



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



# **Výrobní stroje I.**

Studijní podklady k vybraným kapitolám

Autor: Ladislav Kovář

Ostrava, srpen 2019



## Obsah

<b>Úvod.....</b>	<b>3</b>
<b>1 Definice výrobního stroje.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Struktura výrobního stroje.....</b>	<b>3</b>
<b>3 Rozdělení výrobních strojů.....</b>	<b>5</b>
3.1 Technologický proces, pro který jsou určeny .....	5
3.2 Technologické možnosti výrobního stroje .....	5
3.3 Způsob realizace procesu řezání – u obráběcích strojů pro třískové obrábění.....	5
3.4 Druh zpracovávaného materiálu.....	6
3.5 Mechanismus užitý pro přenos energie .....	6
3.6 charakter působení výstupního členu (nástroje) na výrobek (polotovary) .....	6
3.7 Šíře možného využití.....	6
3.8 Způsob řízení .....	6
3.9 Stupeň automatizace (pružnosti) .....	7
<b>4 Požadavky na výrobní stroje .....</b>	<b>7</b>
4.1 Výkonnost.....	8
4.2 Pracovní přesnost (jakost práce).....	10
<b>5 Pohony výrobních strojů .....</b>	<b>12</b>
5.1 Dimenzování pohonů.....	13
5.2 Redukce statického momentu na hřídel motoru .....	14
5.3 Redukce momentů setrvačnosti na hřídel motoru .....	14
<b>6 Pohony výrobních strojů - elektrické pohony.....</b>	<b>18</b>
6.1 Elektromotory na stejnosměrný proud .....	18
6.2 Elektromotory na střídavý proud.....	19
6.2.1 Asynchronní elektromotory .....	19
6.2.2 Synchronní elektromotory .....	21

## Úvod

Následující studijní text byl realizován s podporou projektu s názvem „Technika pro budoucnost“ registrační číslo projektu CZ.02.2.69/0.0/0.0/16\_015/0002338.

Text se zabývá vybranými kapitolami problematiky konstrukce výrobních strojů – definicí, strukturou, rozdělením včetně požadavků kladených na výrobní stroje a vybranými poznatky o pohonech výrobních strojů. Účelem textu je plnit úlohu studijní podpory pro studenty bakalářského studia.

## 1 Definice výrobního stroje

Pokud se týká definice výrobního stroje, pak lze v různých zdrojích najít různé definice.

Problematika výrobních strojů je nejčastěji interpretována na příkladu obráběcích strojů, které jsou považovány za nejrozšířenější typ "výrobního stroje".

Obráběcí stroj je výrobní stroj, který dává vstupnímu materiálu (obrobek, polotovár) požadovaný finální geometrický tvar, k čemuž využívá různé technologie obrábění (nejčastěji rezný nástroj).

Níže jsou uvedeny (ocitovány) některé příklady definic "výrobního stroje" z vybraných zdrojů.

Výrobní stroj je uměle vytvořená dynamická soustava, sloužící k realizaci úkonů technologického procesu-vedoucího k trvalému přetvoření výchozího materiálu [1].

Výrobní stroj je zařízení pro určitý technologický proces, kde na základě přívodu energie a využití dalších fyzikálních, chemických či jiných principů je uvedena činná dvojice nástroj – obrobek do relativních, řízených pohybů tak, že na konci výrobního cyklu obdržíme geometricky definovaný tvar hotového obrobku [2].

Stroj - je systém mechanismů, které ulehčují a nahrazují fyzickou práci člověka.

Stroj – je obecně mechanické zařízení, které má za cíl usnadnění, zrychlení a zpřesnění lidské práce.

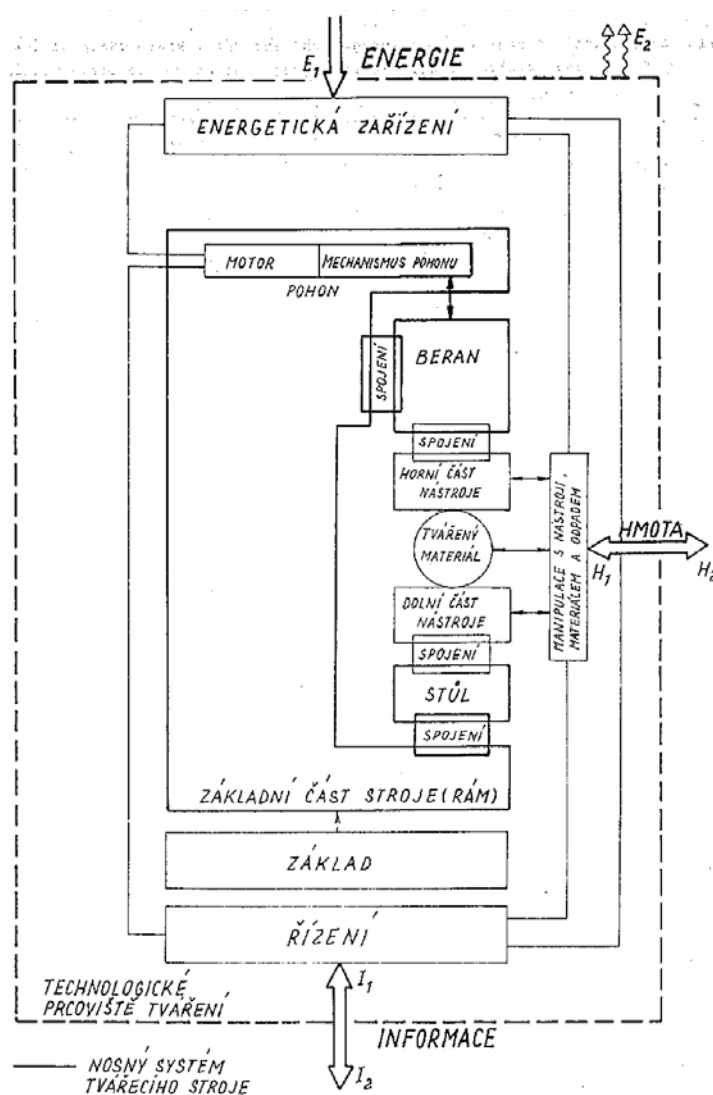
## 2 Struktura výrobního stroje

Ze systémového hlediska je možné si výrobní stroj znázornit schématem na Obr. 2.1. Na straně vstupu i výstupu z výrobního stroje jsou dle názvu stejné položky, ale jejich forma je odlišná. Stejně schéma lze použít i pro systémový pohled na výrobní závod i výrobní systém.



Obr. 2.1 Systémový pohled na strukturu výrobního stroje

Na Obr. 2.2 je demonstrováno podrobnější schéma obecné vnitřní struktury výrobního stroje na příkladu tvářecího stroje



Obr. 2.2 Schéma obecné vnitřní struktury demonstrované na příkladu tvářecího stroje [3]

### 3 Rozdělení výrobních strojů

Vyjdeme-li z obecné definice výrobního stroje, pak lze výrobní stroje třídit podle různých hledisek.

V různých pramenech jsou uvedena různá kritéria pro rozdělení výrobních strojů. Níže jsou uvedena nejčastěji používaná hlediska uplatňovaná při rozdělení výrobních strojů.

#### 3.1 Technologický proces, pro který jsou určeny

Podle technologického procesu můžeme výrobní stroje rozdělit na:

1. stroje tvářecí,
2. obráběcí,
3. slévací,
4. svařovací,
5. montážní,
6. zemědělské,
7. potravinářské,
8. textilní,
9. energetické,
10. stavební,
11. sklářské,
12. kancelářské a pod.

#### 3.2 Technologické možnosti výrobního stroje

**Universální** - umožňující uplatnění více technologií na stroji,

**Speciální** - pouze pro speciální technologii

**Jednouúčelové** - stroje určené účelově pro jeden konkrétní výrobek (výrobní operaci)

#### 3.3 Způsob realizace procesu řezání – u obráběcích strojů pro třískové obrábění

##### 1. obrábění nástroji s geometrií určitou:

*s hlavním řezným pohybem přímočarým:*  
např. hoblovky

*s hlavním pohybem rotačním:*  
např. soustruhy, frézky, vrtačky

## 2. obráběním nástroji s geometrií neurčitou: např. brusky

### 3.4 Druh zpracovávaného materiálu

1. stroje na kov
2. stroje na dřevo
3. stroje na sklo a keramiku
4. stroje pro výrobu a zpracování polymerů
5. stroje pro výrobu a zpracování potravin
6. energetické stroje (pro přeměnu energie)

### 3.5 Mechanismus užitý pro přenos energie

1. Elektrický
2. Mechanický
3. Hydraulický
4. Pneumatický

### 3.6 Charakter působení výstupního členu (nástroje) na výrobek (polotovar)

- |                       |                                       |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 1. Bodové             | = soustružení, obrážení, hoblování    |
| 2. Přímkové, křivkové | = broušení, válcování, ohýbání        |
| 3. Povrchové          | = kování, tažení                      |
| 4. Objemové           | = chemické obrábění, tváření výbuchem |

### 3.7 Šíře možného využití

podle šíře možného využití na stroje:

- **konvenční (universální)** s velkou šíří operací ovládaných obsluhou,
- **speciální** určené pro omezený typ výrobků (např. stroje na ozubení),
- **jednoúčelové** určené pouze na specifický jeden výrobek.

### 3.8 Způsob řízení

- Stroje řízené ručně
- Programově řízené stroje: částečně programově řízené  
plně programově řízené

### 3.9 Stupeň automatizace (pružnosti)

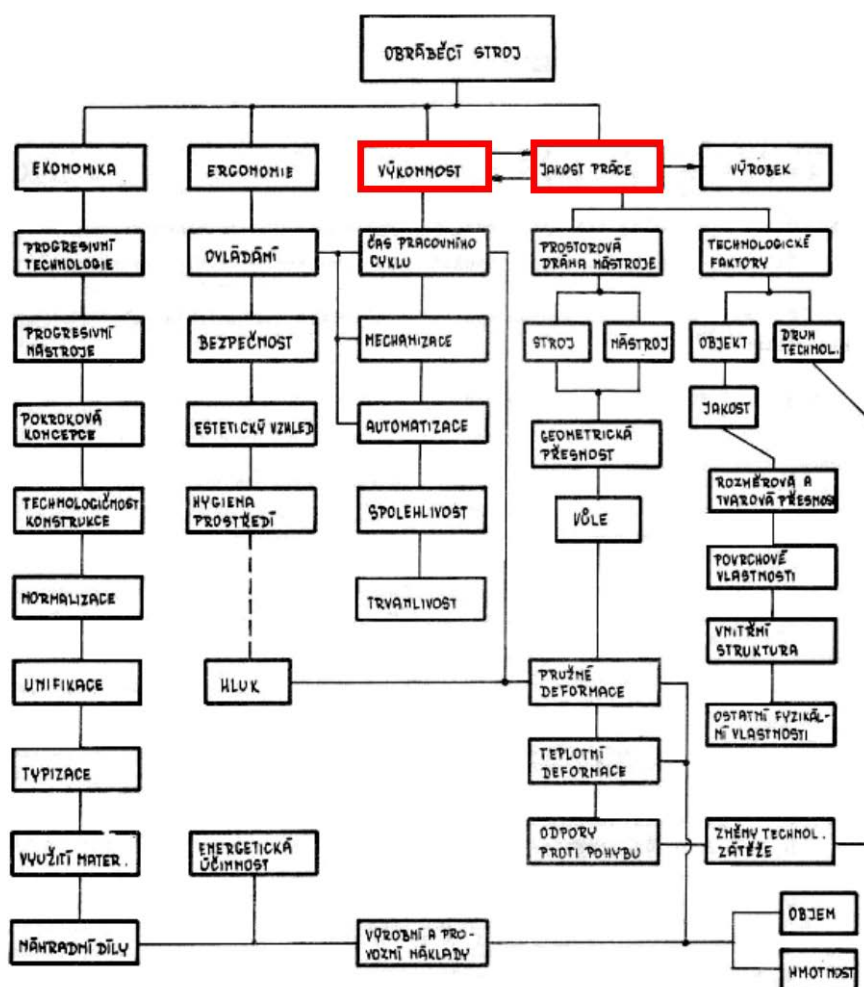
Stupeň pružnosti označuje snadnost přizpůsobení stroje novému výrobku současně s možností zvýšení jeho produktivity (tj. zkrácení potřebného času na vyrobení jednoho kusu).

Pružnost stroje charakterizuje jeho možnost adaptace na nový výrobek (výrobní program).

**Pružný stroj** – novému výrobnímu programu ho lze přizpůsobit snadno a rychle,

**Tvrký stroj** – novému výrobnímu programu ho lze přizpůsobit obtížně, pomalu, vyžaduje větší (nákladnější) úpravy.

## 4 Požadavky na výrobní stroje



Obr. 4.1 Základní požadavky na výrobní stroj na příkladu obráběcího stroje [4]

Z technicko-ekonomického hlediska se soustřeďují požadavky na výrobní stroje především na

1. **výkonnost**
2. **pracovní přesnost (jakost práce)**

Dalšími požadavky jsou:

3. malá půdorysná plocha,
4. snadná obsluha a ovládání,
5. přístupnost pracovního prostoru,
6. spolehlivost,
7. trvanlivost,
8. bezpečnost práce,
9. nízká hmotnost,
10. ergonomie - estetika - design,
11. přívětivost k životnímu prostředí,
12. vysoká účinnost,
13. nízká hluchnost,
14. nízké výrobní a provozní náklady,
15. odolnost proti povětrnostním vlivům,
16. snadná údržba.

## 4.1 Výkonnost

Produktivita práce může být hodnocena různými kritérii

a) **dle objemu vyrobeného zboží (odebrané třísky)**

$[m^3 \cdot h^{-1}]$

$[m^3 kWh^{-1}]$  (kW příkon stroje)

b) **dle hmotnosti vyrobeného zboží (odebrané třísky)**

$[kg \cdot h^{-1}]$

$[kg kWh^{-1}]$  (kW příkon stroje)

c) **podle velikosti obrobené plochy** - (u dokončovacích operací)  $[m^2 kWh^{-1}]$

d) **podle počtu kusů** (součástí vyrobených) za časovou jednotku  $[ks \cdot min^{-1}]$  nebo  $[ks \cdot h^{-1}]$

**Základní výpočty strojního času** (na příkladě obráběcího stroje)

Celkový čas výroby  $t_c$  součástí se dělí na čas strojní  $t_s$  a čas vedlejší  $t_v$  :



$$t_c = t_s + t_v..$$

Strojní čas se počítá jako interval, ve kterém se odebírá tříska. Všechny ostatní úkony patří do časů vedlejších.

Výpočet strojního času pro:

soustružení;

$$t_{s-s} = \frac{L}{n \cdot s}$$

L - délka [m]

n - otáčky, [s<sup>-1</sup>]

s - posuv na otáčku [m]

frézování

$$t_{s-f} = \frac{A}{b \cdot n \cdot s_z \cdot Z}$$

A - plocha, [m<sup>2</sup>]

b - šířka záběru [m]

s<sub>z</sub> - posuv na zub [m]

Z - počet zubů frézy [1]

**Zvyšování produktivity lze docílit například:**

a) Zvyšováním rezné rychlosti **v**, tedy otáček **n**. To se projeví ve zvýšení příkonu stroje a dále výkonnějším hnacím ústrojím a potažmo nutným zvýšením tuhosti stroje.

b) Při zvyšování posuvu se zvětšuje rezná síla dle vztahu  $F = o \cdot p \cdot h$

o - měrný rezný odpor [MPa]

p - posuv ; [m]

h - hloubka třísky , [m]

To se projeví v nutnosti zvýšení tuhosti posuvového mechanismu a celého pracovního prostoru stroje

Nejvýhodnější způsob zvyšování produktivity je zkracováním tzv. vedlejších časů. Vedlejší časy v nejpodstatnější míře zahrnují časy nutné k vykonání následujících operací:

- ustavení obrobku,
- upnutí obrobku,
- nastavení rezných podmínek (otáček, posuvu),

- seřízení koncových poloh pohybů,
- kontrolu rozměrů,
- výměnu nástrojů,
- přepnutí obrobku.

Zkracování těchto časů znamená:

- navržení přípravku tak, aby obrobek bylo možné rychle a jednoznačně ustavit do polohy k obrábění;
- upínací přípravek by měl umožňovat rychlé a spolehlivé upnutí;
- nastavení řezných podmínek, omezení koncových pohybů řešit automaticky např. úpravou řídicího programu;
- kontrolu rozměrů urychlovat sledovací měřidly, speciálními přípravky či vícerozměrovými přípravky;
- provádět co nejvyšší počet obráběcích operací na jedno upnutí obrobku.

## 4.2 Pracovní přesnost (jakost práce)

Na přesnost práce stroje mají rozhodující vliv:

- přesnost chodu jednotlivých částí a skupin stroje,
- tuhost konstrukce stroje,
- dynamika pracovního procesu stroje,
- změny teploty hlavních funkčních uzlů stroje.

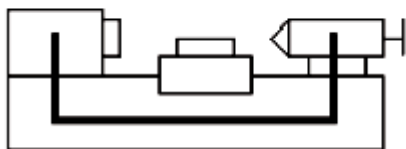
Zvyšování přesnosti lze docílit:

- Náhradou vedení kluzných uložení s vůlí vedeními a uloženými pracujícími bez vůle a bez trhavých pohybů (valivá, hydrostatická uložení).
- Zlepšením kvality důležitých funkčních ploch, zlepšením konstrukce a materiálu.
- Klidností chodu vyvažováním rotačních součástí, odstraňováním a zamezováním chvění z okolí.
- Udržováním konstantní teploty odstraňováním či instalováním zdrojů tepla, vhodným rozmísťováním zdrojů či jejich odstraňováním (třísky) a chlazením.
- Teplotní stabilizaci lze zlepšit obíhajícím olejem s vymezením ovlivnění deformací na kvalitu obráběné plochy.

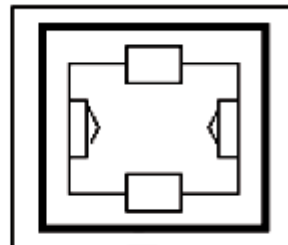
Zvyšováním přesnosti u obráběcích strojů klade zvýšený požadavek především na statickou tuhost a dynamickou stabilitu.

## Statická tuhost rámu

Možnosti koncepčního řešení rámu výrobních (obráběcích) strojů:



Otevřená konstrukce



Uzavřená konstrukce

Obr. 4.2 Koncepční řešení rámu výrobních (obráběcích) strojů

Uzavřená konstrukce (skříňová konstrukce) rámu, také někdy označovaná písmenem "O" je mnohem tužší než otevřená konstrukce rámu, označovaná písmenem "U".

## Dynamická stabilita

Z hlediska dynamiky pro urychlování hmot částí obráběcích strojů je vhodnější (z hlediska nároků na pohybovou energii) menší hmotnost uzlů. Snaha je převést zrychlující pohyby co nejbližší k obrobku.

Definice přesnosti práce obráběcího stroje:

Přesnost práce obráběcího stroje je dána:

1. přesností rozměrů obrobků,
2. přesností tvarů obrobků
3. přesností vzájemné polohy ploch zhotovených na obrobkách obrobených na daném obráběcím stroji.

**Přesnost rozměru** plyne porovnáním (odchylkami) skutečných a požadovaných rozměrů.

**Přesnost tvaru** dána odchylkami tvarů jednotlivých částí obrobků od tvarů jmenovitých (např. kruhovitosti, rovinnosti, válcovitosti a pod).

**Přesnost vzájemné polohy ploch** - je určena vzájemnými odchylkami polohy dvou (nebo více) ploch od jmenovité (např. souosost, rovnoběžnost, kolmost)

O přesnosti práce obráběcího stroje rozhoduje - souvisí s konstrukcí stroje:

- možnost přesného nastavení nástroje vzhledem k obrobku,
- vůle v mechanismu určujícím relativní polohu mezi nástrojem a obrobkem,
- relativní deformace a tepelné dilatace částí nacházejících se mezi nástrojem a obrobkem,
- geometrická přesnost obráběcího stroje.

Kromě toho závisí přesnost práce na vlivech - mimo dosah konstrukce stroje:

- přesnosti tvaru nástroje,
- na opotřebení nástroje,
- na způsobu upnutí obrobku.

V poslední době se požadavky na přesnost obráběcích strojů stále zvyšují. Jako příklad z oblasti obráběcích strojů lze uvést, že standardní CNC stroje dokážou v dnešní době běžně pracovat s přesností 0,001 mm (tolerance pod jeden mikrometr) [1].

Na geometrické přesnosti výrobního (obráběcího) stroje závisí přesnost tvaru relativní dráhy mezi nástrojem a obrobkem, a tím přesnost tvaru a relativní polohy ploch obrobku.

1. k soustružení přesných rotačních ploch je nutné, aby se vřeteno otáčelo kolem stálé osy,
2. k soustružení válcových ploch musí se hrot nože pohybovat po přímce rovnoběžné s osou otáčení obrobku,
3. k hoblování rovinných ploch je třeba, aby se stůl s obrobkem pohyboval přímočaře.

**Geometrické zkoušky přesnosti** ověřují přesnost montáže stroje (jsou to hlavně měření rovnoběžnosti, kolmosti atd.).

**Pracovní zkoušky přesnosti** ověřují správnost funkce, chování stroje při zatížení (např. vůle, spolehlivost, účinnost,).

Přejímací zkoušky geometrické a pracovní přesnosti jsou předepsány ČSN. Jako příklad lze uvést normu:

ČSN ISO 230-1(200300)

Zásady zkoušek obráběcích strojů - Část 1: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za kvazistatických podmínek

## 5 Pohony výrobních strojů

Pro realizaci pohybů jednotlivých uzlů výrobních strojů se využívají různé typy pohonů. Jednotlivé typy pohonů mohou být založeny na různých typech energie a také na přeměně jednoho typu energie v jiný.

Pohon můžeme tedy definovat jako zařízení pro přeměnu energie, které je určeno k pohonu strojů, zařízení a mechanismů a tyto poháněné stroje uvádí do požadovaného pohybového stavu předem stanoveným způsobem.

Typy motorů (pohonů) dle využití energie můžeme rozdělit na:

Elektrické  
Hydraulické  
Pneumatické  
Spalovací

Pohony jsou určeny převážně k přenosu silových účinků, mohou být určeny rovněž pro převážné plnění kinematických požadavků na různé mechanismy.

## 5.1 Dimenzování pohonů

Při dimenzování pohonů se vychází ze základní pohybové rovnice ve tvaru

$$M_M - M_Z = J \cdot \varepsilon$$

Úpravou výrazu získáme

$$M_M = M_Z + J \cdot \varepsilon$$

Nebo také

$$M_M = M_Z + J \cdot \frac{\omega}{t}$$

Moment nutný pro překonání odporu zátěže  $M_Z$  proti pohybu označujeme jako statický zátěžový moment  $M_s$ . Tento moment působí na hřídel motoru po celou dobu pohybu poháněného mechanismu.

Součin momentu setrvačnosti  $J$  a úhlového zrychlení  $\varepsilon$  označujeme jako dynamický moment. Tento dynamický moment  $M_d$  působí na hřídel motoru v čase rozběhu, nebo brzdění poháněného mechanismu (pohonu).

Můžeme tedy psát

$$M_M = M_s + M_d$$

Pro výpočet dynamického momentu na hřídeli motoru je nutné vztáhnout (redukovat) momenty setrvačnosti všech pohybujících se hmot na hřídel motoru.

Mluvíme tedy o momentu setrvačnosti, který je redukovaný (vztažený) na hřídel motoru. Tento moment označujeme  $J_{RED}$ .

Dynamický moment na hřídeli motoru je tedy dán vztahem:

$$M_d = J_{RED} \cdot \varepsilon_M$$

$\varepsilon_M$  úhlové zrychlení hřídele motoru

úhlové zrychlení hřídele motoru je dáno vztahem:  $\varepsilon_M = \frac{d\omega_M}{dt}$

## 5.2 Redukce statického momentu na hřídel motoru

Pro redukci rotačního pohybu se vychází z následující rovnice vyjadřující rovnováhu statických momentů

$$M_M \cdot \omega_M = M_Z \cdot \omega_Z = M_{M-RED} \cdot \omega_M$$

Po úpravě

$$M_{M-RED} = M_Z \cdot \frac{\omega_Z}{\omega_M} = M_Z \cdot \frac{1}{i_p}$$

$i_p$  ... převodový poměr mezi motorem a zátěží (poháněným mechanismem)

Pro redukci přímočarého pohybu na hřídel motoru platí obdobný výraz

$$M_{M-RED} = F_Z \cdot \frac{v_Z}{\omega_M}$$

## 5.3 Redukce momentů setrvačnosti na hřídel motoru

Pro redukci rotačního pohybu se vychází z následující rovnice vyjadřující rovnováhu kinetických energií

$$\frac{1}{2} J_M \cdot \omega_M^2 + \frac{1}{2} J_Z \cdot \omega_Z^2 = \frac{1}{2} J_{M-RED} \cdot \omega_M^2$$

Po úpravě

$$J_{M-RED} = J_M + J_Z \cdot \left( \frac{1}{i_p} \right)^2$$

Pro redukci přímočarého pohybu na hřídel motoru platí obdobný výraz

$$J_{M-RED} = J_M + m_Z \cdot \left( \frac{v_Z}{\omega_M} \right)^2$$

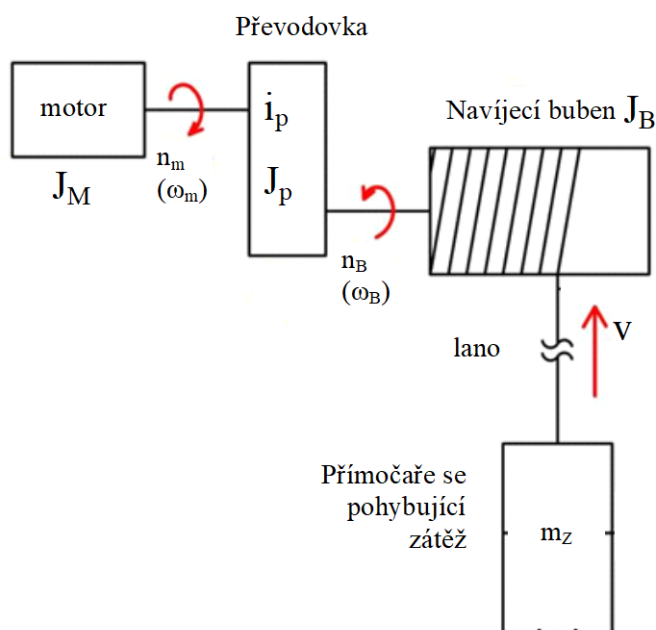
## 5.4 Celkový moment na motoru

Pro celkový moment na motoru můžeme tedy psát výraz:

$$M_{Mcelk} = (M_{Mstat} + M_{Mdyn}) \frac{1}{\eta_p}$$

kde  $M_{Mstat}$  je statický zátěžný moment na motoru,  $M_{Mdyn}$  je dynamický zátěžný moment na motoru a  $\eta_p$  je účinnost převodovky.

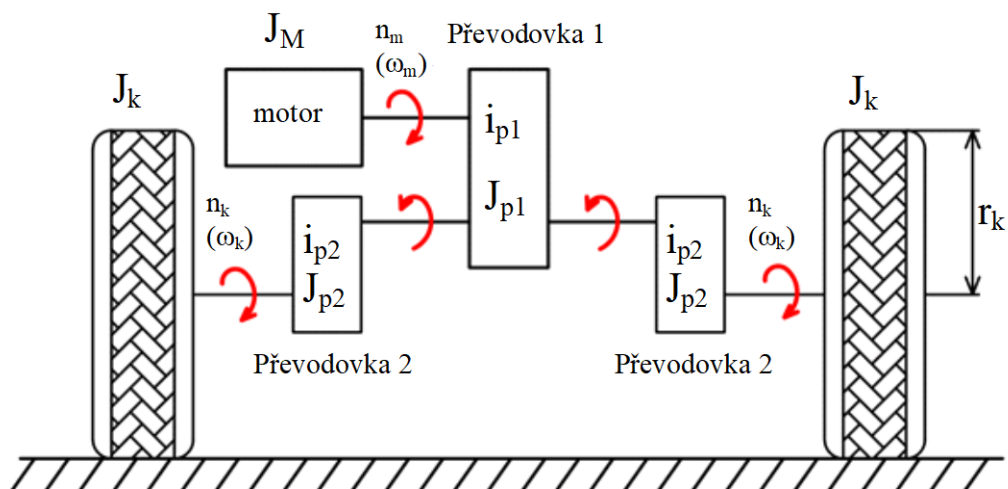
příklady určení  $J_{RED}$



$$J_{RED} = J_M + J_p + J_B \cdot \frac{1}{i_p^2} + m_Z \cdot \left( \frac{r_B}{i_p} \right)^2$$

Obr. 5.1 Příklad schématu pro stanovení  $J_{RED}$  pro rotační a přímočaře se pohybující zátěž

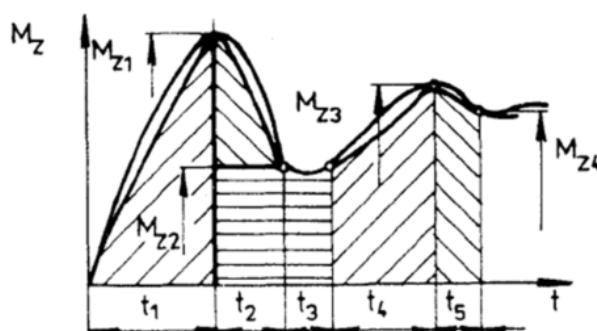
Účelem této učební podpory není jít do úplných detailů. S detaily se posluchači seznámí v rámci studia dalších odborných předmětů, jež jsou zařazeny ve studijním plánu především navazujícího studia. Pokud se týká podkladů, pak lze v této souvislosti vzpomenout například literární odkaz [7], který je doplněn i vhodnými příklady.



$$J_{RED} = J_M + J_{p1} + 2 \cdot J_{p2} \cdot \frac{1}{i_{p1}^2} + 2 \cdot J_k \cdot \frac{1}{i_{p1}^2 \cdot i_{p2}^2} + m \cdot r_k^2 \cdot \left( \frac{1}{i_{p1} \cdot i_{p2}} \right)^2$$

Obr. 5.2 Příklad schématu pro stanovení  $J_{RED}$  pro pojezd

Velmi často dochází k obecné změně zatěžovacího momentu v čase.



Obr. 5.3 Ilustrační změna zatěžovacího momentu v čase [6]

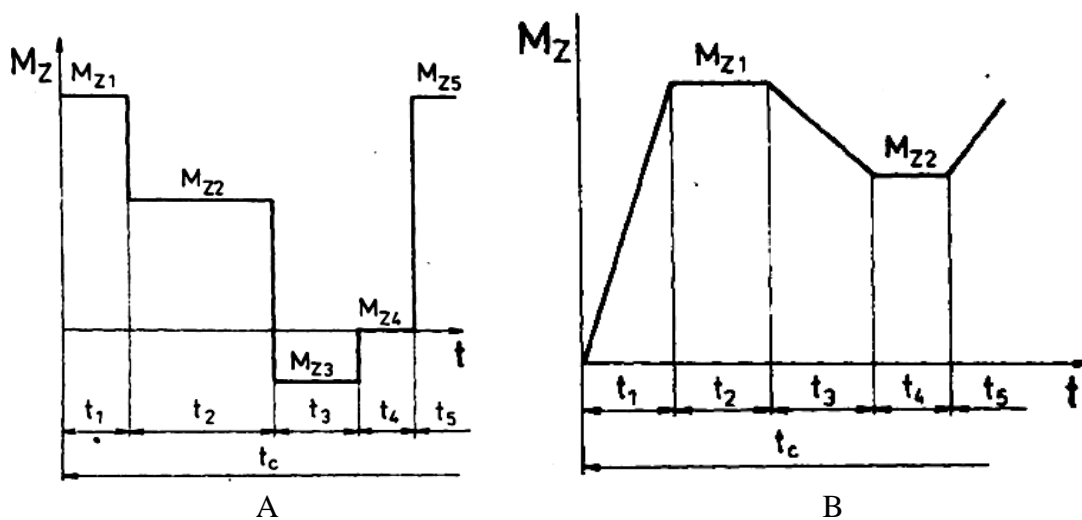
Pro výpočtové účely se poměrně složitý průběh momentu v čase Obr. 5.3 prokládá jednoduchými tvary, jako trojúhelníky, obdélníky nebo lichoběžníky, pro které platí specifické matematické výrazy.

V tomto případě se ve výpočtu použije tzv. ekvivalentní moment  $M_{Z-e}$  daný následujícím výrazem



$$M_{Z-e} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_n} M_i^2 dt}{\sum_{i=1}^n t_i}}$$

Příklad určení ekvivalentního momentu je na následujících obrázcích



Obr. 5.4 Ilustrační příklady změny zatěžovacího momentu v čase [6]

Pro případ "A" na Obr. 5.4 platí pro výpočet ekvivalentního momentu  $M_{Z-e}$  výraz

$$M_{Z-e} = \sqrt{\frac{M_{Z1}^2 \cdot t_1 + M_{Z2}^2 \cdot t_2 - M_{Z3}^2 \cdot t_3 + M_{Z5}^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}}$$

specifický matematický výraz pro "obdelníkový" průběh dílčího momentu.

Pro případ "B" na Obr. 5.4 platí pro výpočet ekvivalentního momentu  $M_{Z-e}$  výraz

$$M_{Z-e} = \sqrt{\frac{\frac{1}{3} M_{Z1}^2 \cdot t_1 + M_{Z2}^2 \cdot t_2 + \frac{1}{3} (M_{Z1}^2 + M_{Z1} \cdot M_{Z2} + M_{Z2}^2) t_3 + M_{Z2}^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}$$

specifický matematický výraz pro "trojúhelníkový" průběh dílčího momentu.

specifický matematický výraz pro "lichoběžníkový" průběh dílčího momentu.

## 6 Pohony výrobních strojů - elektrické pohony

Elektrické pohony představují nejrozšířenější typ pohonu vůbec. Tento typ pohonu (motoru) využívá elektrickou energii a je realizován elektromotory, které jsou vyráběny v široké škále výkonů.

Dle vlastností napájecího proudu existují dvě skupiny elektromotorů

stejnosemné	
střídavé	asynchronní
	synchronní

výhody elektromotorů [8]:

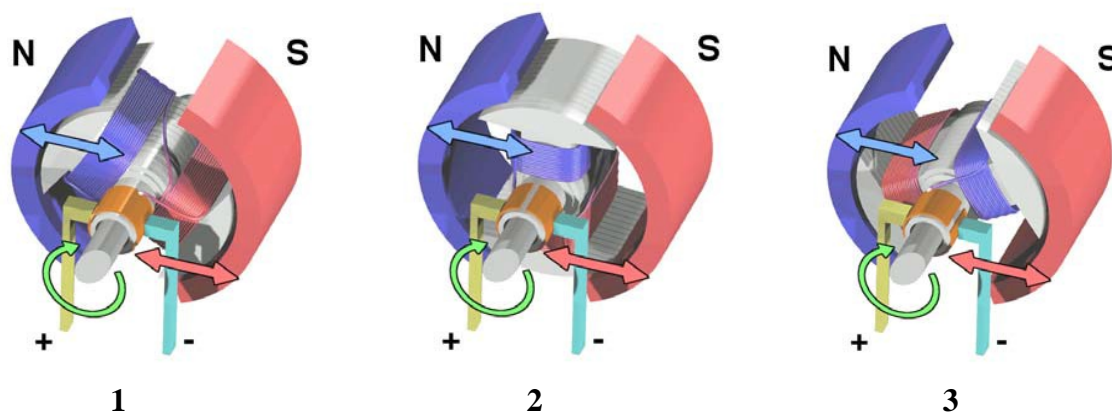
- široká škála výkonů, otáček a momentů,
- při provozu neprodukuje škodlivé zplodiny a relativně nízkou úroveň hluku,
- vysoká účinnost,
- vysoká krátkodobá přetížitelnost,
- dlouhá životnost,
- snadná řiditelnost,
- nízké náklady na údržbu

nevýhody elektromotorů:

- nízká hodnota ukazatele výkon/hmotnost s ostatními typy pohonů,
- nutnost účinného chlazení,

### 6.1 Elektromotory na stejnosměrný proud

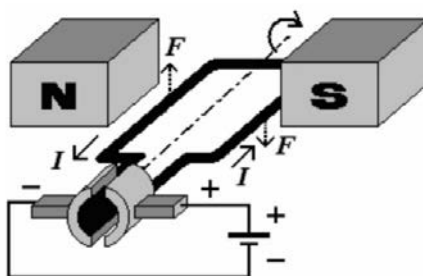
Tento typ elektromotoru je napájen stejnosměrným proudem. Výhodou je velmi dobrá možnost jejich regulace, nevýhodou je složitější konstrukce.



Obr. 6.1 Princip činnosti stejnosměrného elektromotoru [10]

1. Rotor (kotva) je přes oranžový komutátor připojen ke zdroji stejnosměrného napětí. Stator je tvořen dvěma velkými permanentními magnety.

2. Vzhledem k polaritě statoru a rotoru se souhlasné póly (barvy) odpuzují a rotor se otáčí.
3. Opačné póly se přitahují, rotor se stále otáčí. V okamžiku, kdy se rotor dostane do vodorovné polohy, dojde na komutátoru k přepnutí polaritě magnetického pole rotoru.



Obr. 6.2 Princip komutátoru [10]

## 6.2 Elektromotory na střídavý proud

Elektromotory napájené střídavým proudem lze rozdělit dle míry synchronizace otáčení rotoru na:

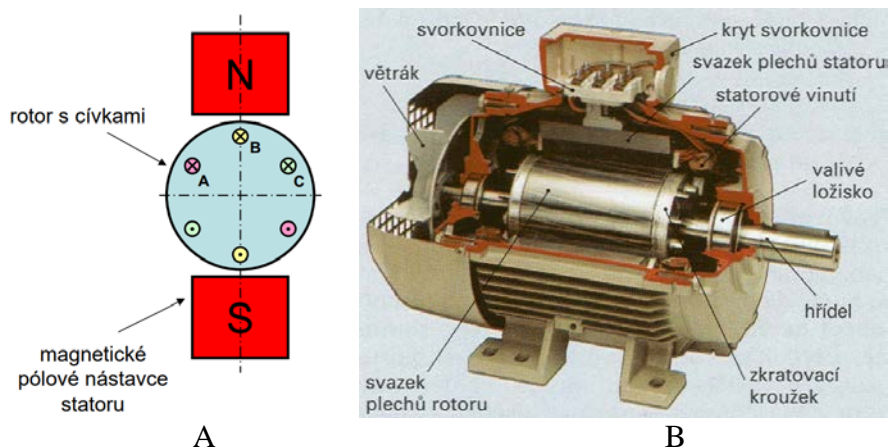
- asynchronní - rotor se za rotací magnetického pole, které je indukováno průchodem napájecího proudu na cívkách statoru zpožďuje (má tzv. skluz),
- synchronní - rotor se otáčí současně (synchronně) s rotací magnetického pole indukovaného na cívkách statoru,

a dle druhu napájecího proudu na:

- jednofázové - motory napájeny střídavým jednofázovým napětím „ze zásuvky“,
- trojfázové - motory napájeny střídavým trojfázovým napětím.

### 6.2.1 Asynchronní elektromotory

Asynchronní stroje se hojně rozšířily po celém světě díky své konstrukční jednoduchosti a díky tomu, že jsou prakticky bezúdržbové [9]. Jsou konstrukčně méně složité než stejnosměrné elektromotory a rovněž daleko levnější. Jsou rovněž provozně spolehlivé a prakticky bezúdržbové. Používají se jako neregulační i jako regulační pohony.



Obr. 6.3 Princip (A) a řez (B) asynchronního elektromotoru [11],

### Stanovení otáček asynchronního elektromotoru

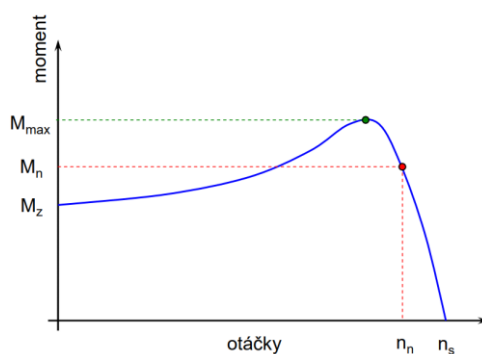
$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s)$$

$n_s$	synchronní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
$f$	frekvence napájecího napětí	$[\text{Hz}]$
$p$	počet pólových párů (pólových dvojic)	$[1]$
$s$	skluz	$[\%]$

skluz je mírou rozdílu otáček synchronních a skutečných mechanických otáček rotoru. Jinými slovy je to rozdíl otáček na statoru a na rotoru.

Možnost regulace vyplývají z výše uvedené rovnice a je realizovatelná:

- změnou frekvence napájecího proudu
- změnou počtu pólových párů (pólových dvojic)
- změnou skluzu



Obr. 6.4 Momentová charakteristika asynchronního elektromotoru [11]

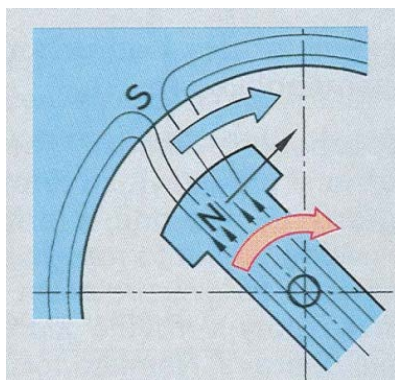
$M_z$  = rozběhový (záběrný) moment  
 $M_n$  = jmenovitý (nominální) moment  
 $n_n$  = jmenovité otáčky  
 $n_s$  = synchronní otáčky

### 6.2.2 Synchronní elektromotory

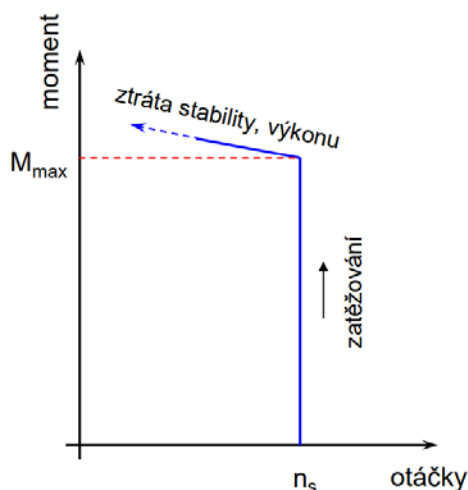
Rotor u synchronních elektromotorů se otáčí synchronně s magnetickým polem indukovaným ve statoru, nedochází tedy ke skluzu jako u asynchronních elektromotorů. Póly rotoru jsou přitahovány protipóly statoru. Po rozběhu je kotva vtažena do synchronních otáček a běží synchronně. Princip synchronního elektromotoru je patrný z Obr. 6.5.

Využívají se například jako alternátory, či motory pro pohony relativně velkých průmyslových zařízení, která nevyžadují časté spouštění a pracují s konstantními otáčkami a s málo proměnným zatížením (čerpadla, ventilátory a kompresory).

Momentová charakteristika synchronního elektromotoru je znázorněna na Obr. 6.6.



Obr. 6.5 Princip synchronního elektromotoru [11],



Obr. 6.6 Momentová charakteristika synchronního elektromotoru [11]

## Seznam použité literatury

- [1] *Výrobní stroje* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
[http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/obrabeci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/obrabeci.pdf)
- [2] *Základní definice a třídění obráběcích strojů* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
<https://media1.vesele.info/files/media1:50f87182d363c.pdf.upl/VSZ%20-%20obrabeci%20stroje%201.pdf>
- [3] HOUŠA, J. *Stavba výrobních strojů II*, ČVUT Praha, 1990. 301 s.
- [4] PROKOP, M. *Výrobní stroje I*, VUT Brno, 1984. 166 s.
- [5] *Přesnost CNC stroje? Dnes dokáže pracovat i na nanometry* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/presnost-cnc-stroje-dnes-dokaze-pracovat-i-na-nanometry/>
- [6] KOPÁČEK, J.: *Pohony a převody*. Skripta. VŠB-TU Ostrava, 1992. 168 s. ISBN 80-7078-137-8.
- [7] HRUŽÍK L. FOJTÁŠEK K, BUREČEK A. *Pohony a převody - Řešené příklady do cvičení*
- [8] VAVŘIŇÁK P. *Elektrické stroje – pohony*. [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
[http://www.sse-najizdarne.cz/projekty/roboti/dokumenty/v\\_prez\\_esp\\_11.pdf](http://www.sse-najizdarne.cz/projekty/roboti/dokumenty/v_prez_esp_11.pdf)
- [9] *Asynchronní stroje - konstrukce, princip funkce a řízení* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/asynchronni-stroje-konstrukce-princip-funkce-a-rizeni>
- [10] *Přehled typů elektrických motorů* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
<https://www.spslan.cz/files/1cc2eb91316dd52bf50dd77e977caa60.pdf>
- [11] *Střídavé elektromotory* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
[http://skola.hellebrand.cz/text0910/ele/motory\\_str.pdf](http://skola.hellebrand.cz/text0910/ele/motory_str.pdf)
- [12] *Asynchronní motor - Elearning TUL* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
<https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=10598>
- [13] *Synchronní stroje* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
[http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab\\_synchronni\\_stroje\\_bc.pdf](http://feil.vsb.cz/kat420/vyuka/hgf/elektrotechnika/sylab_synchronni_stroje_bc.pdf)
- [14] *Elektrické stroje* [online]. [cit. 2019-07-29]. Dostupné z:  
<http://www.elektro.utb.cz/prednasky/prednaska12.pdf>