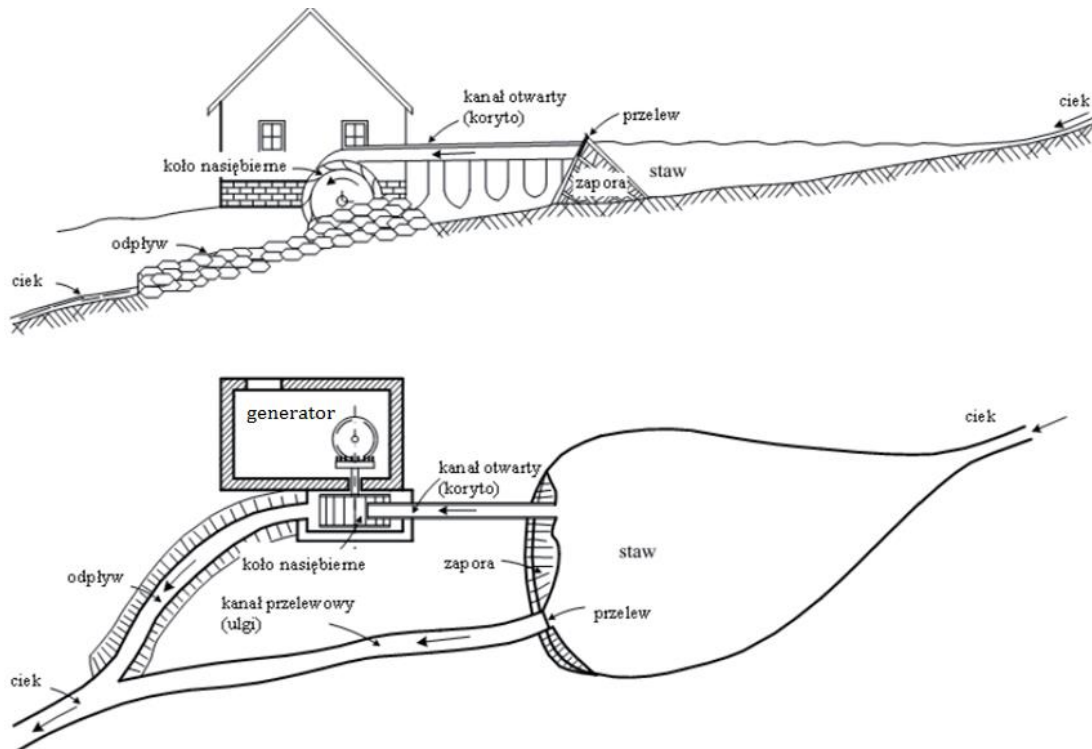


# Dobór generatora do małej elektrowni wodnej

## Zadania do wykonania

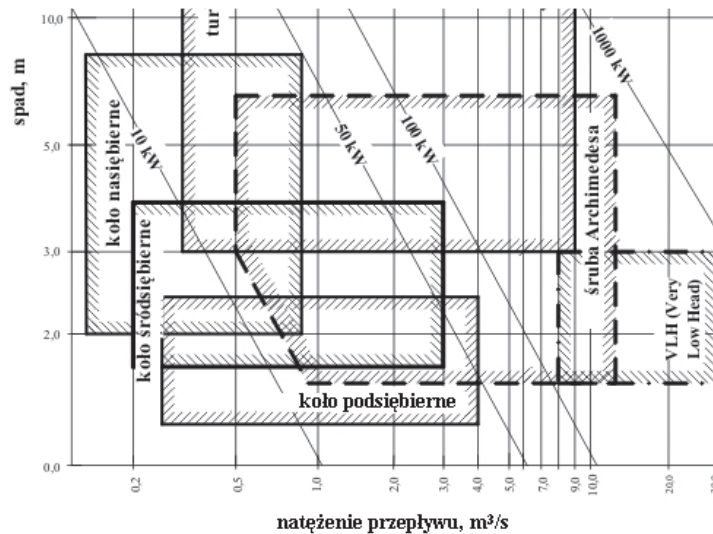
1. Policzyc kanały i rozmiary po stronie wodnej z rysunkiem koła wodnego nasiębiernego
2. Dobrac generator (założyć sprawność przekładni).
3. Na tej podstawie dobrac przekładnię planetarną lub zespół przekładni (pasowa/łańcuchowa i zębata) lub policzyc odpowiednie główne elementy składowe przekładni.



Rys.1. Przykładowy układ prowadzenia wody dla układu elektrowni z kołem wodnym nasiębiernym ze zbiornikiem wody górnej utworzonym przez zaporę.

## Założenia projektu

Dla istniejących warunków wodnych (spad i deklarowany przepływ) zaprojektować koło wodne **nasiębierne** wraz z systemem przekładni i generatorem.

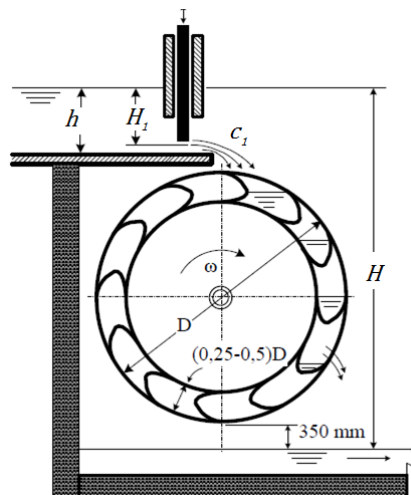


### Dane wejściowe:

- spadek netto w zakresie  $H = 2 \div 8$  m (podany przez prowadzącego)
- założony przepływ w zakresie  $Q = 0,05 \div 0,9$  m<sup>3</sup>/s (podany przez prowadzącego)
- koło wodne nasiębierne (oś pozioma)
- kanał doprowadzający wodę na koło: otwarty drewniany lub betonowy

## Obliczenia

Schemat działania koła nasiębiernego i oznaczenia do wzorów wyjaśnia poniższy rysunek.



Rys. 2. Nasiębierne koło wodne.

### Średnica koła

Średnica koła  $D$  wyliczana (rys. 2.) ze spadku minus spiętrzenie zasuwą  $h$  minus szczelina pod kołem  $h_{sz} = 0,35$  m czyli:

$$D = H - h - h_{sz}$$

## Prędkość obrotowa koła

Prędkość obrotowa (liczba obrotów w jednostce czasu) koła  $n_k$  powinna być tak dobrana by jego prędkość obwodowa  $u = \pi n_k D$  była zbliżona do prędkości wody na wylocie spod zasuw  $c_1$  i można ją oszacować ze związku empirycznego

$$n_k = \frac{21}{\sqrt{D/m}} \text{ min}^{-1}.$$

**Uwaga!** Symbol  $m$  we wzorze jest symbolem metra, czyli wyrażenie  $D/m$  oznacza liczbę równą średnicy wyrażonej w metrach.

## Wymiary kanału otwartego

Wyznaczyć wymiary  $B, h$  kanału otwartego dostarczającego wodę do zasuw przed kołem. Średnia prędkość przepływu w kanale otwartym o pochyleniu  $I$  wyraża się wzorem Manninga

$$c_w = \frac{1}{n_c} R_H^{2/3} I^{1/2}$$

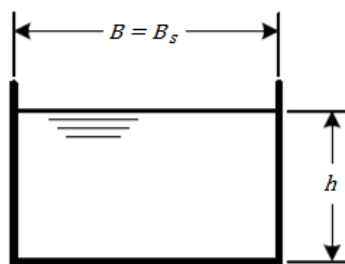
Gdzie:

$I = \Delta h / \Delta l$  — pochylenie kanału (spadek wysokości  $\Delta h$  na długości  $\Delta l$  kanału równy tangensowi kąta pochylenia) przyjmując wartości z zakresu 0,001 - 0,002

$n_c$  — współczynnik Manninga,  $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ .

Rodzaj kanału	Współczynnik Manninga $n$
Kanał wykopany w ziemi: żwir	0,022
Kanał wykopany w ziemi: zarośnięty	0,030
Kanał betonowy, dobrze wygładzony	0,012
Kanał betonowy, niewygładzony	0,014
Kanał z drewna struganego	0,012
Kanał o powierzchniach z z blachy falistej	0,022

$R_H = A/C$  — promień hydrauliczny ( $A$  pole przekroju strugi, a  $C$  obwód zwilżony). Dla kanału prostokątnego:  $A = Bh$  oraz  $C = B + 2h$ , zatem  $R_H = Bh/(B + 2h)$ .



Rys.3. Wymiary przekroju kanału doprowadzającego wodę do koła

Natężenie przepływu wody w kanale wnosi:

$$Q = c_w B h$$

Należy tak dobrać szerokość  $B_s$ , wysokość kanału  $h$  i spad  $I$  by minimalna prędkość wody  $c_w$  była większa od 0,3 m/s, co jest wymagane dla zapobieżenia osadzaniu się zawieszonoego w cieczy materiału.

## Przepływ wody pod zastawką

Prędkość wody  $c_1$  na wlocie na koło (rys. 2.) wynosi:

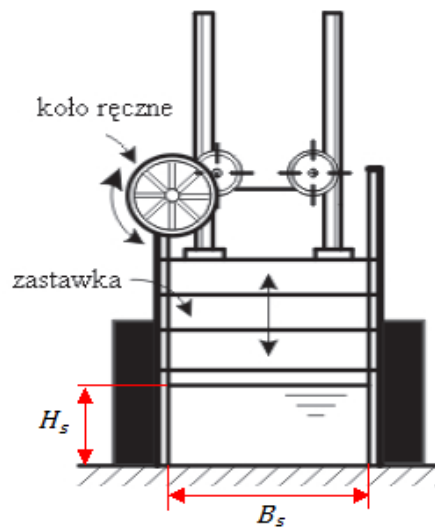
$$c_1 \approx \sqrt{2gH_1}$$

Gdzie  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  przyspieszenie ziemskie. Wartość  $H_1$  jest liczona do osi szczeliny zatem

$$H_1 = h - H_s/2$$

Dla celów obliczeniowych można wstępnie założyć  $H_1 = h/2$ . Wymiary szczeliny pod zasuwą:  $B_s$  – oraz  $H_s$  – wysokość. Z bilansu masy zakładając  $B = B_s$  (rys. 3 i 4) wynika, że

$$H_s = \frac{Q}{c_1 B_s}$$



Rys. 4. Wymiary szczeliny pod zastawką

## Geometria koła

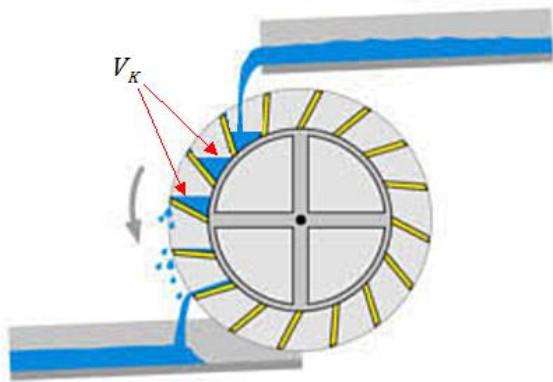
Średnica większa  $D$  i mniejsza  $D_w$ , ilość kieszeni  $K$ , szerokość koła  $B_k$ . Przyjmuje się

$$D_w \approx (0,5 \div 0,75) D$$

Szerokość koła jest to szerokość kanału powiększona o 0,35 m, czyli

$$B_k = B + 0,35 \text{ m}$$

W jednej kieszeni musi się zmieścić taka objętość  $V_k$  wody ile przepływa w czasie potrzebnym na obrót koła o kąt  $360^\circ/k$  i o takim kształcie, aby dopiero przy przejściu kieszeni do wysokości osi koła woda zaczęła się z niej wylewać.



Zatem:

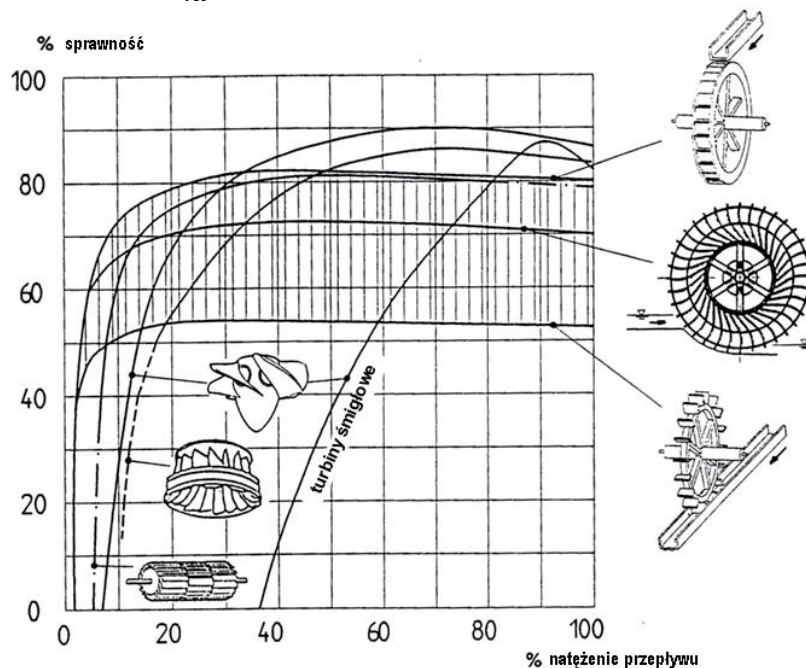
$$V_K = \frac{Q}{n_k K} = A_K B_k$$

Gdzie:  $A_K$  — powierzchnia przekroju kieszeni (pow. niebieskiego pola na rys. obok). Uwaga!  $Q$  oraz  $n_k$  należy wyrazić w spójnych jednostkach np. jeśli  $[n_k] = 1/\text{min}$ , to odpowiednio  $[Q] = \text{m}^3/\text{min}$ .

Z uwagi na wytrzymałość konstrukcji *zaleca się* by szerokość  $B_k$  koła wodnego spełniała warunek  $B_k < 0,625 D$ . Górną spotykaną granicą jest  $B_k = 2 D$ . Jeśli wartość ta ma być przekroczona, to standardowe belki i inne elementy konstrukcyjne należy przewymiarować pod względem wytrzymałości - tak, by przenieśli one ciężar i działające siły. W przypadku dużych natężeń przepływu prowadzących dużych szerokości  $B_k$  koła, sztywność konstrukcji można poprawić wstawiając pierścienie wzmacniające wzdłuż jego szerokości.

## Moc koła

Zakładamy sprawność koła na  $\eta_k = 75\%$ .



Rys. 5. Sprawności  $\eta_k$  kół w zależności od obciążenia

Moc dostępna na wale koła wodnego

$$P_k = Q \rho g H \eta_k$$

Gdzie  $\rho$  — gęstość wody, przyjmij  $1000 \text{ kg/m}^3$ .

## Dobór generatora

Przyjmij generator 4 biegunowy asynchroniczny o prędkości nominalnej  $n_s = 1500 \text{ obr/min}$  rzeczywista prędkość obrotowa  $n_w$  w czasie pracy generatorowej jest większa o wartość poślizgu  $s$ .

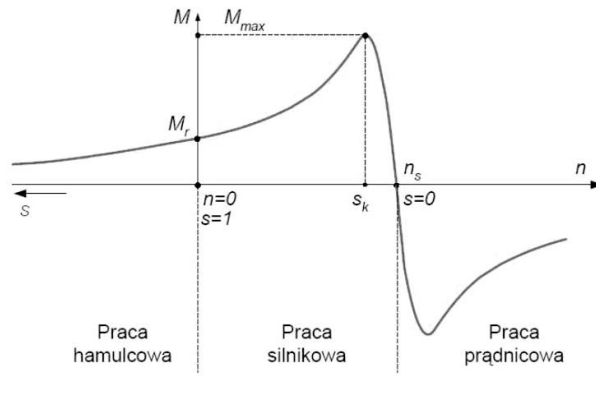
$$n_W = n_S \cdot (1 + s)$$

Jako generator zastosować silnik asynchroniczny trójfazowy, którego poślizg  $s$  w reżimie pracy prądnicowej ma wartość ujemną taką samą co do bezwzględnej wartości jak podczas pracy silnikowej.

Poślizg ten oblicza się z na podstawie danych katalogowych ze wzoru

$$s = 1 - \frac{n_{\text{katalog}}}{n_S}$$

Gdzie:  $n_{\text{katalog}}$  odczytana z katalogu prędkość obrotowa (3 kolumna w tabelach podanych dalej) dla wybranej mocy silnika.



Rys.6. Reżimy pracy silnika asynchronicznego

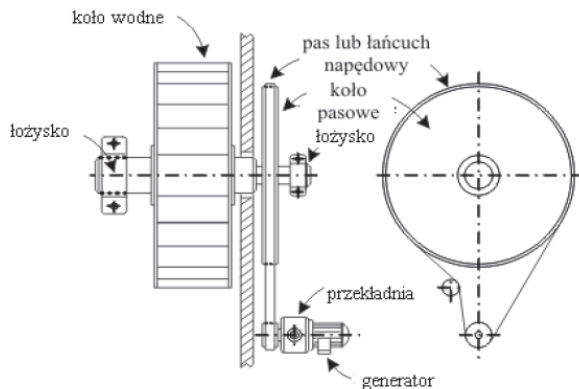
Konieczna moc  $P_G$  generatora to moc koła  $P_k$  pomniejszona o straty wynikające z zastosowania przekładni, czyli

$$P_G = \eta_{\text{prz}} P_k$$

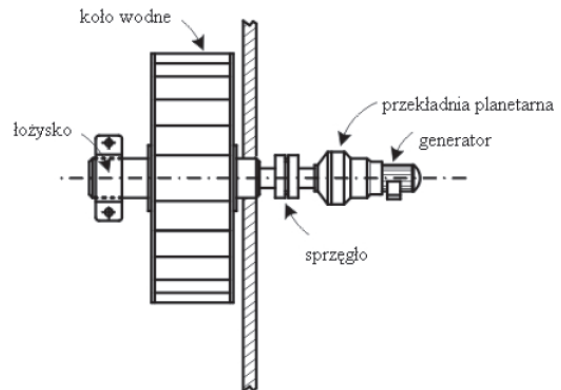
Gdzie  $\eta_{\text{prz}}$  sprawność zespołu przekładni.

## Przekładnia

Koło musi być sprzężone z generatorem, ale z uwagi na niską prędkość obrotową koła  $n_k = 9 \div 20$  obr/min nie można tego zrobić bezpośrednio. Potrzeba albo jednej przekładni planetarnej rys.8. albo układu przekładnia pasowa i przekładnia zębata rys.7.



Rys. 7. Układ przekładni



Rys. 8. Przekładnia planetarna

Dobrać przekładnię planetarną lub układ przekładni wyznaczając przełożenia, na podstawie wymaganego przełożenia  $n_k : n_w$ .

## Silniki asynchroniczne – wyciągi z katalogów

### MS - Silniki trójfazowe ogólnego przeznaczenia – obudowa aluminiowa. IP55

**T Dane techniczne** 2p=4, 50 Hz, ns=1500 obr/min

Typ	Moc kW	Obroty 1/min	Prąd 400V A	Klasa spraw- ności -	Sprawność[%] przy obciążeniu			Współ. mocy -	Moment znamio- nowy Nm	Krotność			Hałas LwA dB	Masa kg
					50%	75%	100%			lr	Mr	Mk		
					mocy znamionowej					-	-	-		
MS 56 1-4	0,06	1360	0,35	IE1	38,6	46,6	50	0,56	0,42	4,0	2,3	2,4	50	2,9
MS 56 2-4	0,09	1360	0,45	IE1	40,9	48,8	52	0,59	0,63	4,0	2,3	2,4	50	3,2
MS 56 3-4	0,12	1360	0,55	IE1	45	50,8	52	0,63	0,84	4,0	2,3	2,4	50	3,4
MS 63 1-4	0,12	1360	0,55	IE1	40	48,4	52	0,64	0,84	4,0	2,2	2,4	52	3,7
MS 63 2-4	0,18	1310	0,70	IE1	48,9	55,6	57	0,65	1,31	4,0	2,2	2,4	52	4,2
MS 63 3-4	0,25	1340	0,91	IE1	53,2	59,7	60	0,66	1,78	4,0	2,2	2,2	54	5,0
MS 71 1-4	0,25	1350	0,85	IE1	50,2	57,7	60	0,72	1,77	6,0	2,2	2,4	55	5,0
MS 71 2-4	0,37	1370	1,11	IE1	57,3	63,4	65	0,74	2,58	6,0	2,2	2,4	55	5,8
MS 71 3-4	0,55	1380	1,60	IE1	62,4	67,1	66	0,75	3,81	6,0	2,2	2,4	57	6,5
MS 80 1-4	0,55	1370	1,58	IE1	59,6	65,4	67	0,75	3,83	6,0	2,2	2,4	58	8,1
MS2 80 2-4	0,75	1410	1,79	IE2	78,4	81	79,6	0,76	5,08	5,3	2,8	3,0	58	11,1
MS2 90S-4	1,1	1420	2,50	IE2	80,1	82,3	81,4	0,78	7,40	6,7	2,6	3,8	61	13,8
MS2 90L-4	1,5	1420	3,31	IE2	82,7	84,2	82,8	0,79	10,10	7,2	2,7	4,0	61	16,9
MS2 100L1-4	2,2	1440	4,83	IE2	84,8	85,8	84,3	0,78	14,60	7,4	3,6	3,6	64	22,4
MS2 100L2-4	3,0	1440	6,33	IE2	85,3	86,5	85,5	0,80	19,90	7,8	3,5	3,8	64	26,4
MS2 112M-4	4,0	1440	8,23	IE2	87,4	88,2	86,6	0,81	26,53	7,1	2,9	3,1	65	32,3
MS2 132S-4	5,5	1450	10,90	IE2	87,4	88,5	87,9	0,83	36,22	7,4	2,6	2,7	71	43,0
MS2 132M-4	7,5	1450	14,50	IE2	88,6	89,3	88,7	0,84	49,40	7,7	2,7	2,8	71	52,6
MS2 160M-4	11	1450	21,60	IE2	90	90,4	89,8	0,82	72,45	7,7	2,7	3,1	75	81,5
MS2 160L-4	15	1450	28,40	IE2	90,3	90,9	90,6	0,84	98,80	7,3	2,4	2,6	75	103,5
MS2 180M-4	18,5	1460	34,40	IE2	91,3	91,8	91,4	0,85	121,00	7,4	2,2	3,2	80	119,0
MS2 180L-4	22	1460	40,30	IE2	91,9	92,3	91,7	0,86	143,90	7,5	2,3	3,2	80	129,0
MS2 200L-4	30	1470	55,20	IE2	92	92,6	92,3	0,86	194,90	7,6	2,8	3,1	83	159,0

### Y3 - Silniki trójfazowe ogólnego przeznaczenia – obudowa aluminiowa. IP55

**T Dane techniczne** 2p=4, 50 Hz, ns=1500 obr/min

Typ	Moc kW	Obroty 1/min	Prąd 400V A	Klasa spraw- ności -	Sprawność[%] przy obciążeniu			Współ. mocy -	Moment znamio- nowy Nm	Krotność			Hałas LwA dB	Masa kg
					50%	75%	100%			lr	Mr	Mk		
					mocy znamionowej					-	-	-		
YX3 160M-4	11	1460	20,5	IE2	90,2	90,5	91,0	0,85	72,0	7,5	2,3	2,6	73	135
YX3 160L-4	15	1460	27,4	IE2	90,6	90,9	91,8	0,86	98,1	7,5	2,2	2,4	73	156
YX3 180M-4	18,5	1470	33,7	IE2	92,0	92,3	92,2	0,86	120,2	7,7	2,4	2,7	76	203
YX3 180L-4	22	1475	39,9	IE2	92,5	92,6	92,6	0,86	142,4	7,8	2,2	2,5	76	218
YX3 200L-4	30	1475	54,0	IE2	92,4	92,9	93,2	0,86	194,2	7,2	2,2	2,5	76	275
YX3 225S-4	37	1480	66,3	IE2	93,1	93,3	93,6	0,86	238,8	7,3	2,2	2,6	78	328
YX3 225M-4	45	1480	80,4	IE2	93,5	93,7	93,9	0,86	290,4	7,4	2,2	2,4	78	355
YX3 250M-4	55	1480	98,0	IE2	93,7	94,0	94,2	0,86	354,9	7,4	2,2	2,7	79	473
YX3 280S-4	75	1480	129,9	IE2	94,0	94,3	94,7	0,88	484,0	6,7	2,3	2,5	80	596
YX3 280M-4	90	1480	155,4	IE2	94,3	95,0	95,0	0,88	580,7	6,9	2,3	2,5	80	713
YX3 315S-4	110	1480	189,1	IE2	91,5	95,4	95,4	0,88	709,8	6,9	2,2	2,6	88	1012
YX3 315M-4	132	1480	227,0	IE2	91,5	95,2	95,4	0,88	851,8	6,9	2,3	2,7	88	1147
YX3 315L1-4	160	1480	272,0	IE2	92,3	94,7	95,4	0,89	1032,4	6,9	2,2	2,6	88	1224
YX3 315L2-4	200	1485	340,0	IE2	92,4	94,9	95,4	0,89	1286,2	6,9	2,3	2,4	88	1331
YX3 355M-4	250	1490	418,5	IE2	94,0	95,1	95,8	0,90	1602,3	6,9	2,2	2,4	95	1650
YX3 355L-4	315	1490	527,3	IE2	94,6	95,3	95,8	0,90	2019,0	6,9	2,2	2,3	95	1804

**Źródła:**

<https://e-silniki.eu/katalog-silnikow-elektrycznych,46.html>

<http://www.tamel.pl/pdf/katalogi/polskie/4Sg-IE2.pdf>

[http://www.promotorpolska.com/download/promotor\\_katalog\\_silniki.pdf](http://www.promotorpolska.com/download/promotor_katalog_silniki.pdf)

<https://www.powergate.pl/uploads/file/ceg-silniki-asynchroniczne-trojfazowe.pdf>