

Józef ZAMOJSKI

## MOMENT ZASTĘPCZY SILNIKÓW TRAKCYJNYCH

**STRESZCZENIE** *W artykule autor przedstawił tezę, że moment wewnętrzny maszyn elektrycznych jest równoważny energii przeniesionej przez maszynę przy obrocie o kąt jednego radiana.*

*Autor nazwał moment na określonym odcinku „momentem zastępczym”.*

*W artykule są przedstawione rezultaty obliczeń momentu zastępczego i mocy, które potwierdzają tezę, silników 26-ciu pojazdów trakcyjnych: tramwajów, trolejbusów, metra, elektrycznych zespołów trakcyjnych i lokomotyw.*

**Słowa kluczowe:** *pojazdy trakcyjne, silniki trakcyjne, energia, moc, moment, moment zastępczy*

### 1. WSTĘP

---

Znane jest stwierdzenie Archimedesza (ok. 287 ÷ 212 p.n.e.), wynalazcy dźwigni, najwybitniejszego fizyka i matematyka starożytności: **"Dajcie mi punkt podparcia, a sam jeden poruszę z posad Ziemię"**. Archimedes wskazał, że określoną masę można przesunąć na określoną odległość, stosując różne długości ramienia dźwigni i przykładając do nich takie wartości siły, że iloczyn wartości działającej siły i długości ramienia są wartością stałą. Tę wartość nazywamy momentem siły.

Oznacza to jednocześnie, że **praca wykonana dla różnych długości dźwigni jest wartością stałą równą iloczynowi siły i drogi jaką zakreśla punkt przyłożenia siły**.

---

dr inż. Józef ZAMOJSKI  
e-mail: j.zamojski@iel.waw.pl

Zakład Trakcji Elektrycznej,  
Instytut Elektrotechniki

## 2. MOMENT SIŁY A PRACA

---

Nawiązując do treści wstępu (pkt. 1) można stwierdzić, że praca wykonana przy pomocy dźwigni równa się iloczynowi siły przyłożonej do dźwigni i długości drogi jaką wykonuje punkt przyłożenia siły na dźwigni. Powyższe można wyrazić zależnością podaną niżej przy obrocie ramienia o kąt pełny równy  $2\pi$  radianów:

$$W_{2\pi} = F 2 \pi r \quad (2.1)$$

Ponieważ jeden obrót ramienia o długości  $r$  odpowiada kątowi  $2\pi$  radianów, praca wykonana przez siłę  $F$  przy obrocie o jeden radian wynosi:

$$W_{1rad} = F r \quad (2.2)$$

Uzyskana zależność (2.2) wyraża zgodnie z definicją wartość momentu  $T$  siły  $F$  przyłożonej do ramienia o długości  $r$ . Oznacza to, że wartość liczbowa momentu siły równa się wartości pracy wykonanej przez siłę na drodze odpowiadającej kątowi jednego radiana.

O tym, że równość momentu z wykonaną pracą lub z energią przeniesioną przy obrocie o kąt jednego radiana dotyczy także maszyn elektrycznych, można dowieść w sposób następujący.

Wyrażenie na moment wewnętrzny maszyny elektrycznej ma postać:

$$T_w = C_m \Phi I \quad (2.3)$$

gdzie:

$I$  [A] – prąd uzwojenia wirnika,

$\Phi$  [Wb] – strumień jednego bieguna,

$C_m = \frac{pN}{2a\pi}$  – stała momentu.

Natomiast pracę jaką wykonuje jeden pręt maszyny obracając się o jeden obrót przy stałej wartości indukcji  $B$  można wyrazić zależnością:

$$W_{1pr} = F 2 \pi r = B I l 2 \pi r \quad [\text{Nm}] \quad (2.4)$$

gdzie:

- $F$  [N] – siła,
- $R$  [m] – promień wirnika,
- $B$  [Wb] – indukcja pod biegunem,
- $l$  [m] – długość pręta uzwojenia.

Ponieważ w maszynie elektrycznej na obwodzie występuje  $2p$  biegunów o podziałce  $\tau = \pi 2 r / 2p$ , strumień jednego bieguna  $\Phi = B l \tau$ , natomiast praca jednego pręta przy jednym obrocie maszyny wynosi:

$$W_{1pr} = \Phi I 2p \quad [\text{Nm}] \quad (2.5)$$

W przypadku uzwojenia o liczbie prętów  $N$  ułożonych równomiernie na obwodzie twornika i liczbie gałęzi  $2a$  praca wykonana przez uzwojenie podczas jednego obrotu wynosi:

$$W = \frac{2pN}{2a} \Phi I = \frac{pN}{a} \Phi I \quad [\text{Nm}] \quad (2.6)$$

Przechodząc z pełnego obrotu o kącie  $2\pi$  radianów na jeden radian, uzyskamy wyrażenie na pracę  $W_{1r}$  wykonaną przy obrocie o jeden radian równe momentowi elektromagnetycznemu (wewnętrznemu) –  $T_w$ :

$$W_{1r} = \frac{W}{2\pi} = \frac{pN}{2a\pi} \Phi I = C_m \Phi I = T_w \quad (2.7)$$

Przedstawione wyżej rozważania, a szczególnie definicja o równości wartości momentu obrotowego i energii przeniesionej przy obrocie o kąt jednego radiana została wykorzystana przez autora do powiązania równania ruchu obrotowego wyrażonego zależnością momentu napędowego silnika:

$$T_n = T_d + T_{opr} \quad (2.8)$$

gdzie:

- $T_d$  – moment dynamiczny,
- $T_{opr}$  – moment oporowy,

z równaniem energetycznym ruchu liniowego pojazdu określonym sumą energii kinetycznej i energii oporów ruchu:

$$E_n = E_d + E_{opr} \quad (2.9)$$

gdzie:

$E_d$  – energia kinetyczna,  
 $E_{opr}$  – energia oporów ruchu.

### 3. MOMENT ZASTĘPCZY SILNIKÓW TRAKCYJNYCH

W przypadku ruchu liniowego obiektu np. pojazdu o znanej masie  $m$  i znanych parametrach takich jak: prędkość maksymalna  $V_{\max}$ , droga  $S$ , siły mechanicznych oporów ruchu  $W$ , istnieje możliwość określenia sumy wykonanej pracy i energii kinetycznej pojazdu:

$$\Sigma(E + A) = \frac{mV_{\max}^2}{2} + \int_0^S W dS \quad (3.1)$$

Przy znanej wartości średnicy kół pojazdu  $D_{kol}$  i wartości przełożenia kół zębatych  $i$ , istnieje jednoznaczna zależność między drogą  $S$  przebytą przez pojazd, a liczbą ( $l_{obr}$ ) wykonanych obrotów w tym czasie przez silnik czy silniki.

- liczba wykonanych obrotów przez koła pojazdów na trasie o długości  $S$  wynosi:

$$l_{obrkol} = \frac{S}{\pi D_{kol}}$$

- liczba pełnych obrotów silnika (silników) trakcyjnego podczas przejazdu pojazdu na drodze  $S$  wynosi:

$$l_{obrsil} = l_{obrkol} i = \frac{Si}{\pi D_{kol}}$$

- liczba kątów o wartości jeden radian przy pełnej liczbie obrotów silników podczas przejazdu pojazdu na trasie o długości  $S$  wynosi:

$$l_{rad} = l_{obrsil} 2\pi = \frac{Si 2\pi}{\pi D_{kol}} = \frac{Si 2}{D_{kol}}$$

Korzystając z przedstawionej wyżej tezy, że moment maszyny elektrycznej równa się energii przeniesionej przy obrocie o kąt jednego radiana, autor proponuje utworzenie pojęcia **momentu zastępczego** silnika trakcyjnego  $T_z$  obliczonego z poniższej zależności:

$$T_z = \frac{\Sigma(E + W)}{l_{rad} \eta_i l_{sil}} = \frac{\Sigma(A + W) D_{kol}}{2Si \eta_i l_{sil}} \quad [\text{Ws}] \text{ lub } [\text{Nm}] \quad (3.2)$$

gdzie:

- $\eta_i$  – sprawność przekładni pojazdu,
- $l_{sil}$  – liczba silników w pojeździe.

W ramach klasycznych obliczeń trakcyjnych ustalany jest prąd zastępczy  $I_z$  jednostek napędowych, który określa skutki cieplne pracy silników trakcyjnych i jest przyjmowany jako wartość odpowiadająca znamionowemu prądowi ciągłemu  $I_c = I_z$ , co daje możliwość obliczenia wymaganej mocy ciągłej silników:

$$P_c = U \cdot I_z \cdot \eta \quad (3.3)$$

gdzie:

- $\eta$  – sprawność silnika.

Prąd i moc ciągła są ważnymi parametrami silnika jednak nie wystarczają do zaprojektowania jego obwodu elektromagnetycznego. Natomiast dodatkowe obliczenie momentu zastępczego silnika ( $T_z$ ), który odpowiada momentowi znamionowemu zapewnia określenie prędkości znamionowej (wzór 3.4), wymiarów obwodu elektromagnetycznego, masy silnika i charakterystyk mechanicznych.

$$n_n = 974 \frac{P_c}{T_z} \quad [\text{obr/min}] \quad (3.4)$$

Dysponowanie więc wartościami mocy, prądu, momentu i prędkości obrotowej pozwala zaprojektować silnik o właściwych parametrach elektromagnetycznych, cieplnych, wymiarach gabarytowych i masie. W przypadku aktualnie stosowanych w pojazdach trakcyjnych silnikach asynchronicznych prędkość znamionowa wskazuje także na liczbę biegunów silnika i znamionową częstotliwość falowników.

Jeśli rozważyć przypadek jazdy charakterystycznej dla pojazdów w ruchu miejskim, podczas której pojazd osiąga prędkość maksymalną, a następnie od-

bywa się wybieg i hamowanie, wzór na moment zastępczy można przekształcić do postaci:

$$T_z = \frac{4kmV_{\max}^2 D_{kol} 10^{-3}}{Si\eta_i l_s} \quad [\text{dNm}] \quad (3.5)$$

gdzie:

		<b>Tramwaj 105 N</b>
$k$	– współczynnik mas wirujących	1.15
$m$	[mg] – masa pojazdu	26
$V_{ma}$	[km/h] – prędkość maksymalna	60
$D_{kol}^x$	[m] – średnica koła pojazdu	0.64
$S$	[m] – droga	500
$i$	– wartość przełożenia przekładni	7.17
$\eta_i$	– sprawność przekładni	0.93
$l_s$	[szt.] – liczba silników	4

Przykład obliczenia momentu zastępczego silnika **LTa-220**:

$$T_z = \frac{4 \cdot 1.15 \cdot 26 \cdot 60^2 \cdot 0.64 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 7.17 \cdot 0.93 \cdot 4} = 20.66 \quad [\text{dNm}]$$

Biorąc pod uwagę zależność między mocą a momentem oraz prędkością obrotową i prędkością pojazdu ( $V$ ):

$$P = \frac{Tn}{956} \quad (3.6)$$

$$n = \frac{60Vi}{3.6\pi D_{kol}} \quad (3.7)$$

uzyskamy także moc silnika napędowego z poniższego wzoru:

$$P = \frac{4 \cdot 60}{3.6\pi 956} \frac{kmV_{\max}^2 V_n 10^{-3}}{S\eta_i l_s} = \frac{0.022kmV_{\max}^2 V_n 10^{-3}}{S\eta_i l_s} \quad [\text{kW}] \quad (3.8)$$

gdzie:

$V_n$  [km/h] – prędkość pojazdu odpowiadająca prędkości znamionowej silnika [obr/min].

Przykład obliczenia mocy silnika **LTa-220**:

$$P = \frac{0.022 \cdot 1.15 \cdot 26 \cdot 60^2 \cdot 31 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 0.93 \cdot 4} = 39.9 \quad [\text{kW}]$$

Stosowany w tramwaju 105 N silnik **LTa-220** ma parametry znamionowe podane poniżej w pierwszej kolumnie, natomiast w kolumnie drugiej zestawiono wartości obliczone ze wzorów: 3.5 i 3.8, a w trzeciej – różnice wartości znamionowych i obliczonych

moc	40	kW	obliczona	39.90	kW	różnica	-0.25	%
moment	21	dNm	obliczony	20.66	dNm	różnica	-1.6	%

Uzyskane z obliczeń wartości momentu i mocy w przypadku silnika prądu stałego typu **Lta-220** są praktycznie równe parametrom znamionowym.

W celu sprawdzenia zgodności wartości obliczanych wg wzorów: 3.2, 3.5 i 3.8 z wartościami znamionowymi silników o większych wartościach momentu i mocy, w tym także silników asynchronicznych, wykonano obliczenia i analizę dla układów napędowych: nowoczesnych wozów tramwajowych, trolejbusów, taboru metra oraz pojazdów kolejowych (EZT i lokomotyw).

Dane przyjęte do obliczeń i ich rezultaty przedstawiono w dziewiętnastu kolumnach tabeli 3.1 i 3.2.

Wśród kolumn zawierających wyniki obliczeń występują kolumny oznaczone:  $\Delta T$  [%],  $\Delta P$  [%] i  $\Delta n$  [%], które wykazują różnice między wartościami znamionowymi silników a wartościami obliczonymi wg ww. wzorów.

## 4. WNIOSKI

1. Wykazano równość pracy wykonanej przy obrocie o kąt jednego radiana przez uzwojenie wirnika maszyny elektrycznej z wyrażaniem na moment elektromagnetyczny (wewnętrzny) maszyn elektrycznych.
2. Zaproponowane w pracy pojęcie momentu zastępczego silnika trakcyjnego jako wynik ilorazu sumy energii kinetycznej i wykonanej pracy przez pojazd na drodze  $S$  i liczby obrotów silników napędowych podczas przejazdu pojazdu na drodze  $S$  potwierdzono porównaniem wartości momentów zastępczych

z momentami znamionowymi silników trakcyjnych stosowanych w dwudziestu sześciu pojazdach.

Podane w tabelach różnice momentów zastępczych i znamionowych zawierają się w granicach:  $-6.8 \div 7\%$ .

3. Dysponowanie momentem zastępczym i prądem zastępczym silnika trakcyjnego umożliwia jego zaprojektowanie.
4. Wykorzystując równoważność momentu z energią przeniesioną przy obrocie o kąt jednego radiana, możliwe jest wyznaczenie sprawności energetycznej jak też sprawności mocy układów napędowych.
5. Zaproponowane pojęcie wartości momentu jako równe energii przeniesionej przy obrocie maszyn o kąt jednego radiana, ułatwia zrozumienie własności fizycznej, iż maszyny o tym samym momencie różniące się prędkościami obrotowymi, różnią się mocami, gdyż ta sama wartość energii przeniesiona jest w różnej wartości czasu.

**TABELA 3.1**

Tramwaje, trolejbusy, metro

Typ pojazdu	Silnik	$D_k$	$i$	$\eta_i$	$m$	Siln.
		m	-	-	Mg	szt.
1	2	3	4	5	6	7
105 N	LTd-220	0.64	7.17	0.93	26.0	4
116 N	LTb-240	0.64	7.06	0.93	45.3	4
Citadis 100	4LMA1240	0.57	6.50	0.97	53.2	4
116 Nd		0.57	7.06	0.97	39.8	4
114 Na		0.57	7.06	0.97	53.9	8
NGT8D	4LGA	0.57	7.06	0.97	48.2	4
Citadis 302	4LMA-1245 N	0.61	6.50	0.97	59.7	4
Adtraz Pafawag	ELIN EBGm	0.53	7.33	0.97	50.4	4
Tramwaj 118 N	STDa 250 4A	0.59	6.5	0.96	51.5	4
Pesa	DKCBZo211-04 Fa	0.53	6.643	0.97	45 (518)	4
Trolejbusy klasyczne		1.02	10.25	0.95	14.2	1
Trolejbus M 121 MT		0.93	8.2	0.95	17.5	1

**Metro**

Seria 81	DK-117 WM	0.78	5.33	0.97	209.88	16
Metropolis	4 EXA 21	0.79	6.942	0.98	281	16



c. d. Tabeli 3.1

Typ pojazdu	Silnik	$V_{max}$	$S$	$T_z$	$T_n$
		km/h	km	dNm	dNm
1	2	8	9	10	11
105 N	LTd-220	60	0.50	20.66	21.0
116 N	LTb-240	60	0.60	30.5	31.5
Citadis 100	4LMA1240	60	0.50	43.3	45.1
116 Nd		70	0.60	32.4	32.2
114 Na		70	0.65	20.3	19.0
NGT8D	4LGA	70	0.60	39.3	39.4
Citadis 302	4LMA-1245 N	70	0.70	45.6	45.6
Adtraz Pafawag	ELIN EBGM	70	0.50	42.3	41.7
Tramwaj 118 N	STDa 250 4A	80	0.60	45.7	47.2
Pesa	DKCBZo211-04 Fa	70	0.60	53.9	56.4
Trolejbusy klasyczne		70	0.50	67.0	67.0
Trolejbus M 121 MT		70	0.60	81.8	80.5

**M e t r o**

Seria 81	DK-117 WM	65	0.70	73.6	73
Metropolis	4 EXA 21	80	0.70	87	90

c. d. Tabeli 3.1

Typ pojazdu	Silnik	$\Delta T$	$V_n$	$P_z$	$P_n$
		%	km/h	kW	kW
1	2	12	13	14	15
105 N	LTd-220	-1.6	31	39.9	40
116 N	LTb-240	-3.0	31.6	50.8	50.3
Citadis 100	4LMA1240	4.0	35	95.1	100
116 Nd		-0.6	35	80.7	80
114 Na		-6.8	35	41.5	40
NGT8D	4LGA	0.2	35	93.7	95
Citadis 302	4LMA-1245 N	0.0	45	106.7	105
Adtraz Pafawag	ELIN EBGM	1.4	35	98.0	100
Tramwaj 118 N	STDa 250 4A	-3.0	34	92	95
Pesa	DKCBZo211-04 Fa	-4.4	26.7	100.2	105
Trolejbusy klasyczne		0.0	27.9	111	105
Trolejbus M 121 MT		1.6	36.2	143.8	140

**M e t r o**

Seria 81	DK-117 WM	0.1	54	110	114
Metropolis	4 EXA 21	-2.2	42	175	180

c. d. Tabeli 3.1

Typ pojazdu	Silnik	$\Delta P$	$n_n$	$n_z$	$\Delta n$
		%	obr/min	obr/min	%
1	2	16	17	18	19
105 N	LTd-220	-0.25	1855	1881	1.4
116 N	LTb-240	1.60	1592	1556	2.3
Citadis 100	4LMA1240	4.90	2118	2208	4.0
116 Nd		-0.80	2378	2300	3.3
114 Na		3.75	1955	2300	15.0
NGT8D	4LGA	1.30	2279	2300	0.9
Citadis 302	4LMA-1245 N	1.60	2236	2201	-1.5
Adtraz Pafawag	ELIN EBGM	-2.00	2194	2260	-2.9
Tramwaj 118 N	STDa 250 4A	-3.1	1924	1826	8.9
Pesa	DKCBZo211-04 Fa	-4.5	1778		
Trolejbusy klasyczne		5.7	1500	1584	5.6
Trolejbus M 121 MT		2.7	1693	1680	0.8

**Metro**

Seria 81	DK-117 WM	-3.5	1500	1429	-4.7
Metropolis	4 EXA 21	-2.7	1834	1922	4.8

TABELA 3.2

Elektryczne Zespoły Trakcyjne, lokomotywy

Typ pojazdu	Silnik	$D_k$	$i$	$\eta_i$	$m$	Siln.
		m	-	-	Mg	szt.
1	2	3	4	5	6	7

**E. Z. T.**

Stadler Flivt	TMF 59-28-4	0.83	4.83	0.98	150	2
EN-57	LKf-450	0.94	3.68	0.95	176	4
EN-58	LKa-435	0.96	3.83	0.95	193	8
EN-60	LKa-435	0.96	4.437	0.95	173	4
EW-72	LKa-470	0.94	3.68	0.95	200	8
10 WE	indukcyjny	0.815	6.93	0.97	171	8
10 WE	SXT 315-L4C	0.92	5.176		190	8

**Lokomotywy**

EU 07	EE-541	1.215	4.39	0.97	632	4
EU 09	LKa-740	1.215	1.92	0.97	632	4
EU 10	indukcyjny	1.215	2.36	0.97	1332	4
ET 22	EE-541	1.215	4.39	0.97	3200	6
E6ACT	STX 500-4A	1.215	4.81	0.97	3120	6

c. d. tabeli 3.2

Typ pojazdu	Silnik	$V_{\max}$	$S$	$T_z$	$T_n$
		km/h	km	dNm	dNm
1	2	8	9	10	11

E. Z. T.

Stadler Flivt	TMF 59-28-4	160	2.2	352	360
EN-57	LKf-450	105	1.51	136	131
EN-58	LKa-435	110	2.1	169	165
EN-60	LKa-435	75	1.5	170	170
EW-72	LKa-470	120	2.2	185	188
10 WE	indukcyjny	100	1	75	70
10 WE	SXT 315-L4C	130	2.2	153	150

Lokomotywy

EU 07	EE-541	125	6	493	502
EU 09	LKa-740	150	10	974	968
EU 10	indukcyjny	140	11	1380	1390
ET 22	EE-541	90	10	518	502
E6ACT	STX 500-4A	100	10	623	611.6

c. d. Tabeli 3.2

Typ pojazdu	Silnik	$\Delta T$	$V_n$	$P_z$	$P_n$
		%	km/h	kW	kW
1	2	12	13	14	15

E. Z. T.

Stadler Flivt	TMF 59-28-4	0.6	50.5	547	548.9
EN-57	LKf-450	3.8	50	144.8	145
EN-58	LKa-435	2.4	55.7	199	205
EN-60	LKa-435	0	48	205	205
EW-72	LKa-470	1.5	78	191	195
10 WE	indukcyjny	7.1	55.5	188	185
10 WE	SXT 315-L4C	2	57.7	276	280

Lokomotywy

EU 07	EE-541	-1.8	50.4	469	500
EU 09	LKa-740	0.6	85.8	766	730
EU 10	indukcyjny	1	87	1286	1300
ET 22	EE-541	3.2	50.4	494	500
E6ACT	STX 500-4A	1.9	63.5	820	830

c. d. Tabeli 3.2

Typ pojazdu	Silnik	$\Delta P$	$n_n$	$n_z$	$\Delta n$
		%	obr/min	obr/min	%
1	2	16	17	18	19

E. Z. T.

Stadler Flivt	TMF 59-28-4	-0.3	1550	1491	2.7
EN-57	LKf-450	-0.1	1045	1018	5.5
EN-58	LKa-435	-2.2	1160	1125	3.0
EN-60	LKa-435	0.7	1160	1152	0.6
EW-72	LKa-470	1.5	1000	987	1.3
10 WE	indukcyjny	1.6	2526	2396	5.0
10 WE	SXT 315-L4C	-1.4	1772	1724	2.7

Lokomotywy

EU 07	EE-541	-6.2	970	909	6.2
EU 09	LKa-740	5.0	720	720	0
EU 10	indukcyjny	-1.0	894	891	0.3
ET 22	EE-541	-1.2	970	912	5.9
E6ACT	STX 500-4A	-1.2	1296	1258	-3.0

## LITERATURA

- Gogolewski Z.: Napęd elektryczny, Warszawa, 1961 r., WNT.
- Gogolewski Z. Kuczewski Z.: Napęd elektryczny, Warszawa, 1971 r., WNT.
- Grunwald Z. (praca zbiorowa): Napęd elektryczny, Warszawa, 1987 r. WNT.
- Zamojski J.: Kryteria wyboru właściwego wariantu maszyn trakcyjnych prądu stałego obliczanego w oparciu o metody numeryczne, rozprawa doktorska, Warszawa, 1972 r., Dokumentacja ZTE IEL.
- Podoski J. (praca zbiorowa): Teoretyczne zagadnienia trakcji elektrycznej.  
Zamojski J.: Współczesne metody porównywania parametrów maszyn trakcyjnych i określenie ich nowoczesności, Warszawa, 1975 r., PWN.
- Podoski J., Kacprzak J., Mysłek J.: Zasady trakcji elektrycznej, Warszawa, 1980 r., WKŁ.
- Zamojski J.: Present state of design methods of traction D. C. machines at the Institute of Electrotechnics, Londyn, 1985 r., Second International Conference on Electrical Machines – Design and Applications.
- Szeląg A.: Zagadnienia analizy i projektowania systemu trakcji elektrycznej prądu stałego z zastosowaniem technik modelowania i symulacji, Warszawa, 2002 r., Prace Naukowe P. W., Seria ELEKTRYKA.
- Szeląg A.: Efektywność energetyczna trakcji elektrycznej, Zakopane, 16 – 18 X 2008 r., SEMTRAK'2008, XII Ogólnopolska Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej, Politechnika Krakowska.

10. Lewandowski M.: Model symulacyjny przetwarzania energii dla szynowego pojazdu trakcyjnego, Zakopane, 2008 r., XII Konferencja Naukowa Trakcji Elektrycznej,
11. Dębowski A., Lewandowski M.: Napęd trakcyjny o obniżonej częstotliwości przełączy, Warszawa, 2012 r., Przegląd Elektrotechniczny, nr 45.

*Rękopis dostarczono dnia 05.10.2012 r.*

## REPLACEMENT TORQUE OF TRACTION MOTORS

Józef ZAMOJSKI

**ABSTRACT** *In the paper the author displayed thesis that the internal electric machines torque is equivalent energy transfer by machine turns one radian angle.*

*Author call torque for define distance "replesmental torque".*

*There are presented calculation resultants replesmental torque and power which confirm thesis for motors of 26 traction cars: tramcars, trolleybuses, metro, multiply units train and locomotives.*

**Keywords:** *Traction cars, Traction motors, Energy, Power, Torque, Replacement torque*

