*Zygmunt Wusatowski*

# Pomiary pracy i mocy w walcowni

Pomiary pracy i mocy przy walcowaniu możemy przeprowadzić czterema różnymi sposobami zależnie od tego, czy dysponujemy przyrządami do pomiaru nacisku walców czy momentu obrotowego.

Praktycznie pomiary pracy i mocy przeprowadzono w walcowni blachy grubej bez równoczesnego mierzenia nacisku oraz momentu obrotowego. W pracy tej podaję jeden z przykładów pomiarów. Wyniki pomiarów pozwalają odpowiedzieć konstruktorowi czy ruchowcowi na szereg pytań, w jakich granicach możliwe jest praktyczne wykorzystanie urządzeń produkcyjnych.

## 1. Wstęp

Ilekroć rozważa się zagadnienie elektryfikacji czynnej już walcowni, postawienie walcowni nowej lub zmiany programu walcowania, konstruktor części elektrycznej zwraca się do walcownika o dostarczenie mu następujących danych:

a) ciężaru początkowego wlewka lub wsadu,
b) wymiarów wlewka lub wsadu,
c) wydajności walcowni w t/godz.,
d) średnicy walców,
e) wymiarów wykrojów i rysunków walców,
f) obrotów walców,
g) gatunku walcowanych stali lub metali,
h) końcowych wymiarów kęsiska lub wyrobów,
i) całkowitego współczynnika wydłużenia,
j) temperatury początkowej walcowania,
k) temperatury końcowej walcowania,
l) ilości przepustów i planu walcowania,
m) gniotów w poszczególnych przepustach,
n) czasu najkrótszych pauz,
o) danych o prądzie, jakim dysponuje zakład,
p) o ile walcownia posiada już silnik, to pełną charakterystykę silnika.

Dane te są potrzebne konstruktorowi do obliczenia nacisków na walce, mocy oraz naprężeń w elementach walcarki.

Właściwszą jednak drogę dla ustalenia mocy walcarki stanowi pomierzenie parametrów technologicznych, jak gnioty, zmiany geometryczne kształtu, czas przepustów i nacisków oraz bezpośredniej mocy pobranej przez silnik. Nie zawsze jest to jednak od razu możliwe, jak np. przy kalibrowaniu nowego profilu, planowej zmianie programu walcowania itp.

Przeprowadzenie pomiarów pracy i mocy w walcowni wymaga wyposażenia jej w aparaty pomiarowe, które pozwoliłyby wyznaczyć straty występujące w poszczególnych częściach walcarki. Bardzo często jednak mniej ważne wielkości ocenia się doraźnie zamiast je mierzyć.

W pełnych pomiarach powinny być wyznaczone następujące wartości:

1. Moc na wale silnika napędowego, którą otrzymuje się przez pomiar mocy z sieci i odjęciu strat w silniku.
2. Straty mocy dla pokrycia tarcia w elementach pomiędzy wałem a walcami: a) w przekładni zębatej, b) w walcach zębatych, c) w łożyskach.
3. Moc potrzebna na pokrycie sił masowych (przyśpieszenie lub hamowanie części obracających się). Wymaga to pomiaru obrotów walców i przyśpieszenia kątowego oraz znajomości przełożenia każdej przekładni.
4. Parametry technologiczne procesu walcowania, jak:
   a) temperatura metalu w przepuście,
   b) skład chemiczny metalu,
   c) przekroje przed i po przepuście,
   d) długość przed i po przepuście,
   e) nacisk walców,
   f) czas przepustu,
   g) wymiar przekroju.

Moc pobraną napędu elektrycznego mierzy się samopiszącym kilowatomierzem.

Dla dokładnego pomiaru przebiegów mocy szybko zmieniającej się, na przykład w walcowniach nawrotnych lub innych o krótkich przepustach, używa się oscylografu pętlicowego. Straty w silniku składają się z następujących pozycji:

a) straty w miedzi (ciepło Jaule'a),
b) straty w żelazie (histereza i prądy wirowe),
c) straty mechaniczne (tarcie i wentylacja).

Straty w silniku wyznacza się na podstawie metryki dostarczonej przez wytwórnię albo określa się ją z pomiaru.

Moc potrzebna na przyśpieszenie mas wirujących:

$$N = M_{dyn} \cdot \omega_{śr} = \frac{M_{dyn}}{102{,}0} \cdot \frac{\pi n_{śr}}{30} \quad \text{kW}, \tag{1}$$

gdzie

$$M_{dyn} = J \frac{d\omega}{dt} = J \frac{\pi}{30} \cdot \left(\frac{n_1 - n_2}{\Delta t}\right) \quad \text{kGm}; \tag{2}$$

we wzorach tych wyrażają:

$\omega_{śr}$ — średnią prędkość kątową,

$n_{śr}$ — średnią wartość obrotów w przepuście $=(n_1+n_2):2$,

$J$ — moment bezwładności części obracających się względem osi obrotu,

$n_1$ — obroty/min na początku przepustu,

$n_2$ — obroty/min na końcu przepustu.

Do pomierzenia szybkości walcowania przy przebiegach powolnych wystarczająco dokładny jest zwykły piszący szybkościomierz (tachometr), w innych przypadkach, przy przebiegach szybkich, stosuje się oscylograf. Poszczególne straty tarcia można ustalić za pomocą jednego z czterech sposobów, zależnie od istniejących warunków.

Pamiętamy, że moc oddana przez silnik jest sumą mocy na przyśpieszenie części obracających się, strat: w przekładni zębatej, w walcach zębatych, w łożyskach walców, oraz właściwej pracy walcowania.

Sposób 1. Sposobu tego używamy w wypadkach, kiedy nie mierzy się nacisku walców. Potrzebny jest wtedy pomiar mocy pobranej na bieg jałowy, tj. na utrzymanie w ruchu walcowni bez obciążenia walców, przy średniej szybkości walcowania w przepuście. Przyjmuje się, że straty te odpowiadają stratom przekładni zębatej, walców zębatych i stratom tarcia w łożyskach w czasie właściwego walcowania. Stosując ten sposób otrzymujemy moc na wale silnika napędowego jako sumę mocy pobranej na przyśpieszenie części obracających się, straty na bieg jałowy i właściwej pracy walcowania. Metoda ta nie może dać dobrych wyników, ponieważ określona tu właściwa praca walcowania, jako zawierająca dodatkowe straty tarcia w walcach zębatych, łożyskach itp., spowodowane naciskiem walców, będzie zawsze za duża.

Sposób 1 nie pozwala także na oddzielenie strat w przekładni zębatej od strat w walcach zębatych przy równoczesnym walcowaniu. Przy biegu jałowym jest to natomiast możliwe przez stopniowe odłączanie linii walcowniczej od walców zębatych, później zaś tych walców od przekładni zębatej. Sposobu tego używał Puppe [4], [7] w swoich zasadniczych pomiarach w walcowni.

Sposób 2. Używany on jest często w walcowniach w tych przypadkach, kiedy mierzy się równocześnie nacisk walców. Wówczas straty na tarcie w łożyskach oblicza się z wartości zmierzonego nacisku pomnożonej przez przyjętą wartość współczynnika tarcia łożysk. Straty przekładni, walców zębatych oraz straty w ich łożyskach oblicza się z wartości przenoszonej przez nie mocy, stosując znane wartości sprawności przekładni czy wartości podane przez wytwórnię.

Właściwą pracę walcowania otrzymuje się z rzeczywistych wartości mierzonych, jako jedyną wielkość nie obliczoną ani też przyjętą.

Dokładność wyników przy stosowaniu tego sposobu zależy od prawidłowego przyjęcia poszczególnych współczynników tarcia oraz od względnej wartości właściwej pracy walcowania i strat w łożyskach walców, ponieważ zwykle straty w przekładniach i walcach zębatych są niewielkie.

Sposób 3. Stosuje się go w tych przypadkach, kiedy mierzy się nacisk walców oraz wówczas, gdy można w czopach walców wywołać nacisk równy obciążeniu przy zwykłym walcowaniu. Mierzy się wtedy moc potrzebną do napędu pustej walcowni przy obciążeniu czopów walców tak, jak to było założone. Jeśli od mocy oddanej przez silnik odejmie się moc mierzoną oraz moc na przyśpieszenie części obracających się, wtedy otrzymana różnica określa właściwą pracę walcowania. Przy łożyskach ślizgowych, szczególnie źle zwymiarowanych lub smarowanych, straty tarcia tak określone są zwykle za małe wskutek nieuwzględnienia uderzeń i dlatego właściwa praca walcowania mogłaby być za duża.

Sposób 3 rzadko znajduje zastosowanie na skutek trudności w dokładnym obciążeniu łożysk do wymaganej wartości. Z metody tej korzystał Waldorf [8] w pewnej ilości swych pomiarów.

Sposób 4. Jeśli oprócz aparatury do pomiaru nacisku walców posiadamy także urządzenia do pomiaru momentu obrotowego (skręcającego), przenoszonego przez łączniki pomiędzy klatką walców zębatych a czopami walców, urządzenie takie pozwala na zmierzenie momentu obrotowego przenoszonego na czopy walców.

Z wartości tych otrzymujemy:

a) różnicę między mocą oddaną przez silnik a mocą przenoszoną przez łączniki, jako równą stratom w przekładni i w walcach zębatych w warunkach walcowania powiększonych o moc potrzebną do przyśpieszenia części obracających się;

b) moc przenoszoną przez łączniki równą mocy potrzebnej do przyśpieszenia walców powiększonej o straty w łożyskach walców oraz o właściwą pracę walcowania.

Ponieważ straty w łożyskach walców można obliczyć jak w sposobie 2, otrzymamy więc wymaganą właściwą pracę walcowania. Straty przekładni zębatej nie dadzą się oddzielić od strat w walcach zębatych. Możemy to tylko wykonać rachunkowo. Pomiar momentu skręcającego w łącznikach w walcowni produkcyjnej jest nadzwyczaj trudny. Łączniki są duże i sztywne, tak że kąt skręcenia jest niewielki. Zwykle łączniki są podparte w środku i dlatego pozostaje do pomiaru niewielka ich długość. Ponadto łączniki narażone są na różnego rodzaju uderzenia i w starych walcowniach istnieje duża gra na ich końcach.

Hoff i Dahl [11], [12] byli jedynymi, którzy usiłowali wykonać te pomiary w warunkach ruchowych. Analiza ich wyników budzi jednak

poważne zastrzeżenia co do dokładności i wartości tych pomiarów. Wykonując pomiary zdejmowali oni na oscylografie następujące wielkości:

a) prąd pobrany przez silnik,
b) moment przenoszony przez górny łącznik,
c) moment przenoszony przez dolny łącznik,
d) obroty walców,
e) długość walcowanego metalu po przepuście, mierzoną na obwodzie walca jako

$$l_1 = 1{,}01 \quad l_a - l_d, \tag{3}$$

gdzie

$l_a$ — rozwinięta długość na beczce walca,

$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$ rzut łuku styku.

Wartość współczynnika 1,01 odpowiada przyjęciu wartości wyprzedzania jako 1%.

Straty występujące w walcowni w warunkach zwykłej jej pracy są trudne lub wręcz niemożliwe do rozdzielenia, lecz przy odpowiedniej zręczności mogą one być wyznaczone z wystarczającą dla wymagań ruchu dokładnością.

W walcowniach napędzanych elektrycznie można określić z wystarczającą dokładnością energię pobraną i oddaną przez silnik napędowy oraz energię pochłoniętą lub oddaną przez wszystkie części obracające się. Wyznaczenie strat na tarcie w łożyskach zależy od dokładności pomiaru nacisku walców oraz wyznaczenia współczynnika tarcia w zależności od typu i rodzaju łożyska.

Straty w przekładni i w walcach zębatych można obliczyć z danych z wystarczającą dla praktyki dokładnością, gdyż straty te są niewielkie w porównaniu z całkowitą energią dostarczoną do walcowni.

Właściwą pracę albo moc walcowania otrzymuje się jako różnicę tych wszystkich wymienionych wartości, zawiera więc ona sporo błędów pochodzących z wszystkich pośrednich pomiarów.

Właściwą pracę walcowania można również wyznaczyć wykorzystując współczynniki sprawności: silnika, przekładni, walców zębatych itp. w sposób następujący:

$$A_w = A_s \cdot \eta_s - A_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_{td} \quad \text{kGm}, \tag{4}$$

gdzie

$A_w$ — właściwa praca walcowania przy stałej szybkości,
$A_s$ — praca pobrana przez silnik,
$\eta_s$ — sprawność silnika,
$A_p$ — energia pobrana przez części obracające się,
$\eta_1$ — sprawność przekładni zębatej,
$\eta_2$ — sprawność walców zębatych,
$\eta_{td}$ — sprawność łożysk walcarki.

Sprawność łożysk można obliczyć ze wzoru:

$$\eta_{td} = \frac{1}{1 + \frac{f_1 \cdot d}{\sqrt{R \cdot \Delta h}}}, \tag{5}$$

gdzie

$f_1$ — współczynnik tarcia łożyska,
$d$ — średnica czopa walca w mm,
$R$ — promień czynny walca w mm,
$\Delta h$ — gniot bezwzględny w mm.

W równaniu (5) przyjęto, że ramię momentu walcowania wynosi $0{,}5 \cdot l_d$. Rozłożenie strat mocy przy walcowaniu na zimno nie zostało właściwie przeanalizowane, choć wiele publikacji na ten temat już się ukazało.

Sprawności silnika, przekładni i walców zębatych są przypuszczalnie takie same, jak przy walcowaniu na gorąco, lecz sprawność łożysk walców będzie prawdopodobnie inna na skutek dużego spłaszczania się walców.

Jako uzupełnienie dotychczasowych wywodów podaję przykład fragmentu pomiaru mocy w walcowni blachy grubej, w układzie trio Lautha o walcach średnicy 850/650/850 mm i długości beczki 2300 mm, obroty nominalne walców 55/min. Walcowano stal miękką gatunku „X"/C — — 0,1%, Mn — 0,5%, z wlewków płaskich, o wymiarach: 325 do 290 × 790 do 720 × 1500 mm.

Napęd walcowni: silnikiem prądu zmiennego o mocy nominalnej 2500 KM — 1840 kW i 494 obr/min — przy obciążeniu. Dopuszczalny moment przeciążenia = 2 × moment nominalny (znamionowy).

Napięcie stojana: 6000 V; prąd: 220 A.

Napięcie wirnika: 820 V; prąd wirnika: 1340 A.

$\cos \varphi = 0{,}85$, 50 okresów/sek.

$GD^2$ silnika w odniesieniu do wału silnika = 65000 kGm².

Stopień przełożenia przekładni zębatej: 480/55.

Współczynnik sprawności przekładni zębatej i klatki walców zębatych 0,92.

## 2. Przebieg pomiarów

W czasie prób spisywano protokoły z przebiegu walcowania, na przykład:

1) ciężar wlewka płaskiego: 1355 kg,
2) gatunek stali: miękka, węglowa,
3) największa wysokość wlewka: 275 mm,
4) format gotowej blachy: 6000 × 1500 × 10 mm,
5) temperatura początkowa walcowania: 1140°C,
6) temperatura końcowa walcowania: 800°C,
7) całkowity czas walcowania: 4'37".

Kolejność przepustów wg wskazań wskaźnika śruby nastawczej:

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1) | 260 | mm | 11) | 93 | mm | | 21) 35 | mm |
| 2) | 240 | „ | 12) | 92 | „ | obrót | 22) 27,5 | „ |
| 3) | 220 | „ | 13) | 85 | „ | | 23) 19 | „ |
| 4) | 200 | „ | 14) | 78 | „ | | 24) 17 | „ |
| 5) | 177 | „ | 15) | 76,5 | mm | | 25) 14,5 | „ |
| 6) | 158 | „ | 16) | 71,5 | „ | | 26) 13,2 | „ |
| 7) | 138,5 | „ | 17) | 63,5 | „ | | 17) 11,9 | „ |
| 8) | 118 | „ | 18) | 57 | „ | | 28) 11,7 | „ |
| 9) | 113 | „ | 19) | 49 | „ | | 29) 11,5 | „ |
| 10) | 103 | „ | 20) | 42 | „ | | | |

Resztę wartości mierzono bezpośrednio albo obliczano rachunkowo. Użyto następujących przyrządów pomiarowych:

1) samopiszący kilowatomierz,
2) znakowacz czasu,
3) obrotomierz samopiszący,
4) amperomierze,
5) licznik kilowatgodzin,
6) pyrometr „Pyropto".

Przykład obliczeń wykonanych dla siedmiu początkowych przepustów podaje tablica 1.

Poszczególne pozycje wykazu zawierają:

1) $N$ — moc pobraną z sieci w kW — według wskazań kilowatomierza piszącego,
2) $J_1$ — prąd stojana pobierany z sieci w A, według wskazań amperomierza piszącego,
3) $n_1$ — ilość obrotów silnika na minutę, na początku przepustu wg wskazań obrotomierza piszącego,
4) $n_2$ — ilość obrotów silnika na minutę pod koniec przepustu według wskazań obrotomierza piszącego.
5) Spadek obrotów przy obciążeniu:

$$\Delta n = n_1 - n_2.$$

6) Procentowy spadek obrotów odniesiony do obrotów początkowych silnika:

$$\frac{\Delta n}{n_1} \cdot 100 \text{ w } {}^0/_0.$$

7) Poślizg silnika obliczony w stosunku do obrotów nominalnych jako:

$$\sigma_2 = \frac{494 - n_2}{494} \cdot 100 \text{ w } {}^0/_0.$$

8) Czas przepustu w sek — ze znakowacza czasu.

9) Przyśpieszenie kątowe w czasie przepustu obliczone jako:

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{t} = \frac{\text{poz. (5)}}{\text{poz. (8)}} \text{ w } \frac{1}{\text{min sek}}.$$

10) $I_2$ — prąd wirnika w A według wskazań amperomierza piszącego.

11) Straty w miedzi na skutek nagrzewania się wirnika:

$$P_{Cu} = 3/2 J_2^2 \cdot r \cdot 1{,}216 = 0{,}0945 J_2^2 \quad \text{kW},$$

gdzie

$r_2$ — opór fazy wirnika $= 0{,}00518\Omega$ (mierzymy $2 \cdot r_2$) a 1,216 — mnożnik uwzględniający przyrost oporności wraz z temperaturą.

12) Straty w miedzi na skutek nagrzewania się wirnika wraz ze stratami regulatora poślizgu.

$$P_{Cu\ wirn.} = 3 \cdot J_2^2 \cdot \left(\frac{r_2}{2} \cdot 1{,}216 + \varrho_1\right).$$

gdzie

$\varrho_1$ — opór jednej fazy regulatora poślizgu.

13) Straty w miedzi stojana obliczone podobnie jak w pozycji (11):

$$P_{Cu\ stoj.} = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot J_1^2 \cdot 1{,}216 = 0{,}556 \cdot J_1^2.$$

14) Suma strat:

$$P_{Cu\ wirn.} + P_{Cu\ stoj.} + P_{Fe\ stoj.} = \text{pozycje: } (12 + 13) + 39{,}6,$$

gdzie $39{,}6 \cdot$ kW — straty biegu jałowego silnika zawierające straty tarcia i wentylacji.

15) Moc na wale silnika:

$$N = \text{poz. (1)} - \text{poz. (14)}.$$

16) Średni $M'_{dyn}$ na wale kół zamachowych: =

$$= \frac{30}{\pi} \cdot (\text{energia kinetyczna na wale kół zamachowych}).$$

$$\frac{1}{n_{śr} \cdot t} = \frac{60}{\pi} \cdot \frac{GD^2}{7200} \cdot \frac{\Delta n}{t} = \frac{60}{\pi} \cdot \frac{55000}{7200} \cdot \frac{\Delta n}{t} = 1{,}46 \cdot \frac{\Delta n}{t} \quad \text{kGm},$$

Średni $M'_{dyn}$ na wale przekładni:

$$\text{średni } M'_{dyn} \cdot \frac{480}{55} \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}001 = 1{,}14 \cdot \frac{\Delta n}{t} \quad \text{tm},$$

17) Moment roboczy na wyjściu z przekładni zębatej:

$$\max M_{rob} = 716 \frac{N_n}{n_2} \cdot \frac{480}{55} \cdot 0{,}92 = 5{,}750 \cdot \frac{N_n}{n_2} = 5{,}75 \frac{N_n}{n_2} \text{ tm.},$$

18) $n_{śr} = \frac{n_1 + n_2}{2}$,

$N_{bj}$ moc biegu jałowego walcarki na wale silnika: $300 - 39{,}6 = 260{,}2$ kW (moc biegu jałowego całego zespołu – moc biegu jałowego silnika napędowego); $M_{bj}$ moment walcowania jałowego na wale przekładni:

$$5{,}75 \cdot \frac{N_{bj}}{n} = 5{,}75 \cdot \frac{260{,}2}{494} = 2{,}9 \text{ tm.}$$

Przykładowe wyniki końcowe z tych pomiarów zebrane są w tablicy 2.

Jeśli chodzi o praktyczny sposób wykorzystania wyników takich pomiarów – to najlepiej zobrazuje to następujący przykład:

W badanej walcowni powstało zagadnienie, czy na posiadanych urządzeniach będzie można walcować 4-tonowe wlewki płaskie na blachy grube.

Do obliczeń przyjęto dopuszczalne przeciążenie silnika momentem obrotowym w granicach 100% obciążenia nominalnego wynoszącego

**Obliczenia dla początkowych przepustów** Tablica 1

| Lp | Objaśnienie | Jednostki | Przepusty | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $N$ z sieci | kW | 1230 | 2250 | 2490 | 3570 | 3540 | 3870 | 3810 |
| 2 | $I_1$ z sieci | A | 100 | 220 | 300 | 320 | 320 | 370 | 350 |
| 3 | $n_1$ | 1/min | 500 | 500 | 494 | 494 | 494 | 494 | 494 |
| 4 | $n_2$ | 1/min | 488 | 483 | 478 | 473 | 473 | 473 | 473 |
| 5 | $\Delta n = n_1 - n_2$ | 1/min | 12 | 17 | 16 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| 6 | $\frac{\Delta n}{n_e}$ | % | 2,4 | 3,4 | 3,2 | 4.3 | 4.3 | 4,3 | 4,3 |
| 7 | $\sigma_2$ Wal. | % | 2,4 | 3,4 | 4,4 | 5,4 | 5,4 | 5,4 | 5,4 |
| 8 | $t$ przepustu | sec | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0.4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 9 | $\frac{\Delta n}{t} = \varepsilon$ | 1/min sec | 30 | 42 | 40 | 52 | 35 | 35 | 35 |
| 10 | $I_2$ | A | 425 | 1310 | 1870 | 2020 | 2020 | 2410 | 2230 |
| 11 | $P_{Cu}$ wirnika | kW | 17 | 16 | 33 | 37 | 37 | 55 | 47 |
| 12 | $P_{Cu}$ wirnika wraz z regulat. poślizgu | kW | 20 | 46 | 85 | 105 | 105 | 135 | 127 |
| 13 | $P_{Cu}$ stojana | kW | 6 | 27 | 50 | 57 | 57 | 76 | 68 |
| 14 | $\Sigma$ strat $= (12) + (13) + 39{,}6$ | kW | 66 | 113 | 175 | 202 | 202 | 251 | 235 |
| 15 | $N$ na wale silnika | kW | 1164 | 2137 | 2315 | 3368 | 3338 | 3619 | 3575 |
| 16 | $M_{dyn}$ śr. moment na wale przekładni | tm | 34 | 48 | 46 | 60 | 40 | 40 | 40 |
| 17 | max $M_{rob.}$ na wale przekładni | tm | 18 | 39 | 38 | 56 | 55 | 60 | 59 |
| 18 | $\frac{n_1 + n_2}{2}$ | 1/min | 494 | 491 | 486 | 483 | 483 | 483 | 483 |

2,0·32,5 = 63 tm i moment krytyczny wynoszący 2,2 momentu nominalnego, a więc: 2,2·32,5 = 78 tm. Temperaturę metalu w czasie walcowania przyjęto na podstawie poprzednich pomiarów, jak również spadek obrotów silnika napędowego. Mocy potrzebnej na bieg jałowy nie uwzględniono.

Na tej podstawie wykonano obliczenia zestawione w tablicy 3, w której czasy przepustów obliczono przy 55 obr/min. Czasy przerw między przepustami przyjęto na 5 sekund, czasy przerw pomiędzy poszczególnymi wlewkami na 120 sekund, tak że całkowita suma przerw wynosi około 245 sekund. Obliczona w ten sposób najwyższa teoretyczna wydajność walcowni wynosiła 32 t/h.

Pobraną energię z sieci, bez napędów pomocniczych, przyjęto ogólnie na 20 kWh/t (tabl. 2), licząc się z nieco lepszym nagrzewaniem wsadu.

Z obliczeń i wykresu (rys. 1) otrzymano jasną odpowiedź, że walcowanie takich wlewków byłoby w obecnych warunkach zupełnie niemożliwe, ponieważ spowodowałoby zatrzymanie silnika napędowego, przeciążanego wielokrotnie ponad dopuszczalną dla niego wartość. Do takiej pracy byłby potrzebny silnik o mocy około 2700 kW. Takiego zaś silnika mogłyby nie wytrzymać elementy napędzane, jak przekładnie, łączniki i nasady.

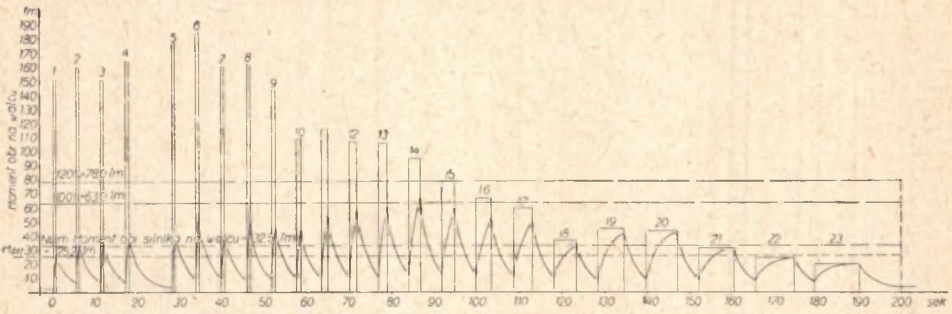
**Zestawienie wyników pomiarów** Tablica 2

| Lp | Objaśnienie | Wartości | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Ciężar wlewka płaskiego *t* | 2,20 | 2,23 | 1,91 | 1,91 |
| 2 | Czas całkowity sec | 411,6 | 434,8 | 195,1 | 195,0 |
| 3 | Czas walcowania sec | 51,6 | 40,8 | 47,1 | 40,0 |
| 4 | Czas biegu jałowego sec | 360 | 388 | 148 | 155 |
| 5 | Całkowity pobór energii na bieg jałowy kWh | 34,4 | 36,3 | 12,4 | 16,3 |
| 6 | Wskazania licznika energii w czasie jednego cyklu walcowania kWh | 54 | 60 | 42 | 42 |
| 7 | Energia pobrana bez energii biegu jałowego kWh | 19,6 | 23,7 | 29,6 | 25,7 |
| 8 | Grubość końcowa blachy mm | 16,0 | 16,0 | 14,6 | 14,6 |
| 9 | Temperatura końcowa walcowania °C | 920 | 890 | 1000 | 958 |
| 10 | Energia zużyta w czasie walcowania bez energii biegu jałowego na tonę blachy kWh/*t* | 8,9 | 10,6 | 15,5 | 13,4 |
| 11 | Całkowity pobór energii na *t* blachy (brutto) kWh/*t* | 24,5 | 26,8 | 22,0 | 22,0 |

Tablica 3

**Plan przepustów przy walcowaniu 4-tonowych wlewków płaskich na blachę o 2000 mm szerokości i 15 mm grubości.**
**Całkowity współczynnik wydłużenia $\lambda_c = 25{,}3$**

| Numer przepustu | Szerokość blachy mm | Grubość blachy mm | Gniot procentowy % | Całkowity współczynnik wydłużenia po $\lambda_c$ | Długość po przepuście mm | Moment obrotowy na walcach tm | Obroty walca obr/min | Czas przepustu sec | Czas przerw sec |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1000 | 380 | — | — | 1350 | — | 55 | — | — |
| 1 | „ | 350 | 8,5 | 1,085 | 1460 | 152 | „ | 0,6 | 5 |
| 2 | „ | 320 | 8,0 | 1,19 | 1600 | 160 | „ | 0,66 | 5 |
| 3 | „ | 290 | 9,0 | 1,31 | 1770 | 151 | „ | 0,73 | 5 |
| 4 | „ | 258 | 11,0 | 1,48 | 2000 | 164 | „ | 0,83 | 10 |
| obrót | 2000 | 258 | — | — | 1000 | — | — | — | — |
| 5 | „ | 230 | 11,0 | 1,65 | 1650 | 175 | 55 | 0,68 | 5 |
| 6 | „ | 205 | 11,0 | 1,86 | 1860 | 184 | „ | 0,76 | 5 |
| 7 | „ | 180 | 12,0 | 2,12 | 2120 | 160 | „ | 0,87 | 5 |
| 8 | „ | 160 | 11,0 | 2,38 | 2380 | 161 | „ | 0,97 | 5 |
| 9 | „ | 141 | 12,0 | 2,70 | 2700 | 142 | „ | 1,10 | 5 |
| 10 | „ | 120 | 15,0 | 3,16 | 3160 | 108 | „ | 1,29 | 5 |
| 11 | „ | 102 | 15,0 | 3,72 | 3720 | 115 | „ | 1,52 | 5 |
| 12 | „ | 86 | 15,0 | 4,42 | 4420 | 106 | „ | 1,69 | 5 |
| 13 | „ | 72 | 16,0 | 5,27 | 5270 | 105 | „ | 2,16 | 5 |
| 14 | „ | 60 | 16,0 | 6,33 | 6330 | 94 | „ | 2,59 | 5 |
| 15 | „ | 50 | 16,0 | 7,60 | 7600 | 78 | „ | 3,10 | 5 |
| 16 | „ | 42 | 16,0 | 9,05 | 9050 | 66 | „ | 3,70 | 5 |
| 17 | „ | 35 | 17,0 | 10,85 | 10850 | 59 | „ | 4,45 | 5 |
| 18 | „ | 29,5 | 16,0 | 12,90 | 12900 | 36 | „ | 5,27 | 5 |
| 19 | „ | 25 | 15,0 | 15,20 | 15200 | 45 | „ | 6,20 | 5 |
| 20 | „ | 21,5 | 14,0 | 17,70 | 17700 | 43 | „ | 7,22 | 5 |
| 21 | „ | 18,5 | 14,0 | 20,60 | 20600 | 31 | „ | 8,42 | 5 |
| 22 | „ | 16,5 | 11,0 | 23,00 | 23000 | 24 | „ | 9,40 | 5 |
| 23 | „ | 15,0 | 9,0 | 25,30 | 25300 | 20 | „ | 10,30 | 10 |
| | | | | | | | | 74,51 | 125—200 sec |



Rys. 1. Wykres przepustów dla walcowania 4-tonowych wlewków płaskich na blachy 2000 × 15 mm

Jedyną właściwą drogą byłoby tylko zmniejszenie momentów roboczych przez zastosowanie łożysk o znacznie mniejszych współczynnikach tarcia, na przykład ze sztucznych mas plastycznych.

## BIBLIOGRAFIA


[1] A. Celikow, *Projektowanie i budowa walcowni*, Katowice 1951.

[2] Й. Галлай, *Материалы по теории прокатки*. t. IV, Москва 1948.

[3] М. Павлов, *Теория прокатки*. Москва 1950.

[4] Z. Wusatowski, *Praca i moc w procesie walcowania*. Prace GIMO 2, 1950, str. 213–67.

[5] A. Geleji, *Die Berechnung der Kräfte und des Kraftbedarfes bei der Formgebung im bildsamen Zustande der Metalle*, Budapest 1951.

[6] H. Hoff, T. Dahl, *Grundlagen des Walzverfahrens*, Duesseldorf 1950.

[7] L. Underwood, *First Report of the Rolling Mill Research Sub – Committee*, „Special Report“ 34, London 1946.

[8] F. Waldorf, *Tapered Roller Bearings and their Applicability to Steel Mill Equipment*, „Iron and Steel Engineer“ 7 (1930), str. 79–91.

[9] F. Waldorf, *Tables of Rolling Pressures and Power Requirements for Rolling Steel Shapes*, Pittsburg 1930.

[10] H. Schreger, *Leistung und Kraftverbrauch im Walzwerk*, „Archiv für das Eisenhüttenwesen,“ 3 (1929), str. 117–122.

[11] H. Hoff, T. Dahl, *Einfluss der Stahlzusammensetzung auf den Arbeitsaufwand und den Formaenderungswiderstand beim Blockwalzen*, „Stahl und Eisen“ 54 (1934), str. 277–289.

[12] H. Hoff, T. Dahl, *Untersuchungen über den Arbeitsaufwand beim Blockwalzen*, „Stahl u. Eisen“ 55 (1935), str. 1182–1188.

[13] G. Weddige, *Warmwalzversuche an unlegierten und hochlegierten Stählen bei verschiedenen Walzbedingungen*, „Stahl und Eisen“ 57, (1937), str. 913–21.

[14] M. Steffes, *Ermittlungen des Kraftbedarfes beim Walzen artähnlichen und artverschiedenen Profile*, „Stahl u. Eisen“ 63 (1943), str. 295–301.

[15] Н. Крейдлин, *Расчет обзатий при прокатке листов и лент из цветных металлов и сплавов*. Москва 1950.

[16] Н. Громов, *Обработка металлов давлением*. Москва 1953.

[17] O. Emicke, H. Lucas, *Das Walzen von Leichtmetallen zu Blechen und Bändern*, Freiberg 1944.