

Wojciech Radwański, Bartłomiej Będkowski
BOBRME KOMEL, Katowice

OBLICZENIA TRAKCYJNE POJAZDU SPORTOWO- REKREACYJNEGO UTV

TRACTION CALCULATIONS OF THE SPORTS AND RECREATION VEHICLE UTV

Abstract: Traction calculations of the Sports and Recreation vehicle fitted with a permanent magnets electric motor with a capacity of 15kW are presented in the paper. The calculations of ability to overcome the motion resistance of the car and capable of speeds and accelerations at different ratios are shown. The necessary improvements to mount the electric drive and good points of this solution are discussed. The traction calculations comparison of the electric motor with internal-combustion engine will be shown in the next part of article.

1. Wstęp

Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych KOMEL zajmuje się, szeroko rozumianą problematyką napędów elektrycznych, w tym ich projektowaniem i konstruowaniem. W niniejszym artykule przedstawiono właściwości ruchowe pojazdu Sportowo-Rekreacyjnego UTV z koncepcyjnym silnikiem elektrycznym z magnesami trwałymi prądu przemiennego, który docelowo ma zostać zaprojektowany w Branżowym Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Maszyn Elektrycznych KOMEL. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń sporządzono dwa wykresy: trakcyjny przedstawiający zmianę siły napędowej na kołach w funkcji prędkości jazdy oraz wykres przyspieszeń przedstawiający przebieg zdolności przyspieszenia pojazdu na poszczególnych przełożeniach w funkcji prędkości jazdy przy wykorzystaniu pełnej mocy silnika.

2. Opis pojazdu oraz montażu silnika elektrycznego PA132S4SMws

Pojazd Sportowo-Rekreacyjny UTV jest produkcji zagranicznej z pierwotnie zamontowanym silnikiem spalinowym o pojemności 350cm³ i mocy maksymalnej 8kW, przy prędkości obrotowej 4750 obr/min.

UTV (ang. Utility Terrain Vehicle), to pojazdy podobne budową do quada, z tą różnicą, że posiadają dużą skrzynię ładunkową. Pojazdy te mogą przewozić większe ciężary, przez co doskonale nadają się do wykorzystywania w rolnictwie i leśnictwie. Rozwiązanie wykorzystujące napęd elektryczny w tego typu pojeździe jest w szczególności wskazane, gdyż

w znacznej mierze przyczynia się do ograniczenia zanieczyszczeń oraz hałasu w tego typu miejscach.

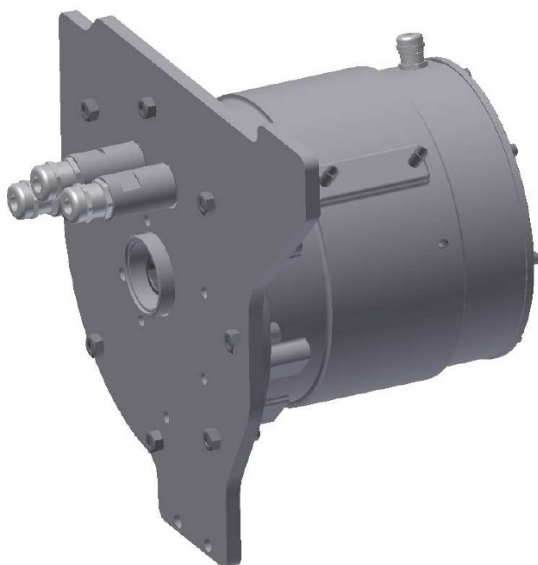


Rys. 1. Pojazd Sportowo-Rekreacyjny UTV

Silnik elektryczny z magnesami trwałymi prądu przemiennego będzie sprzężony bezpośrednio z wałem przekładni pojazdu UTV, co eliminuje generującą dodatkowe koszty przekładnię pasową oraz straty powstające poprzez tego typu rozwiązanie. Całość ma być zasilana bateriami litowo-jonowymi bez efektu pamięci o pojemności 7 kWh. Zamiana prądu stałego na przemienny o regulowanej częstotliwości odbędzie się poprzez falownik, ostatecznie silnik będzie zasilany napięciem 81V AC.

Silnik elektryczny chłodzony cieczą zostanie zamocowany do płyty pośredniczącej, która przykręcona będzie do już istniejących otworów w przekładni UTV. To rozwiązanie sprawia, że montaż i demontaż całości będzie łatwy i mało inwazyjny bez konieczności modyfikacji ramy i innych oryginalnych podzespołów po-

jazdu UTV. Połączenie silnik- przekładnia będzie odpowiednio zabezpieczone przed różnego rodzaju zanieczyszczeniami.



Rys. 2. Teoretyczny model silnika elektrycznego z magnesami trwałymi

3. Dane techniczne pojazdu Sportowo-Rekreacyjnego UTV niezbędne do dalszych obliczeń trakcyjnych

Właściwości ruchowe samochodu można najlepiej scharakteryzować przedstawiając graficznie na wykresach trakcyjnych:

- zdolności samochodu do pokonywania oporów drogi i rozwijania określonych prędkości jazdy w ruchu ustalonym na poszczególnych biegach,
- osiągalne przyśpieszenia na poszczególnych biegach w funkcji prędkości jazdy.

Poniżej przedstawiono niezbędne dane techniczne pojazdu przyjęte w obliczeniach trakcyjnych. W tabeli 1 umieszczono wybrane wartości mocy i momentu zebrane z charakterystyki silnika elektrycznego.

Masa całkowita (z kierowcą +75kg):

$$m = 573\text{kg}$$

Ogumienie AT 25x10-12:

$$r_d = 0,3\text{m}$$

Powierzchnia czołowa:

$$A = 1,33\text{m}^2$$

Współczynnik oporu powietrza:

$$C_x = 0,7$$

Sprawność układu napędowego:

$$\eta_m = 0,9$$

Max. moc: $P_{\max} = 27\text{kW}$ przy 4200 rpm

Max. moment: $T_{\max} = 80\text{Nm}$ przy 200 rpm

Przełożenie High: $i_{cH} = 10,75$

Przełożenie Low: $i_{cL} = 27$

gdzie:

$$A = k \cdot h_c \cdot b_c = 0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,8 = 1,9\text{m}^2$$

$k = 0,8$ (współczynnik wypełnienia)

$h_c = 1,8$ m (wysokość pojazdu)

$b_c = 1,3$ m (szerokość pojazdu)

$r_d = 0,97 \cdot (H+r)$

H- wysokość opony

r - promień koła

$H = 270 \cdot 0,6 = 162\text{mm}$

$r = 152,4\text{mm}$

$r_d = 0,3\text{m}$ (promień dynamiczny koła ogumionego)

Tabela 1

n [obr/min]	200	600	1000	1800
P [W]	1687,8	5053,	8404,1	15054,1
T [N·m]	80,6	80,4	80,3	79,9
n [obr/min]	2600	3400	4200	5000
P [W]	21631,1	26618,15	27103,4	26842,1
T [N·m]	79,5	74,8	61,6	51,3
n [obr/min]	5800	6600	7400	7800
P [W]	26285,7	25472,7	24527,6	23969,7
T [N·m]	43,3	36,9	31,7	29,3

4. Wyniki obliczeń zebrane w tabelach

Wykres trakcyjny rys. 3 przedstawia zmianę siły napędowej na kołach w funkcji prędkości jazdy. Siła napędowa działająca na koła napędowe pojazdu zależy od wielkości momentu obrotowego silnika, wielkości przełożenia w układzie napędowym pojazdu oraz sprawności mechanicznej układu napędowego. Siła napędowa ulega zmianie, bo zmienia się moment obrotowy silnika, co wynika z jego charakterystyki. Wyniki obliczeń niezbędnych do sporządzenia wykresu trakcyjnego zawiera Tabela 2 i 3.

Tabela 2

n [obr/min]	200	600	1000	1800	
T [N·m]	80,6	80,4	80,3	80,1	
Bieg H	F_{nH} [N]	2599,4	2592,9	2589,7	2583,2
	V_H [km/h]	2,1	6,3	10,5	14,7
Bieg L	F_{nL} [N]	6528,6	6512,4	6504,3	6488,1
	V_L [km/h]	0,8	2,5	4,2	5,9

n [obr/min]		2600	3400	4200	5000
T [N·m]		79,5	74,8	61,6	51,3
Bieg H	F _{nH} [N]	2563,9	2412,3	1986,6	1654,4
	V _H [km/h]	27,4	35,8	44,2	52,7
Bieg L	F _{nL} [N]	6439,5	6058,8	4989,6	4155,3
	V _L [km/h]	10,9	14,3	17,6	21
n [obr/min]		5800	6600	7400	7800
T [N·m]		43,3	36,9	31,7	29,3
Bieg H	F _{nH} [N]	1396,4	1190	1022,3	944,9
	V _H [km/h]	61,1	69,5	77,9	82,1
Bieg L	F _{nL} [N]	3507,3	2988,9	2567,7	2373,3
	V _L [km/h]	24,3	27,7	31	32,7

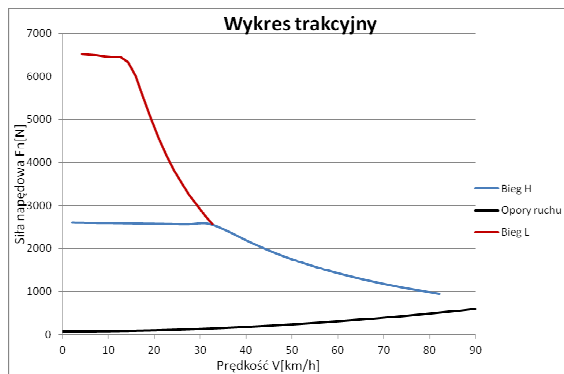
F_{nH,L}[N] - siła napędowa
V[km/h] - prędkość pojazdu

Tabela 3 przedstawia sumę oporów ruchu, tj. opór toczenia + opór powietrza. Suma oporów ruchu rośnie wraz z prędkością, z kolei siła napędowa maleje, gdzie w konsekwencji otrzymujemy maksymalne prędkości na poszczególnych przełożeniach.

Tabela 3

V [km/h]	F _t [N]	F _p [N]	F _{op} [N]
0	67,5	0	67,5
5	67,5	1,6	69,1
10	67,8	6,3	74,1
15	68,2	14,1	82,3
20	68,8	25	93,8
25	69,6	39,1	108,7
30	70,5	56,3	126,8
35	71,6	76,6	148,2
40	72,8	100	172,8
45	74,3	126,6	200,9
50	75,9	156,3	232,2
55	77,7	189,1	266,8
60	79,6	225	304,6
65	81,7	264,1	345,8
70	84	306,3	390,3
75	86,4	351,6	438
80	89	400,1	489,1
85	91,8	451,6	543,4
90	94,8	506,3	601,1

F_{op} - opory ruchu
F_t - opór toczenia
F_p - opór powietrza



Rys.3. Wykres trakcyjny pojazdu UTV

Wykres przyśpieszeń rys. 4 przedstawia przebieg przyśpieszenia pojazdu na poszczególnych przełożeniach (High i Low) w funkcji prędkości jazdy, przy wykorzystaniu pełnej mocy silnika. Obliczenia wykonano wg Tabeli 4 oraz Tab. 5.

Tabela 4

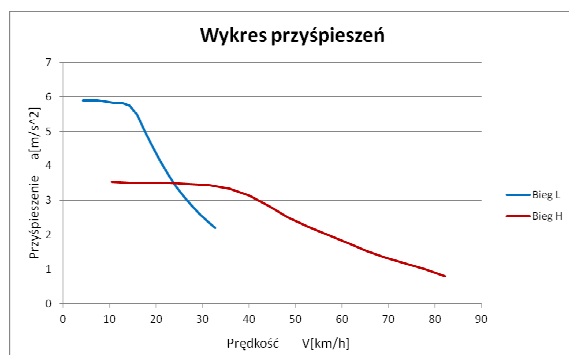
n [obr/min]		200	600	1000	1800
T [N·m]		80,6	80,4	80,3	79,9
Bieg H	F _{nH} [N]	2599,4	2592,9	2589,7	2576,9
	V _H [km/h]	2,1	6,3	10,5	19
	F _p [N]	0,3	2,5	6,9	22,6
	D	0,462	0,461	0,459	0,454
Bieg L	F _{nL} [N]	6528,6	6512,4	6504,3	6471,9
	V _L [km/h]	0,8	2,5	4,2	7,5
	F _p [N]	0	0,4	1,1	3,5
	D	1,161	1,158	1,157	1,151
n [obr/min]		2600	3400	4200	5000
T [N·m]		79,5	74,8	61,6	51,3
Bieg H	F _{nH} [N]	2563,9	2412,3	1986,6	1654,4
	V _H [km/h]	27,4	35,8	44,2	52,7
	F _p [N]	46,9	80,1	122,1	173,6
	D	0,448	0,415	0,332	0,263
Bieg L	F _{nL} [N]	6439,5	6058,8	4989,6	4155,3
	V _L [km/h]	10,9	14,3	17,6	21
	F _p [N]	7,4	12,8	19,4	27,6
	D	1,144	1,076	0,884	0,734
n [obr/min]		5800	6600	7400	7800
T [N·m]		43,3	36,9	31,7	29,3
Bieg H	F _{nH} [N]	1396,4	1190	1022,3	944,9
	V _H [km/h]	61,1	69,5	77,9	82,1
	F _p [N]	233,4	301,9	379,3	421,3
	D	0,207	0,158	0,114	0,093
Bieg L	F _{nL} [N]	3507,3	2988,9	2567,7	2373,3
	V _L [km/h]	24,3	27,7	31	32,7
	F _p [N]	36,9	48	60,1	66,8
	D	0,617	0,523	0,446	0,41

D - wskaźnik dynamiczny

Wskaźnik jest liczbą niemianowaną mniejszą od jedności, wyraża jednostkową siłę napędową na kołach po odliczeniu oporu powietrza, a więc taką, która może być użyta do pokonania jednostkowych oporów ruchu.

Tabela 5

n [obr/min]		200	600	1000	1800
T [N·m]		80,6	80,4	80,3	79,9
Bieg H	F _{nH} [N]	2599,4	2592,9	2589,7	2576,9
	V _H [km/h]	2,1	6,3	10,5	19
	a _H [m/s ²]	3,6	3,5	3,5	3,5
Bieg L	F _{nL} [N]	6528,6	6512,4	6504,3	6471,9
	V _L [km/h]	0,8	2,5	4,2	7,5
	a _L [m/s ²]	5,9	5,9	5,9	5,9
n [obr/min]		2600	3400	4200	5000
T [N·m]		79,5	74,8	61,6	51,3
Bieg H	F _{nH} [N]	2563,9	2412,3	1986,6	1654,4
	V _H [km/h]	27,4	35,8	44,2	52,7
	a _H [m/s ²]	3,4	3,2	2,5	2
Bieg L	F _{nL} [N]	6439,5	6058,8	4989,6	4155,3
	V _L [km/h]	10,9	14,3	17,6	21
	a _L [m/s ²]	5,8	5,5	4,5	3,7
n [obr/min]		5800	6600	7400	7800
T [N·m]		43,3	36,9	31,7	29,3
Bieg H	F _{nH} [N]	1396,4	1190	1022,3	944,9
	V _H [km/h]	61,1	69,5	77,9	82,1
	a _H [m/s ²]	1,5	1,2	0,8	0,6
Bieg L	F _{nL} [N]	3507,3	2988,9	2567,7	2373,3
	V _L [km/h]	24,3	27,7	31	32,7
	a _L [m/s ²]	3,1	2,6	2,2	2



Rys.4. Wykres przyspieszeń pojazdu UTV

5. Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych obliczeń na podstawie danych technicznych pojazdu Sportowo-Rekreacyjnego UTV oraz charakterystyki silnika elektrycznego z magnesami trwałymi otrzymano powyższe wykresy. Analizując wyniki przeprowadzonych obliczeń można stwierdzić, że przebiegi otrzymane w tabelach odpo-

wiadają wcześniejszym założeniom trakcyjnym w fazie koncepcyjnego projektowania silnika.

Prędkość maksymalna pojazdu o masie całkowitej na biegu Low wynosi około 32 km/h, z kolei na biegu High około 80 km/h. Przyspieszenie pojazdu o masie całkowitej na poszczególnych przełożeniach wynosi: na biegu Low maksymalne przyspieszenie wynosi ok. 5,9 m/s² i mieści się w zakresie obrotów od 200 do 3000 obr/min, dla biegu High jest to ok. 3,4 m/s² w tym samym zakresie obrotów.

W artykule następnym zostanie zestawiona charakterystyka silnika elektrycznego z magnesami trwałymi oraz seryjnego spalinowego o poj. 350cm³. Na ich podstawie zostaną sporządzone podobne obliczenia wraz z wykresami.

Literatura

- [1]. Arczyński S.: Mechanika ruchu samochodu. WNT, Warszawa 1993.
- [2]. Herner A. Riehl H.-J.: Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych. WKŁ, Warszawa 2004.
- [3]. Jaśkiewicz Z.: Obliczenia układów napędowych samochodu. Warszawa WKŁ 1972.
- [4]. Lanzerdoerfer J., Szczepaniak C.: Teoria ruchu samochodu. Warszawa, WKŁ 1983.
- [5]. Mitschke M.: Dynamika samochodu. T. 1. Napęd i hamowanie. Warszawa, WKŁ 1987.

Autorzy

mgr inż. Wojciech Radwański
w.radwanski@komel.katowice.pl
Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Maszyn Elektrycznych „KOMEL”
al. Roździeńskiego 188.
40-203 Katowice

mgr inż. Bartłomiej Będkowski
b.bedkowski@komel.katowice.pl
Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Maszyn Elektrycznych KOMEL
al. Roździeńskiego 188
40-203 Katowice