Předmět: Technologické projekty a manipulace – 3. ročník, bakalářský
Technologické projekty – 4. ročník, magisterský

3] KAPACITNÍ PROPOČET KOVÁRNY

Kapacitním propočtem kovárny zjistíme v závislosti na zadaném výrobním programu kapacitní potřebu jednotlivých strojů a zařízení, výrobních ploch a obsazení směn pracovníky. Pro vypracování základního návrhu kovárny jsou nutné následující podklady:

- **roční výrobní plán,**
- **údaje o způsobu práce (volné nebo částečně zápustkové kování a eventuelně členění výkovků do kategorií),**
- **údaje o počtu hodin, využitelných u strojů a zaměstnanců,**
- **údaje o druzích paliva pro pece,**
- **údaje o zdrojích pohonné energie pro stroje,**

Výrobní program je nutno přesně specifikovat na roční výrobu volně kovaných výkovků podle hmotnostních tříd. Obsahuje-li výrobní program i výkovky zápustkové, je nutno postupovat podle přesného výrobního programu těchto výkovků.

Vzhledem k tomu, že způsoby kapacitních propočtů pro jednotlivé druhy kováren se v celkovém přístupu odlišují, jsou v daném cvičení uvedeny oba základní postupy:

3.1. Kapacitní propočet kovárny pro volné výkovky pod buchary

Při volném kování určíme velikost bucharů podle hmotnosti a rozměrů výkovků – výkovky pro potřeby projektování rozdělujeme na tyto hmotnostní skupiny výkovků (udávány jsou limitní hodnoty v kg):

Do 2kg, 2 – 4, 4 – 10, 10 – 25, 25 – 50, 50 – 100, 100 – 200, 200 – 500, 500 – 1 000, 1 000 – 2 000, 2 000 – 4 000, 4 000 – 8 000, 8 000 – 16 000, 16 000 – 32 000 [kg]

Počet strojů, potřebných pro splnění ročního plánu (výrobního programu) určíme podle průměrných hodinových výkonů bucharů. Průměrné hodinové výkony jsou však značně odlišné a závislé na složitosti (pracnosti) výkovků. Pro odhadnutí hodinových výkonů se používá rozdělení volně kovaných výkovků pod buchary, členícího tyto výkovky do 9 stupňů složitosti (v I. stupni jsou zahrnuty výkovky členitých tvarů s přesazenými osami, různoběžnými nebo mimoběžnými osami a v IX. stupni jsou zahrnuty nejjednodušší výkovky válcového tvaru.

Volbu a výpočet bucharů provádíme v následujících krocích:

- **podle kusové hmotnosti výkovků a podle jejich rozměrů určíme hmotnost beranu a tím velikost bucharu v tunách (viz. tab. 1),**

- **podle hmotnosti beranu v tunách a stupně složitosti výkovků (předem zatřídíme) určíme hodinový výkon bucharu v kg (viz. tab. 2),**

Hmotnost beranu bucharu v tunách	Hmotnost výkovků průměrná v kg	Největší hmotnost [kg]	Největší hmotnost hlad. hřídelů v kg	Největší průměr předvalku [mm]
0,1	0,5	2	10	50
0,15	1,5	4	15	60
0,2	2,0	6	25	70
0,3	3,0	10	45	85
0,4	6,0	18	60	100
0,5	8,0	25	100	115
0,75	12,0	40	140	135
1,0	20,0	70	250	160
2,0	60,0	180	500	225
3,0	100,0	320	750	275
5,0	200,0	700	1500	350

Tab. 1 Přibližné určení hmotnosti beranů u bucharů pro volné kování podle hmotnosti výkovků

Stupeň složitosti výkovků	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	2	3	5
I.	3,5	4,5	6	9	13	17	26	37	83	115	155
II.	6,0	7,5	9	15	25	38	65	97	160	210	250
III.	7,0	9,0	12	19	30	45	80	115	220	295	380
IV.	9,0	11,0	14	26	40	60	105	145	235	310	410
V.	12,0	15,0	18	32	52	75	133	165	265	350	500
VI.	14,0	19,0	25	42	68	98	155	200	320	430	580
VII.	20,0	25,0	32	50	75	105	170	225	370	500	650
VIII.	28,0	32,0	40	60	90	120	210	300	555	715	920
IX.	85,0	95,0	115	155	200	250	370	465	915	1 200	1 500

Tab. 2 Hodinový výkon bucharu při volném kování [$kg.hod^{-1}$]

Jak již bylo uvedeno samostatné zápustkové kovárny jsou projektovány v závodech s vysloveně hromadnou výrobou a častěji se vyskytují kombinace kovárny pro zápustkové výkovky i výkovky volného kování. Z tohoto důvodu bude způsob výpočtu takové kovárny přiblížen na typovém příkladu kapacitního propočtu tohoto druhu.

Zadání:

Zadání [$t.rok^{-1}$]	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.
Q_v	8 010	8 500	8 300	7 950	7 890	8 210	8 150	7 890	7 900	7 940	8 250	8 350	8 050
Q_z	540	560	540	530	560	530	550	530	550	530	540	530	560
ΣQ	8 550	9 060	8 840	8 480	8 450	8 740	8 700	8 420	8 450	8 470	8 790	8 880	8 610

Q_v – volně kované výkovky;
Q_z – zápustkové výkovky

Rozdělení výkovků podle hmotnosti proveďte samostatně.
Cena volně kovaných výkovků: **40,- Kč.kg^{-1};**
Cena zápustkově kovaných výkovků: **50,- Kč.kg^{-1}**

Pro výpočet investic uvažujte náklady:

- na technologickou část: **12 000,- Kč.m^{-2}**; (minimálně), [viz. Generel];
- na stavební část: **9 000,- Kč.m^{-2}**; (minimálně), [viz. Generel];
- přístavek: **1 000,- Kč. m^{-2}**; (minimálně), [viz. Generel]

Výpočet (pro zadání č. 1)

Dán je výrobní program kovárny, jež má zajistit 8 550 tun výkovků ročně v členění:

Výrobní program (množství výkovků)		**$\sum$ Q = 8 550 tun.rok^{-1}**
Členění výkovků:	**- volně kované**	**Q_v = 8 010 tun.rok^{-1}**
	z toho do 50 kg	1 090 tun.rok^{-1}
	50 – 250 kg	4 010 tun.rok^{-1}
	250 – 750 kg	2 910 tun.rok^{-1}
	- zápustkově kované	**Q_z = 540 tun.rok^{-1}**
	z toho do 2 kg	240 tun.rok^{-1}
	2 – 7 kg	300 tun.rok^{-1}
Počet pracovních dní v roce:		**254**
Směnnost (s = 2,5), to je:		**20 hod.den^{-1}**
Roční fond strojů (h_s) 254 × 20, to je:		**5 080 hod.**

Výpočet strojů a zařízení:

Strojní park je dán velikostí, druhem, složitostí a hmotnostním množstvím požadovaných výkovků. Pro volbu strojů a určení jejich počtu roztřídíme nejdříve výkovky podle výkresové dokumentace do hmotnostních skupin se stanovením příslušné skladby jednotlivých typů výkovků a hmotnosti ve skupinách a ke každé skupině přiřadíme z tabulky 2 průměrné hodinové výkony [v kg.hod^{-1}] bucharů dle stupně složitosti součásti (pro zjednodušení byly všechny výkovky uvažovány v V. skupině složitosti).
Dostaneme např.:

Buchar:	**Hmotnost. množství [t]**	**Beran [t]**	**∅ hodinový výkon [kg.hod^{-1}]**
Volně kované výkovky:			
a) ∅ hmotnost 2,5 kg:	120	0,2	18
b) ∅ hmotnost 5 kg:	320	0,4	52
c) ∅ hmotnost 12 kg:	650	0,75	133
d) ∅ hmotnost 40 kg:	2 320	1,0	165
e) ∅ hmotnost 55 kg:	2 700	2,0	265
f) ∅ hmotnost 100 kg:	1 900	3,0	350
$\sum Q_v$:	**8 010**	**∑∅hod. výkon:**	**983 kg.hod^{-1}**
Lis:	**Hmotnost. množství [t]**	**Síla [kN]**	**∅ hodinový výkon [kg.hod^{-1}]**
Zápustkově kované výkovky:			
g) ∅ hmotnost 1 kg:	140	1 500	23
h) ∅ hmotnost 1,5 kg:	100	1 500 + 1 000	16
i) ∅ hmotnost 3 kg:	300	4 000 + 1 600	50
$\sum Q_z$:	**540**	**∑∅hod. výkon:**	**89 kg.hod^{-1}**

Přiřazení průměrného hodinového výkonu v kg provedeme tak, že k ∅ hmotnosti výkovků přiřadíme z tabulky 1 hmotnosti beranu a pro V. skupinu složitosti z tabulky 2 hodinové výkony (viz. také tabulky na posledních dvou listech tohoto zadání).

Pro zápustkové výkovky se vyšlo z rozčlenění do hmotnostních skupin a pro každou skupinu stanovíme stroj, na němž bude operace vykonána. Z technických pasportů strojů určíme jejich hodinový výkon v kg výkovků a toto zpracujeme do obdobné tabulky jako u výkovků volně kovaných:

	Typ tvářecího stroje [kN] [t]	**∅ hodinový výkon [kg.hod^{-1}]**
Zápustkově kované výkovky:		
g) ∅ hmotnost do 1 kg:	- kovací stroj o síle 1 500 kN	23 kg.hod^{-1}
h) ∅ hmotnost do 1,5 kg:	- třecí lis o síle 1 500 kN a výstředníkový lis o síle 1 000 kN	16 kg.hod^{-1}
i) ∅ hmotnost do 3 kg:	- třecí lis o síle 4 000 kN, předkovací kladivo 0,1 t, výstředníkový lis o síle 1 600	50 kg.hod^{-1}

1) Výpočet počtu bucharů pro volné kování (dle jednotlivých skupin):

$$n_b = \frac{\text{množství výrobků v dané skupině}}{\Phi\,\text{hodinový výkon v dané skupině} \times \text{roční časový fond stroje}} \quad [-]$$

a) $\dfrac{120\,000}{18 \times 5\,080} = 1{,}31 \cong 1\,\text{buchar} \quad [\text{beran } 0{,}2\ \text{t}]$

b) $\dfrac{320\,000}{52 \times 5\,080} = 1{,}21 \cong 1\,\text{buchar} \quad [\text{beran } 0{,}4\ \text{t}]$

c) $\dfrac{650\,000}{133 \times 5\,080} = 0{,}96 \cong 1\,\text{buchar} \quad [\text{beran } 0{,}75\ \text{t}]$

d) $\dfrac{2\,320\,000}{165 \times 5\,080} = 2{,}76 \cong 3\,\text{buchary} \quad [\text{beran } 1\,\text{t}]$

e) $\dfrac{2\,700\,000}{265 \times 5\,080} \cong 2\,\text{buchary} \quad [\text{beran } 2\,\text{t}]$

f) $\dfrac{1\,900\,000}{350 \times 5\,080} = 1{,}06 \cong 1\,\text{buchar} \quad [\text{beran } 3\,\text{t}]$

Buchary 0,2; 0,4; 0,75 t volíme pneumatické, buchary 1; 2; a 3 t volíme parní.

2) Výpočet strojů pro zápustkové kování:

g) pro ∅ hmotnost 1 kg volíme kovací lis o síle 1 500 kN (∅ hod. výkon 23 kg.hod^{-1}):

$$\frac{140\ 000}{23 \times 5\ 080} = 1{,}19 \cong 1\,\text{kovací lis}$$

h) pro ∅ hmotnost 1,5 kg volíme třecí lis o síle 1 500 kN (∅ hod. výkon 16 kg.hod^{-1}) a výstředníkový lis o síle 1 000 kN (∅ hod. výkon 50 kg.hod^{-1}):

$$\frac{100\ 000}{16 \times 5\ 080} = 1{,}23 \cong 1\,\text{třecí lis},\ 1\,\text{výstřed. lis};$$

ch) pro ∅ hmotnost 3 kg volíme třecí lis o síle 4 000 kN (∅ hod. výkon 50 kg.hod^{-1}) a předkovací kladivo 0,1 tuny (∅ hod. výkon 50 kg.hod^{-1}) a výstředníkový lis o síle 1 600 kN (∅ hod. výkon 100 kg.hod^{-1}):

$$\frac{300\ 000}{50 \times 5\ 080} = 1{,}18 \cong 1\,\text{třecí lis},\ 1\,\text{předkovací kladivo},\ 1\,\text{výstřed. lis};$$

Údaje o strojích získáme z výrobních postupů představitelů výkovků příslušné hmotnostní skupiny.

3) Výpočet plochy a počtu pecí:

Provedeme výpočet ložné plochy a počtu pecí – pro stanovení musíme vycházet z maximální výrobnosti všech zařízení, proto součtem všech hodinových výkonů strojů, vynásobených jejich počtem dostáváme hodinové výkony všech strojů pro volné a zápustkové výkovky. Hodinový výkon všech instalovaných strojů vyžadujících ohřev (uvažováno pro V. skupinu složitosti) tedy je:

Volné kování výkovků:
$V_v = 1 \times 18 + 1 \times 52 + 1 \times 133 + 3 \times 165 + 2 \times 265 + 1 \times 350$ = **1 578 kg.hod^{-1}**;

Zápustkové kování výkovků:
$V_z = 1 \times 23 + 1 \times 16 + 1 \times 50 + 1 \times 50 + 1 \times 50 + 1 \times 100$ = **289 kg.hod^{-1}**;

Celkem:
V_c = 1 578 + 89 = **1 867 kg.hod^{-1}**

Současně však pro stanovení ložné plochy ohřívacích pecí musíme uvažovat s tím, že při složitějších tvarech výkovků je zapotřebí vícenásobný ohřev, čímž výkon pecí klesá (vlivem opakované potřeby ložné plochy). Z tohoto důvodu převedeme výše uvedené hodinové výkony pro V. skupinu složitosti na hodinové výkonu, dosažené u výkovků pro nejjednodušší tvar, nevyžadující vícenásobný ohřev – převedeme tedy výkony do IX. skupiny složitosti, kde potom v souladu s tab. 2 dostaneme:

Volné kování výkovků:
$V_v = 1 \times 115 + 1 \times 200 + 1 \times 370 + 3 \times 465 + 2 \times 915 + 1 \times 1\ 200$ = **5 110 kg.hod^{-1}**;

Zápustkové kování výkovků:
$V_z = 2 \times 50 + 3 \times 120 + 1 \times 200 =$ **660 kg.hod^{-1}**;

Celkem:
$V_c = 5\ 110 + 660 =$ **5 770 kg.hod^{-1}**

Uvedené relativní zvětšení hodinového výkonu pro IX. stupeň složitosti odpovídá relativnímu zvětšení ploch pecí pro vícenásobný ohřev u V. stupně složitosti.

Vsádkovou váhu materiálu, ohřátého na požadovanou teplotu za 1 hodinu počítáme s 10 % propalu, potom:

$Q_h = 5\ 770 + 660 =$ **6 430 kg.hod^{-1}**

Výpočet ložné plochy pece (uvažováno jednotně pro volné i zápustkové kování):

$$F_p = \frac{Q_h}{f} = \frac{6\ 430}{200} = 32{,}15\ m^2$$

kde: F_p – ložná plocha pece [m^2];
Q_h – množství ohřátého materiálu [kg.hod^{-1}];
f – specifický výkon pece [kg.m^{-2} ložné plochy.hod^{-1}],
(pro volné kování 200 ÷250);

Z tabulek stanovíme skladbu pecí, odpovídajících rozměrům polotovarů a předkovků a vyhovujících celkové ložné ploše:

- 5 ks plynová pec vozová ($3 \times 1{,}5$ m) = **22,5 m^2**;
- 3 ks elektrická pec vozová (3×1 m) = **9 m^2**;
- 2 ks elektrická pec vozová ($1{,}25 \times 0{,}8$ m) = **2 m^2**

Celková ložná plocha pecí:

F_p = 22,5 + 6 +2 = **33,5 m^2**

Výpočet dílenských ploch:

Celková dílenská plocha:

$$F = \frac{Q}{a \times c} = \frac{8\ 550}{0{,}55 \times 2{,}5} = 6\ 218\ m^2 \cong 6\ 300\ m^2$$

kde: Q – roční výrobní program (Q = 8 010 tun + 540 tun = 8 550 tun);
a – koeficient roční výroby v jedné směně.1m^{-2}, (a = 0,55 t.m^{-2});
c – směnnost kovárny, (c = 2,5)

Rozvržení ploch (dle charakteru a skladby výrobního programu):

Podlahová plocha celkem	=	Plocha výrobní	+	Plochy pomocné	+	Dopravní cesty;
100 %	=	55 %	+	35 %	+	10 %;
6 300 m^2	**=**	**3 465 m^2**	**+**	**2 205 m^2**	**+**	**630 m^2**

Výrobní plochy:	- loď pro volné kování [m^2]	2 121
	- loď pro zápustkové kování [m^2]	1 344
	Celkem [m^2]	**3 465**
Pomocné plochy:	- přípravna materiálu [m^2]	268
	- sklad materiálu [m^2]	1 177
	- expedice [m^2]	432
	- sklad zápustek [m^2]	108
	- sklad provozních hmot [m^2]	54
	- údržba [m^2]	58
	- trafostanice [m^2]	108
	Celkem [m^2]	**2 205**
Vedlejší plochy:	- dopravní cesty [m^2]	**630**

Předběžný investiční rozpočet:

- ***Technologická část*** (cca α = 12 000,- Kč.m^{-2} dílenské plochy, viz. zadání):
  6 300 $\times$ 12 000 = **75 600 000,- Kč**;
- ***Energetická část*** (cca 12 % technologické části):
  75 600 000 $\times$ 0,12 = **9 072 000,- Kč**;
- ***Stavební část*** (včetně ocelové konstrukce):
  – hala s jeřábovou drahou (cca β = 9 000,- Kč.m^{-2} dílenské plochy, viz. zadání):
  6 300 $\times$ 9 000 = **56 700 000,- Kč**;
  – přístavek s trafostanicí (cca 1 000,- Kč.m^{-2} přístavku, viz. zadání):
  6 300 $\times$ 1 000 = **6 300 000,- Kč**;

- **Hala s přístavkem celkem:**
  75 600 000 + 9 072 000 + 56 700 000 + 6 300 000 = **147 672 000,- Kč**;

- Zemní práce, inženýrské přípojky, komunikace, rozvody 10 % z haly s přístavkem celkem:
  147 672 000 $\times$ 0,1 = **14 767 200,- Kč;**

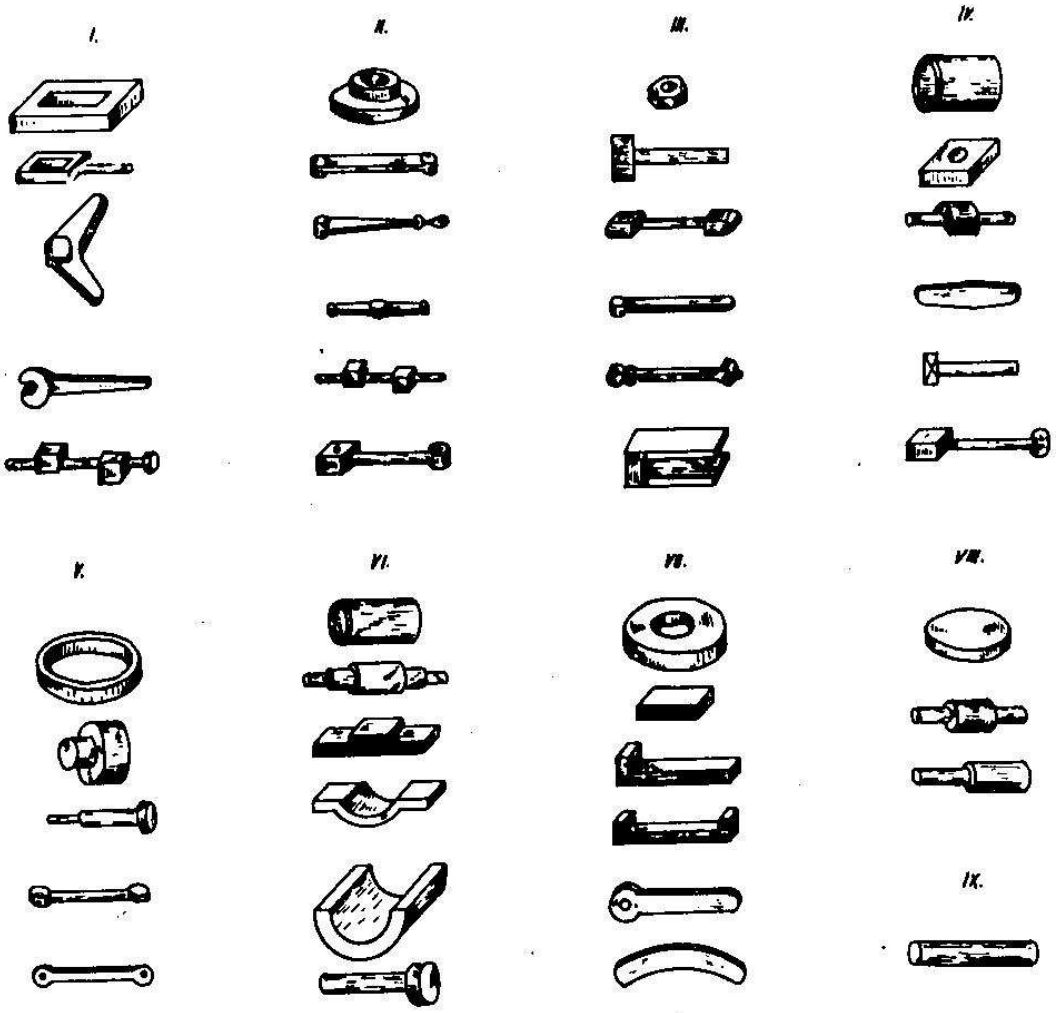
- **Investice celkem:**
  147 672 000 + 14 767 200 = **162 439 200,-Kč**;

Kontrola efektivnosti stavby:

Cena volně kovaných výkovků (viz. zadání)…….....40,-Kč.kg^{-1};
Cena zápustkově kovaných výkovků (viz. zadání)……..50,- Kč.kg^{-1};
Výkovky volně kované: 8 010 000 $\times$ 40 = **320 400 000 Kč.rok^{-1}**;
Výkovky zápustkově kované: 540 000 $\times$ 50 = **27 000 000 Kč.rok^{-1}**;
Hodnota roční výroby celkem: 347 400 000 Kč.rok^{-1};

$$\varepsilon = \frac{I}{VZ} = \frac{162\ 439\ 200}{347\ 400\ 000} = \mathbf{0{,}4676}$$

Pro nově budované objekty je **ε = (0,3 ÷ 0,7)** – efektivnost investice ve vztahu k uvažované produkci vyhovuje.



Obr. 38 Stupně složitosti výkovků