osa v nástroji		žádná souřadná osa v nástroji	
Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj
0	XYZ	X	YZ	YZ	X	XYZ	0
	XZY		ZY	ZY		XZY	
	YXZ	Y	XZ	XZ	Y	YXZ	
	YZX		ZX	ZX		YZX	
	ZXY	Z	XY	XY	Z	ZXY	
	ZYX		YX	YX		ZYX	

Obr. 32 Kombinační varianty pohybů u horizontálních OC [19].

Dvě varianty, které můžeme vidět na levé a pravé straně tabulky jsou extrémními případy, kde všechny základní posuvové pohyby jsou soustředěny buď do obrobku O nebo nástroje N. Prostřední dvě skupiny jsou ukázkou možných kombinací pohybů nástroje a obrobku.

OC s vřetenem pohyblivým ve dvou souřadnicích

X – ZY

Jde o variantu s častým využitím. Rozdělení souřadnic vytváří podmínky pro velmi dobrou tuhost dvojice obrobek – nástroj. Použitý princip vedení pracovního stolu (osa X) vytváří dobré podmínky pro odchod třísek [19].

Y – XZ

Varianta výhodná zejména pro malé až střední velikosti obráběných součástí. Hlavní výhodou řešení je velmi dobrý gravitační odvod třísek z pracovního prostoru, což je jeden z hlavních požadavků pro automatický provoz stroje v zařazení do automatických výrobních soustav [19].

OC s vřetenem pohyblivým v jedné souřadnici

ZX – Y

Koncepce je odvozena od přesných vyvrtávacích strojů. Provedení stojanu se svisle posuvným vřeteníkem dává předpoklady pro vysokou tuhost a přesnost. Konstrukční provedení křížového stolu je řešeno tak, aby střed palety s obrobkem vždy směřoval proti vodícím plochám příčného posuvu Z [19].

OC s nepohyblivým vřeteníkem

XZY – O

Stojan stroje, který nese svisle přestavitelný pracovní stůl je posuvný v dalších dvou translačních souřadnicích X a Z [19].

Vertikální

Klasifikace koncepčních variant OC na nerotační součásti se svislou osou podle základního kritéria základních translačních pohybů dvojice obrobek – nástroj (O – N) je na následujícím obrázku (viz obr. 33). Důvodem užší četnosti je to, že jsou prakticky vyloučeny všechny varianty s pohybem obrobku v ose Y [19].

OBRÁBĚCÍ CENTRA NA NEROTAČNÍ SOUČÁSTI SE SVISLOU OSOU VŘETENA



3 souřadné osy v nástroji		2 souřadné osy v nástroji		1 souřadná osa v nástroji		Žádná souřadná osa v nástroji	
Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj	Obrobek	Nástroj
0	XYZ	X	YZ	YZ	X	XYZ	0
	XYX		ZY	ZY		XYZ	
	YZX	Y	XZ	XZ	Y	YXZ	
			ZX	ZX		YZX	
	ZXY	Z	XY	XY	Z	ZXY	
	ZYX		YX	YX		ZYX	

Obr. 33 Kombinační varianty pohybů u vertikálních OC [19].

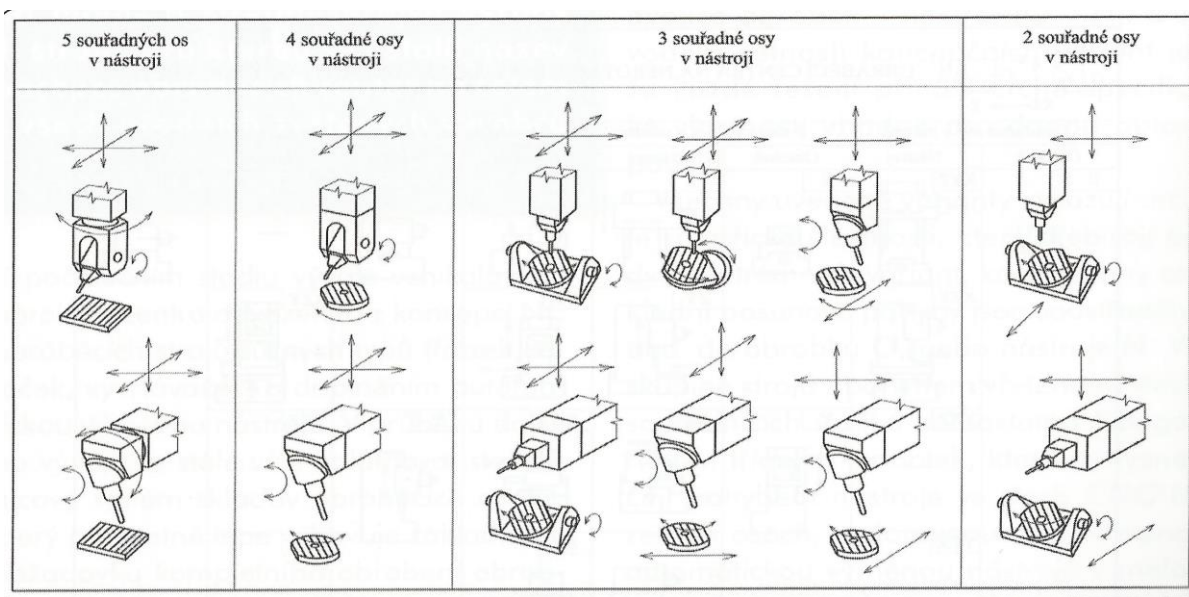
O – XYZ

Varianta s translačním vřetenem ve třech základních souřadnicích je výhodná zejména pro obrábění rozměrných součástí, které se střídavě obrábějí. Konstrukční provedení pojízdného portálu je technicky náročné. Tato varianta se někdy používá v jednostojanovém provedení pro sortiment menších součástí [19].

X – YZ

Tato nejčastěji používaná koncepční varianta svislých OC v provedení jednostojanovém se používá pro oblast malých a středních obrobků. Vhodným rozdělením posunových souřadnic obrobek – nástroj se docílují dobré parametry tuhosti a přesnosti stroje [19].

Všechny uvedené varianty mají určité specifické vlastnosti a konečnou skladbu OC je vhodné volit vždy na základě analýzy podmínek využití. Lze provést například nahrazení jedné translační souřadnice souřadnicí rotační nebo doplnění dalších translačních a rotačních souřadnic v různých kombinacích, které můžeme vidět na následujícím obrázku (viz obr. 34). V těchto případech hovoříme o víceosých strojích [19].



Obr. 34 Kombinační varianty pohybů víceosých OC[19].

Příklady různých variant z praxe

Vertikální

- 3osé
- 5osé
 - S otočným stolem
 - S pevným stolem

Horizontální

- 3osé.
- 4osé s otočným stolem
- 7osé s otočně posuvným stolem

2.2.1.3 Podle konstrukce zásobníku

Systém automatické výměny nástrojů je v dnešní době součástí každého CNC obráběcího stroje, jelikož zkracování vedlejších časů je jedním z nejčastějších požadavků zákazníka. Budoucností systémů automatické výměny nástrojů je zvyšovat počet nástrojů v zásobnících a zkracovat čas, kdy stroj stojí.

Pro představu, časy výměny nástroje z řezu do řezu u nejrychlejších systémů se pohybují kolem 2 sekund.

„Automatická výměna nástroje spočívá ve vyjmutí nástroje z vřetená, v jeho uložení do zásobníku, vyjmutí nového nástroje ze zásobníku a jeho uložení zpět do vřetená. Systém automatické výměny nástrojů musí v praxi splňovat několik důležitých hledisek: čas výměny z řezu do řezu musí být co nejkratší, nesmí omezovat pracovní prostor, kapacita zásobníku musí být dostačující, nástroj musí být tuhý, spolehlivý, s dlouhou životností a nenáročný na servisní údržbu. Všechny nástroje jsou na obráběcích centrech uloženy v zásobnících nástrojů, jejichž kapacita je od 15 do 100 nástrojů“ [26].

Tyto zásobníky můžeme podle konstrukce dělit na revolverové, bubnové, deskové, voštinové, regálové a řetězové. Na základě této konstrukce pak mohou být umístěny na stojanu nebo stole stroje, na pracovním vřeteníku nebo i mimo stroj.

Z pohledu zákazníka bude rozhodující kapacita nástrojů, rychlost výměny nástroje a zastavěná plocha. Z těchto hledisek by se daly zásobníky rozdělit na:

- Nosné zásobníky
- Skladovací zásobníky

Nosné zásobníky

Nosné zásobníky (viz obr. 35) jsou zásobníky malých rozměrů umísťované přímo do obráběcího stroje. Vyznačují se menší kapacitou nástrojů a krátkým časem jejich výměny. Velmi často bývají nástroje v tomto zásobníku přímo poháněny. Nemusí tedy docházet ani k jejich výměně, ale stačí pootočit zásobník a nástroj je ihned schopen obrábění. Říkáme, že zásobník přenáší řezné síly.

„Umístění zásobníku do stroje je výhodné, jelikož nezvětšuje půdorysnou plochu stroje. Stroje s nosnými zásobníky se nejčastěji používají se systémem s výměnou jednotlivých nástrojů pevně upnutých v zásobníku, v tzv. revolverové hlavě.“ [27]



Obr. 35 Revolverový zásobník obráběcích center Mori Seiki. [27].

Skladovací zásobníky

Jsou zásobníky velkých rozměrů a kapacit. Velmi často se skládají z více částí jako skladovací zásobník nástrojů, dopravní manipulátor sloužící k přenesení nástroje do místa výměny, manipulátor pro výměnu nástrojů v pracovním místě.

„Tyto systémy se vyznačují tím, že nepřenáší řezné síly, nástroj se musí do polohy a místa, kde je tuto sílu schopen přenášet, přemístit (ustavit do pracovní polohy).“ [27]

Podle kapacit nástrojů se dají dělit na:

- Maloobjemové zásobníky
- Velkoobjemové zásobníky

Maloobjemové zásobníky

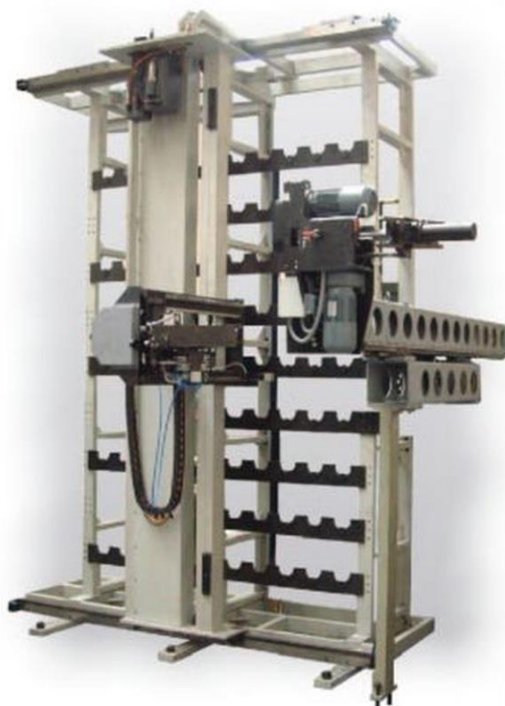
Maloobjemové zásobníky (viz obr. 36) mají jednodušší, jediný manipulátor a zpravidla mají 20 až 40 nástrojových míst. Rozměry zásobníku nebývají velké [27].



Obr. 36 Bubnový zásobník nástrojů ATC 2450. [27].

Velkoobjemové zásobníky

Velkoobjemové zásobníky (viz obr. 37) mají obvykle více než 40 pozic pro nástroje a maximální kapacita může dosahovat stovky nástrojů. Vzhledem k jejich značné hmotnosti a rozměrům se umísťují mimo stroj a zvětšují tak jeho půdorysnou plochu [27].



Obr. 37 Regálový zásobník od firmy TOS Varnsdorf. [27].

2.2.1.4 Souhrn dělení podle technického hlediska

Pro udržení přehlednosti v rozdělení obráběcích center podle technického hlediska můžeme využít tabulku, kterou vidíme níže. V levém sloupci jsou vypsána kritéria, podle nichž můžeme OC dělit. V prostředním sloupci jsou jednotlivé skupiny, odpovídající kritériím a v pravém sloupci najdeme příklady konkrétních produktů příslušící skupinám.

Tabulka 1 Sumarizace rozdělení OC podle technického hlediska.

Kritérium	Druhy OC	Příklady konkrétní produktů
Uložení nástroje	Horizontální	Tajmac – ZPS H; MAS MCH;
	Vertikální	Tajmac – ZPC MCFV; MAS MCV;
Základní tvar obrobku	Na rotační součásti	
	Na nerotační součásti	Mori Seiki NMV; Hermle C30UP;
Počet os pohybů	3osá	Trimill VC 3525,
	4osá	Hurco HMX500i
	5osá	Trimill VU 3014,
	7osá	Trimill HF1212
Druh zásobníku	Nosný	Mori Seiki NL Series
	Skladovací - maloobjemový	Zmaq ATC 2450
	Skladovací - velkoobjemový	Regálový zásobník firmy TOS Varnsdorf

2.2.2 Uživatelské hledisko

Potenciální zákazník firem, které se zabývají výrobou obráběcích center, nemusí být žádným odborníkem v této oblasti. Potřebuje pouze koupit stroj, který bude schopný vyrábět žádanou součást za požadovaných podmínek.

V této podkapitole se tedy setkáme s rozdělením obráběcích strojů a s výčtem hledisek a kritérií, jež bývají při výběru rozhodující pro zákazníka. V některých případech jsou zmíněna i kritéria, která jsou podrobněji popsána v členění z technologického hlediska. Tyto již nebudeme blíže specifikovat, pouze v kontextu uvedeme, na jaké rozhodující parametry by mohly mít ze zákaznického pohledu vliv.

Při volbě OC zákazník zohledňuje následující aspekty:

- Velikost obráběných součástí
- Počet operací nutný pro obrobení - velikost zásobníku nástrojů
- Co nejkratší strojní čas – co ho nejvíce zkracuje

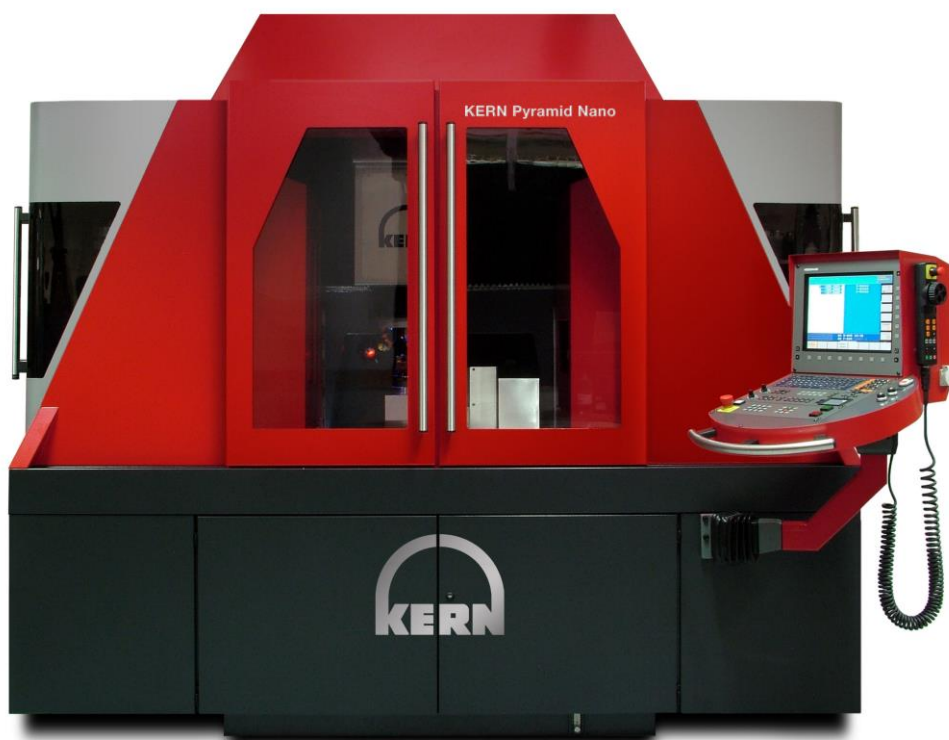
2.2.2.1 Dělení OC podle velikosti obráběných součástí

- Malá
- Střední
- Velká
- Vysoce produktivní centra

Malá obráběcí centra

Pro běžné užití

Jedná se o kategorii strojů určených pro obrábění velmi malých a přesných dílců. Typickými produkty jsou součásti do hodinek a jiných mikromechanismů, miniaturní reliéfy forem optických prvků, miniaturní střížné nástroje a inzerty nástrojů a forem, malé elektrody pro EDM apod. Velikosti zdvihů nepřesahují obvykle 200 mm a centra bývají tříosá, jen výjimečně víceosá. Vzhledem k užití velmi malých průměrů nástrojů (od průměru 20 μm) jsou uplatňována vysokootáčková vřetena (až 200.000 otáček.). U strojů se zaručenou přesností menší než 5 μm je velmi významným problémem řešení proměření přesného průměru a vložení upnutého nástroje. Nelze užít klasických dotykových sond a jsou užívány speciální laserové měřicí přístroje, na kterých je prováděno měření za rotace. Výsledek měření, který je zaváděn do CNC systému, je vyhodnocen nejméně ze tří samostatných měření. U velmi přesných strojů pracujících s nejmenšími nástroji je také často užíván systém upínání nástrojů přímo do kleštiny ve vřetenu a není užíván nástrojový držák, který je jako další dílec v řetězci zdrojem chyb a nepřesností. Automatická výměna, ukládání a manipulace s miniaturními nástroji jsou pak řádově složitější než u systémů výměny při užívání nástrojových držáků. Pro pohon v této kategorii strojů jsou nyní nejčastěji uplatňovány lineární motory, méně pak kuličkové šrouby, a například stroj KernPyramid Nano (viz obr. 38) užívá hydrostatické trapézové šrouby i hydrostatická vedení všech os. Maximální posuvové rychlosti se pohybují v rozsahu 30 - 90 m/min a zrychlení od 1 do 2G [28].



Obr. 38 Obráběcí centrum na malé součásti KERN Pyramid Nano. [29].

Speciální užití – MEDICINA

Tyto velmi přesné stroje dnes nachází uplatnění i ve zdravotnictví, kde jsou využívány pro výrobu implantátů. Například obráběcí centrum Sugino Xion-III-5AX (viz obr. 39), které je blíže popsáno v následující části.

Sugino Xion-III-5AX

Velice kompaktní, ultrapřesné, vysokorychlostní 5osé obráběcí centrum navržené pro ty nejsložitější tvary. Tento stroj byl díky svým technickým parametrům a technologickým možnostem použit pro výrobu implantátů pro medicínské účely. Složitý díl – dlaha pro fixaci zápěstí – je obroben ze speciálního materiálu (titanu), který je odolný proti chemickým a mechanickým namáháním. Je velice pevný a má individuální tvar, který se navrhuje přesně na požadované rozměry. Dále může být stroj využíván pro výrobu forem např. zubních implantátů apod. Toto obráběcí centrum je schopno pracovat s otáčkami vřeteníku do 40.000 ot./min a umožňuje mikroobrábění s neuvěřitelnou přesností 1 μm . Absence jakýchkoliv převislých částí, nadbytečných pohybujících se hmotností spolu s velice přesným lineárním odměřováním – to vše dodává stroji tuto nebývalou přesnost polohování, která dosahuje 0,1 μm . Díky kompaktnímu provedení potřebuje tento stroj až o 50 % menší zastavěnou plochu [30].



Obr. 39 Ultrapřesné OC schopné mikroobrábění Sugino Xion-III-5AX [31].

Středně velká OC

Přesná

Jedná se o centra určená především k obrábění nástrojů a forem. Příkladem je OC od firmy Mazak, model Super Mold Maker 2500 μ (viz obr. 40). Obrobek je obvykle umístěn na vodorovném stole, který je nehybný nebo který koná pohyb maximálně v jedné souřadnici. Nosná struktura je charakteristická masivním rámem tvaru L nebo je uplatněna koncepce se dvěma bočnicemi provázanými v zadní části stroje. K pohonu jsou užívány téměř výhradně pohony s kuličkovými šrouby. I v této oblasti strojů se začínají uplatňovat rotační řízené osy, nejčastěji pak na otočných a naklápěcích stolech. Společnost Fidia v podobě stroje G996V, resp. RT a Ingersol v podobě stroje OPS 650 představily koncept, který umožňuje při užití shodného rámu instalovat pod vřeteník buď pevný stůl, nebo dvouosý otočný a naklápěcí stůl [28].



Obr. 40 Středně velké OC Super Mold Maker 2500 μ od výrobce Mazak [32].

Univerzální

Univerzální centra (viz obr. 41) jsou nejčastěji nabízena jako čtyřosá s horizontálním vřetenem, které koná pohyb minimálně ve dvou souřadnicích. Velmi časté je tříosé provedení vřeteníkové skupiny box-in-box nebo s pohyblivým stojanem v příčné ose X. Otočné a naklápěcí osy se v této kategorii vyskytují téměř výhradně na straně obrobku, a to v podobě horizontálních nebo vertikálních kolébek, často s užitými prstencovými motory pro pohon [28].



Obr. 41 Univerzální obráběcí centrum DMG MORI NEF 400 [33].

Velká OC

Portálová obráběcí centra (viz obr. 42) jsou univerzální frézovací stroje pro vysoce přesné a produktivní obrábění vodorovných, svislých i tvarových ploch od malých až velmi objemné a hmotné obrobky. Typickými obrobky jsou rozměrné formy, zápustky, svařence a odlitky všech materiálů, dále je centrum možné využít i na obrábění několika menších různých dílců rozmístěných v pracovním prostoru [34].

Stroje vynikají extrémně tuhou a dynamickou stálostí konstrukcí, umocněnou teplotní stabilizací. Přestože jsou pohybované hmoty, jako příčnick a smykadlo, velmi masivní, stroje mají výborné akcelerační schopnosti a vysoké posuvy. Produktivitu podtrhují automatická výměna nástrojů s možností vnitřního chlazení a jiné příslušenství širokého výběru. [34]



Obr. 42 Portálové obráběcí centrum od firmy DUGARD, model XP3200S [35].

Vysoce produktivní centra

Tato kategorie strojů je primárně určena pro hromadnou výrobu, především v automobilovém průmyslu a někdy se pro tuto kategorii strojů užívá též označení systémové stroje (viz obr. 43). Stroje jsou připraveny pro stavbu do výrobních linek a často jsou nabízeny ve vícevřetenovém provedení. Důraz je kladen na velmi rychlou výměnu nástrojů a obrobků, stroje dosahují vysokých posuvových rychlostí i zrychlení a velmi charakteristická je modulárnost koncepce stroje, umožňující zvolit různý počet vřeten a různé provedení stolu pro obrobek. U této kategorie strojů jsou často uplatňovány lineární motory a obvykle vřeteníková skupina realizuje všechny tři posuvové souřadnice. Je snahou vyvíjet stroje co nejméně široké, s dobrým přístupem pro manipulaci seshora a zepředu. Výrobci těchto strojů musí především nabídnout schopnost navrhovat a realizovat komplexní výrobní linky včetně automatizace a transferu obrobků a nástrojů, a nezbytné infrastruktury [28].



Obr. 43 Obráběcí centrum OKUMA Millac 100vh [36].

2.2.2.2 Podle počtu operací pro obrobení

Při uvedení tohoto kritéria předpokládáme, že zákazník má alespoň přibližnou představu o složitosti a různorodosti obrábění svého produktu a má vypracovaný předběžný technologický postup. Počet různých obráběcích metod je totiž v přímé souvislosti s počtem obráběcích nástrojů, které potřebuje OC pro zhotovení finálního obrobku.

Výběrovým kritériem, které z tohoto vyplývá, je požadavek na velikost zásobníku nástrojů.

2.2.2.3 Co nejkratší strojní čas

V dnešní době, a zejména u sériové výroby, je toto kritérium skutečně zásadní. Jako strojní čas se rozumí doba, která uplyne od okamžiku ustavení součásti do pracovní pozice, po okamžik, kdy je dokončený obrobek vyjmut z OC.

Zkracováním strojního času se zvyšuje produktivita výroby, a proto se výrobci OC velmi zaměřují na rychlost nejen samotného obráběcího procesu, ale i na rychlost úkonů s ním spojených.

Faktory ovlivňující celkový strojní čas:

- Počet nutných upnutí
- Doba upínání
- Výměna nástroje
- Rychlost posuvu

Počet nutných upnutí

Hlavním důvodem upínání obrobků je jeho ustavení do požadované polohy. Nutné je jeho pevné zajištění, které musí zabránit uvolnění v důsledku působení řezných a odstředivých [37].

„V zájmu snížení strojního času je potřeba volit obráběcí systém tak, aby bylo možné obrobení na co nejmenší počet upnutí. Moderní OC disponují tak širokou škálou poloh obrábění, že je téměř vždy možné vybrat stroj, který součást obrobí na jedno upnutí“ [37]

Rozhodujícím kritériem v tomto směru je počet os, v nichž je OC schopno obrábění.

Doba upnutí

Pro eliminování vlivu doby upínání a odebírání obrobku bývají OC vybavena více stoly. Zatímco součást upnutá k jednomu stolu je právě obráběna, druhý stůl se nachází mimo obráběcí prostor a dochází na něm k sejmutí hotového obrobku a poté k upnutí nového polotovaru určeného k obrábění.

Tyto činnosti probíhají současně a v ideálním případě pak doba upínání obrobku nemá na výsledný strojní čas žádný vliv.

Výměna nástroje

Vzhledem k široké škále obráběcích metod, které bývají pro konečné obrobení součásti využívány, je výměna nástrojů nevyhnutelná.

Čím více výměn nástroje během obrábění je nutné provést, tím výrazněji se čas potřebný pro výměnu projeví ve výsledném strojním čase. Proto může být i volba tohoto výměnného systému zásadní.

Posuvová rychlost

Posuvová rychlost může také v celku výrazně ovlivnit výsledný strojní čas, zejména u složitých součástí. V tomto případě uvažujeme posuvy nikoli vykonávané při samotném odebírání materiálu, ale posuvy nutné k ustavení nástroje nebo obrobku do pozice potřebné pro obrobení.

Poměrně novým trendem je využívání lineárních pohonů, díky němuž můžou OC dosahovat posuvových rychlostí až 120 m/s a pohybovat se se zrychlením 3G.

„Lineární motory se nikdy neopotřebují tak jako sada kuličkových šroubů, které mohou přijít na spoustu peněz. Lineární motor je tvořen magnety a měděnými cívkami podobně jako rotační servomotory, ale na rozdíl od kuličkového šroubu a matice, zde chybí mechanické spojení s poháněnou částí. Přímý pohon eliminuje potřebu převodu mezi motorem a osou, což vede k dosažení kratší odezvy a vyšší přesnosti programovaných pohybů, a tudíž k rychlejšímu a spolehlivějšímu obrábění. Vzhledem k chybějícímu mechanickému kontaktu mezi stolem a lineárním motorem je pohyb os tichý a bez vibrací. Lineární motory nevyžadují údržbu a jejich teoretická životnost je nekonečná.“ [39]

2.2.2.4 Zastavěná plocha

Zastavěná plocha může být také jedním z limitních kritérií při budování samotné výrobní linky. Určitý požadavek na prostor mají téměř všechny prvky pružného výrobního systému a je potřeba i jejich volbu zvažovat s ohledem na toto kritérium.

Pro obráběcí centra obecně platí, že vertikální OC zabírají menší půdorysnou plochu. Podobně můžeme uvažovat i u zásobníků nástrojů, které mohou být přímo upevněny na skeletu stroje a nezvětšují tak půdorys, nebo jsou umístěny samostatně mimo OC a s jejich půdorysnou plochou je také potřeba počítat.

2.2.2.5 Souhrn dělení podle uživatelského hlediska

V následující tabulce můžeme vidět sepsány časté požadavky uživatelů při výběru vhodného obráběcího centra. Ke každému z požadavků jsou vypsány vlastnosti nebo prvky OC, které tento požadavek nějakým způsobem ovlivňují, a k nim je automaticky přiřazen návrh potenciálně nejlepší možné varianty.

Tato tabulka je pouze ilustrativní a může pomoci při výběru OC nebo alespoň při sumarizaci požadavků, která budou na OC kladena. Samotná volba OC je čistě individuální záležitostí zákazníka podle jeho kritérií.

Tabulka 2 Souhrn častých požadavků zákazníka.

Požadavek zákazníka	Čím je požadavek ovlivněn	Nejlepší možnost	Příklad konkrétního produktu
Co nejkratší strojní čas	Druh zásobníku	Nosný - revolverový	Mori Seiki NL Series
	Počet stolů	Minimálně 2	-
	Rychlosti posuvu	Lineární motory	SODICK Motion Control
Velká složitost součástí	Počet os OC	7osá	Trimill HF1212
	Velikost zásobníku	Velkoobjemový - skladovací	Zásobníky firmy KBH CZ
Co nejmenší zastavěná plocha	Druh uspořádání OC	Vertikální	Tajmac – ZPS MCFV 1060
	Druh zásobníku	Nosný	Regálový zásobník firmy Huller
Velikost obráběné součásti	Malá OC	-	KERN Pyramid Nano
	Střední OC	-	Mazak Super Mould Maker 2500u
	Velká OC	-	Hyundai WIA KH1000

ZÁVĚR

V první části práce jsem se věnoval popisu pružných výrobních systémů. Popsal jsem důvod jejich využívání, naznačil jejich možné dělení podle uspořádání pracovišť a dále jsem se blíže věnoval běžným prvkům těchto systémů, jako jsou dopravníky a manipulační zařízení.

V druhé části jsem se zaměřil na nejdůležitější prvky pružných výrobních systému, obráběcí centra. Na jejich dělení jsem pohlížel dvěma způsoby. V prvním případě jsem se zaměřil na rozdělení podle technického a konstrukčního pohledu. V druhém případě jsem ale provedl dělení z pohledu potenciálního uživatele obráběcího centra. Cílem bylo přidružit obvykle uváděné charakteristiky obráběcích center k nejčastějším požadavkům jejich potenciálních uživatelů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HAJDUK, Mikuláš. *Pružné výrobné bunky*. 1. vyd. Košice: Technická univerzita, 1998, 153 s. ISBN 80-7099-387-1.
2. HAVLÍK, Radek. *Programování a řízení CNC strojů: Prezentace přednášek – část 1* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, Katedra výrobních systémů, ©2005 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/cnc_cadcam/pnc_1.pdf
3. HORVÁTH, Gejza. *Logistika výrobních procesů a systémů*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Strojní fakulta, 2000, 195 s. ISBN 80-7082-625-8.
4. ADAMEC, Jaromír. *Technologie automatizovaných výrob*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006, 101 s. ISBN 80-248-0871-4.
5. HAAS AUTOMATION. Automatický podavač tyčí pro soustruhy. *Haas Automation* [online] ©2015 [cit. 2015-04-23] Dostupné z: http://int.haascnc.com/highprod_intro.asp?intLanguageCode=1029
6. MINÁŘ, Vladimír. Generační know-how v těžkém strojírenství. *MM Průmyslové spektrum: strojírenský měsíčník* [online časopis]. 2010, č. 11, 18. listopadu 2010, s. 12 [cit. 2015-03-20]. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/generacni-know-how-v-tezkem-strojirenstvi.html>
7. ŠIŠKA, Lubomír. *Montážní stanice s robotem MELFA RV-2AJ*. Zlín, 2008. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Vedoucí práce David Sámek.
8. HAVEL, Ivan M. *Robotika: Úvod do teorie kognitivních robotů*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1980, 279 s.
9. STRAND. Gravitační oblouk válečkové trati 120. *STRAND* [online]. 2014 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://strand.cz/produkty/gravitacni-oblouk-valeckove-trati/>
10. MECALUX. Dopravníky pro průmyslové aplikace. *Mecalux logismarket – průmyslový katalog* [online]. ©2000 – 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.logismarket.cz/logsys/dopravniky-pro-prumyslove-aplikace/1395276951-947644224-p.html>
11. KANDR, Michal. Válečkové tratě. AMG Karel Pícha [online]. [2015] [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.amgpicha.cz/valeckove-trate/>
12. VERVA-TECH. Gravitační válečkové dopravníky a kuličkové stoly. *VERVA tech* [online]. 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.verva-tech.cz/produkty/gravitacni-valeckove-dopravniky-a-kulickove-stoly>

-
13. KNOFLÍČEK, Radek. *Roboty a pružné výrobní systémy: studijní opora* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, 2014 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/FRM/Roboty%20a%20pru%C5%BEen%C3%A9%20v%C3%BDrobn%C3%AD%20sy%20st%C3%A9my.pdf>
 14. BESEL. *Stroje a zaradenia pre plastikársky priemysel. BESEL* [online]. 2014 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: http://www.besel.sk/sk/fb_sk.htm
 15. eXpress. *Řetězové dopravníky a řetězové dráhy RTD. MARTING* [online]. 2014 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: http://www.marting.cz/produkty/retezove_dopravniky/retezove_dopravniky.html
 16. DELACHAUX GROUP. *Podvěsné dráhy. Conductix wampfler* [online]. ©2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.conductix.cz/cz/produkty/manipulacni-technika/podvesne-drahy>
 17. ASTOS MACHINERY. *Dopravníky třísek. Astos Machinery* [online]. [2015] [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.astos.cz/dopravniky-trisek>
 18. BORSKÝ, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1991, 214 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-0361-6.
 19. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014, 684 s. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
 20. MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha: MM Publishing, 2006, 282 s. ISSN 1212-2572
 21. KRÍZ, O. *Deskripce CNC obráběcích center na nerotační součásti*. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Petr Blecha.
 22. KOVO.net. *Vertikální obráběcí centra VMC 60. KOVO.NET: informační portál kovozpracujícího průmyslu* [online]. 2003 – 2009 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.kovo.net/index.php?kategorie=977&type=detail&sub=z&ID=64069>
 23. VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění a montáží*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1990, 464 s. ISBN 80-030-0143-9.
 24. MIKRON. *Obráběcí stroje Pinnacle. Mikron Moravia: Prodej a servis CNC obráběcích strojů* [online]. 2008 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.mikronmoravia.cz/obrabeci-stroje-pinnacle/>
 25. MESIT RONEX. *Frézování. MESIT Ronex: společnost skupiny MESIT* [online]. 2013 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.ronex.mesit.cz/cs/art/102-frezovani>
 26. PAGÁČ, Marek. *Obráběcí stroje: Automatická výměna nástrojů. Průmysl.cz: informační portál pro český průmysl* [online časopis]. Nová média, 19. října 2012 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.prumysl.cz/obrabeci-stroje-automaticka-vymena-nastroju/>

-
27. KELLER, Petr. *Zásobníky nástrojů, typy, základní vlastnosti* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/educom/inovace/PNC/VY_03_08-z%C3%A1sobn%C3%ADky%20n%C3%A1stroj%C5%AF,%20typy,%20z%C3%A1kladn%C3%AD%20vlastnosti_p%C5%99_MZ_6.pdf
 28. SMOLÍK, Jan. Malá a středně velká frézovací centra po EMO 2005. *MM Průmyslové spektrum: strojírenský měsíčník* [online časopis]. 2005, č. 12, 20. prosince 2005, s. 26 [cit. 2015-03-20]. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mala-a-stredne-velka-frezovaci-centra-po-emo-2005.html>
 29. DKSH. Kern Pyramid Nano. *DKSH Taiwan* [online]. [2015] [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.dksh-mat.com.tw/Kern/Pyramid%20Nano.files/image001.jpg>
 30. ZHRÁDKA, Jaroslav. Malá a přesná obráběcí centra. *MM Průmyslové spektrum: strojírenský měsíčník* [online časopis]. 2012, č. 7, 27. června 2012, str. 51 [cit. 2015-03-20]. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mala-a-presna-obrabeci-centra.html>
 31. DIRECT INDUSTRY. Sugino – CNC machining center. *Direct INDUSTRY: The Online Industrial Exhibiton* [online]. 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/sugino/cnc-machining-centers-5-axis-vertical-high-speed-28709-541929.html>
 32. YAMAZAKI MAZAK. Super mold maker 2500- μ . *Mazak: Leaders in the manufacture of advanced technology solutions* [online]. 2014 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.mazak.eu/Vertical-Machining-Centers/Mold-Maker/Super-Mold-Maker-series>
 33. TECHSPEX. Turning Center Model. *Techspex* [online]. [2015] [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: [http://www.techspex.com/turning-machines/dmg-mori-seiki\(14926\)/6379](http://www.techspex.com/turning-machines/dmg-mori-seiki(14926)/6379)
 34. CNC-INAXES. Portálová obráběcí centra. *Inaxes CNC Machinery* [online]. 2012 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.cnc-inaxes.cz/CNC-portalova-obrabeci-centra>
 35. CNC-INAXES. Dugard XP3200S. *Inaxes CNC Machinery* [online]. 2012 [cit. 2015-03-20]. Dostupné z: <http://www.cnc-inaxes.cz/CNC-portalova-obrabeci-centra/dugard-xp3200s.html>
 36. DIRECT INDUSTRY. Okuma – CNC machining center. *Direct INDUSTRY: The Online Industrial Exhibiton* [online]. 2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: http://www.directindustry.com/prod/okuma/cnc-machining-center-5-axis-horizontal-high-speed-7402-506948.html#product-item_506960
 37. KAMENICKÁ, Pavlína. *Způsoby upínání nástrojů a obrobků*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Milan Kalivoda.
 38. ŠVRČINA, Josef. *Upínání obrobků – frézování*. [online]. Opava: SŠPU Opava, 2011 – 2012. [cit. 2015-03-21]. Dostupné z: http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablony/Praxe_II_a_III/VY_52_INOVACE_H-02-25.pdf
-

39. KÜNSTLER, Viktor. Vysokorychlostní obráběcí centra s lineárním pohonem. *MM Průmyslové spektrum: strojírenský měsíčník* [online časopis]. 2009, č. 9, 2. září 2009, s. 36 [cit. 2015-03-20]. Dostupné také z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vysokorychlostni-obrabeci-centra-s-linearnim-pohonem.html>
40. CZ.TECH. Výrobní linka na zarovnávání, navrtávání a soustružení hřídelí . *CZ.TECH – CNC stroje Čelákovice* [online] 1999-2015 [cit. 2015-04-23]. Dostupné z: <http://www.cztech.cz/index.php/cz/vyrobni-linka-na-zarovnavani-navrtavani-a-soustruzeni-hrideli>
41. DEBNÁR, Peter. Flexibilita - jeden z principů produkčních systémů. *API – Akademie produktivity a inovací*. [online časopis]. 2011, 27. června 2011 [cit. 2015-04-25] Dostupné z: <http://e-api.cz/article/70458.flexibilita-8211-jeden-z-principu-produkcniich-systemu/>