

Rozdział 12

Przykłady sieci stwierdzeń przeznaczonych do wspomagania początkowej fazy procesu projektowania układów napędowych

Sebastian RZYDZIK

W rozdziale przedstawiono zastosowanie sieci stwierdzeń do wspomagania projektowania układów napędowych. Przez fazę początkową rozumie się wstępny projekt układu napędowego, tj. silnik elektryczny (wraz z odpowiednim sterowaniem), sprzęgło oraz przekładnię mechaniczną, w którym nie wymaga się zastosowania dokładnych typów i modeli podzespołów składowych, tylko ich rodzaj oraz ich podstawowe własności opisane wartościami jakościowymi.

12.1. Wybrane podejścia do projektowania układów napędowych

Przed przystąpieniem do budowy sieci stwierdzeń, wyróżniono cztery podejścia do projektowania układów napędowych. Każde podejście pozwala rozpatrywać problem wspomagania początkowej fazy procesu projektowania układów napędowych w różnym kontekście, w zależności od zadanej liczby i rodzajów parametrów wejściowych.

12.1.1. Standardowa metoda doboru elementów napędu

Pierwsze podejście nazwano „Standardowa metoda doboru elementów napędu” ze względu na rodzaj danych wejściowych, które używa się w przypadku standardowego doboru elementów napędu. Jako stwierdzenia wejściowe do sieci stwierdzeń wyróżniono:

moc MOC {L,M,H}

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L,M,H}

odl ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI {L,M,H}

Wartości ujęte w nawiasach klamrowych oznaczają:

L niska (Low)

M średnia (Medium)

H wysoka (Height)

12.1.2. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie położeniem kątowym

Drugie podejście rozpatruje problem doboru elementów układu napędowego ze względu na precyzyjne sterowanie położeniem kątowym. Jako stwierdzenia wejściowe do sieci stwierdzeń wyróżniono:

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L,M,H}

rpol REGULACJA POŁOŻENIA {Y,N}

odl ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI {L,M,H}

Wartości ujęte w nawiasach klamrowych oznaczają:

Y tak (Yes)

N nie (No)

L niska (Low)

M średnia (Medium)

H wysoka (Height)

12.1.3. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie prędkością kątową

Trzecie podejście rozpatruje problem doboru elementów układu napędowego ze względu na precyzyjne sterowanie prędkością kątową. Jako stwierdzenia wejściowe do sieci stwierdzeń wyróżniono:

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L,M,H}

rpred REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ {Y,N}

odl ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI {L,M,H}

Wartości ujęte w nawiasach klamrowych oznaczają:

Y tak (Yes)

N nie (No)

L niska (Low)

M średnia (Medium)

H wysoka (Height)

12.1.4. Dobór elementów napędu ze względu na bezpieczeństwo użytkownika

Czwarte podejście rozpatruje problem doboru elementów układu napędowego ze względu na bezpieczeństwo jego użytkownika. Jako stwierdzenia wejściowe do sieci stwierdzeń wyróżniono:

bezp BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA {Y,N}

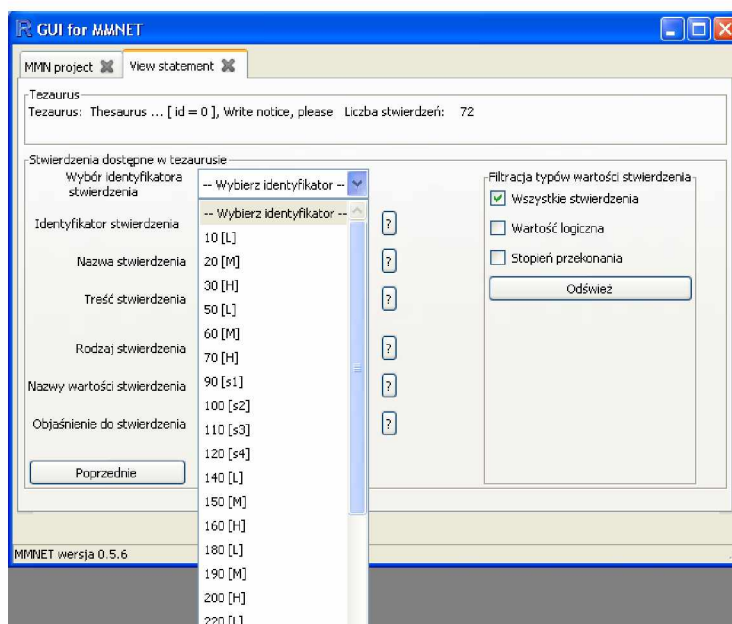
Wartości ujęte w nawiasach klamrowych oznaczają:

Y tak (Yes)

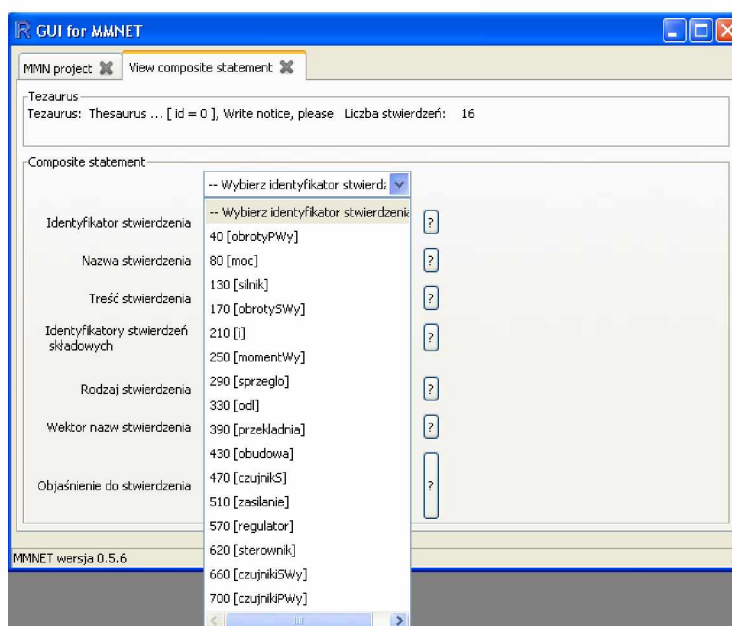
N nie (No)

12.2. Lista stwierdzeń

W tym punkcie przedstawiono listę stwierdzeń, z których budowano poszczególne sieci stwierdzeń dla metod doboru elementów układu napędowego przedstawionych we wcześniejszych punktach. Na podstawie listy stwierdzeń utworzono słownik stwierdzeń (tezaurus) z użyciem pakietu MMNET. Zdefiniowano 72 stwierdzenia proste (rys. 12.1), z czego część z tych stwierdzeń utworzyła 16 stwierdzeń złożonych (rys. 12.2).



Rys. 12.1: Pakiet MMNET. Stwierdzenia proste



Rys. 12.2: Pakiet MMNET. Stwierdzenia złożone

Stwierdzenia przyjęto oznaczać w następujący sposób:

id:NAZWA - identyfikator stwierdzenia nadany przez pakiet MMNET [nazwa skrócona]:NAZWA STWIERDZENIA

x{.}:wartość_x - identyfikator wartości stwierdzenia (identyfikator składa się z identyfikatora stwierdzenia i kolejnej wartości liczby porządkowej):nazwa wartości stwierdzenia o identyfikatorze x

80 [moc]: MOC

P1: L

P2: M

P3: H

250 [momentWy]: MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

M1: L

M2: M

M3: H

40 [obrotyPWy]: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

wp1: L

wp2: M

wp3: H

170 [obrotySWy]: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU SILNIKA

ws1: L

ws2: M

ws3: H

210 [i]: PRZEŁOŻENIE

i1: L

i2: M

i3: H

330 [odl]: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI

l1: L

l2: M

l3: H

710 [rpol]: REGULACJA POŁOŻENIA

rpol1: Y

rpol2: N

720 [rpred]: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ

rpred1: Y

rpred2: N

510 [zasilanie]: ZASILANIE

z1: napięcie stałe

z2: napięcie zmienne niskie

z3: napięcie zmienne wysokie

620 [sterownik]: STEROWNIK

st1: sterownik silnika prądu stałego

st2: falownik

st3: sterownik silnika krokowego

st4: brak sterownika

570 [regulator]: REGULATOR

reg1: położenia

reg2: prędkości obrotowej

reg3: brak regulatora

130 [silnik]: SILNIK

s1: 1-fazowy

s2: prądu stałego

s3: asynchroniczny 3-fazowy

s4: krokowy

470 [czujnikS]: CZUJNIKI SILNIKA

cs1: przeciążeniowy

cs2: przeciwprzepięciowy

cs3: brak czujnika

660 [czujnikiSWy]: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM SILNIKA

csw1: czujnik położenia

csw2: czujnik prędkości kątowej

csw3: brak czujnika

290 [sprzęgło]: SPRZĘGŁO (pomiędzy silnikiem a przekładnią)

sp1: niepodatne skrętne

sp2: podatne skrętne

sp3: przeciążeniowe

390 [przekładnia]: PRZEKŁADNIA

p1: przekładnia cięgnowa z pasami klinowymi

p2: przekładnia cięgnowa z pasami synchronicznymi

p3: przekładnia zębata

p4: przekładnia planetarna

p5: przekładnia ślimakowa

700 [czujnikiPWy]: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM PRZEKŁADNI

cpw1: czujnik położenia

cpw2: czujnik prędkości kątowej

cpw3: brak czujnika

430 [obudowa]: OBUDOWA

o1: osłona

o2: korpus uszczelniony

o3: brak obudowy

530 [smarowanie]: SMAROWANIE OLEJEM

smar1: Y

smar2: N

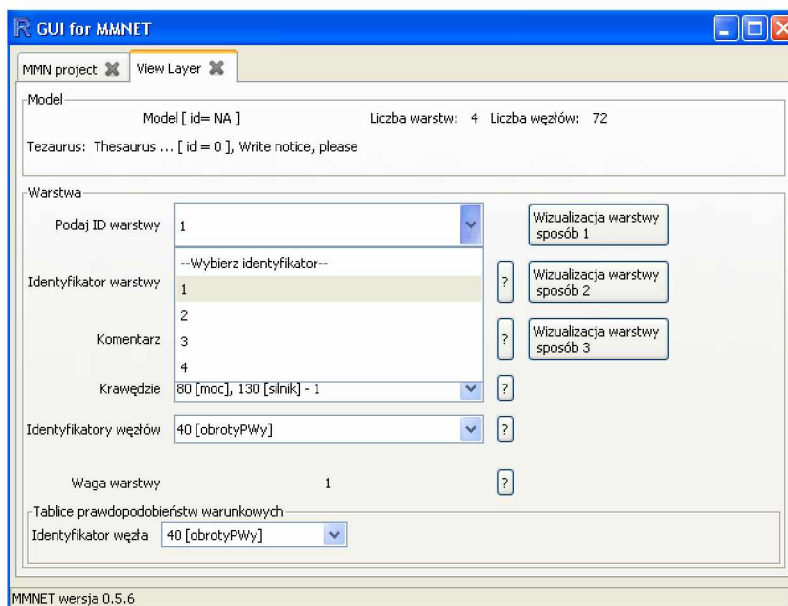
520 [bezp]: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA

bezp1: Y

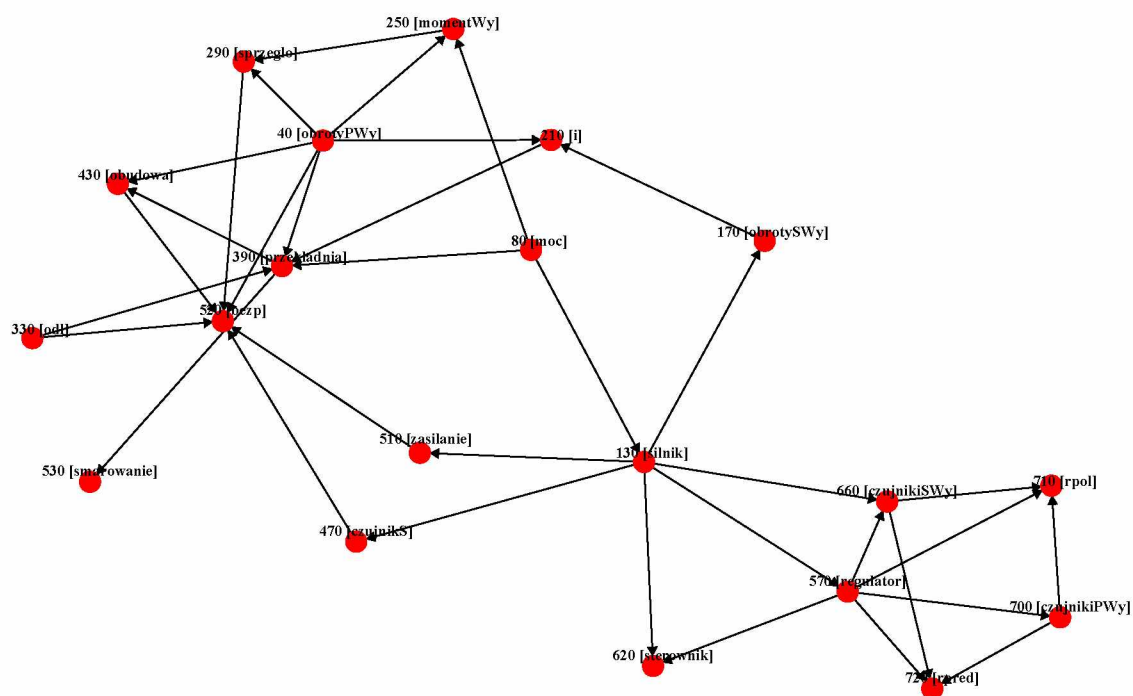
bezp2: N

12.3. Postacie opracowanych sieci stwierżeń

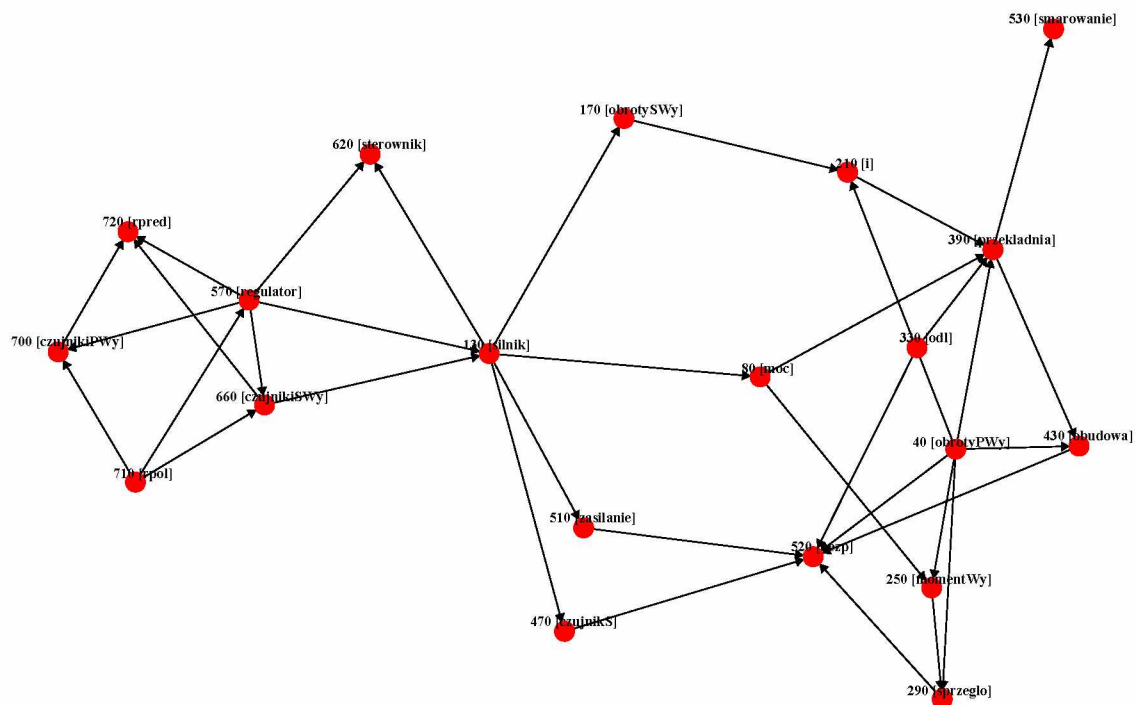
Opracowany słownik stwierżeń pozwolił na utworzenie czterech sieci stwierżeń, z których każda pokazuje odmienne podejście do procesu projektowania układów napędowych. Wszystkie sieci utworzono za pomocą pakietu MMNET jako jeden model, w którym każda warstwa odpowiada jednej sieci stwierżeń (rys. 12.3). Na rys. 12.4 pokazano sieć stwierżeń w przypadku standardowej metody doboru elementów napędu (warstwa nr 1), na rys. 12.5 pokazano przykład sieci do doboru elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie położeniem kątowym (warstwa nr 2), na rys. 12.6 pokazano przykład sieci do doboru elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie prędkością kątową (warstwa nr 3), a na rys. 12.7 pokazano postać sieci, która pozwala dobrać elementy układu napędowego ze względu na bezpieczeństwo jego użytkowania (warstwa nr 4). Wartości prawdopodobieństw warunkowych przypisane do stwierżeń były dobierane zgodnie z ogólnie przyjętymi metodami projektowania i konstruowania układów napędowych [12.1] [12.2] [12.3].



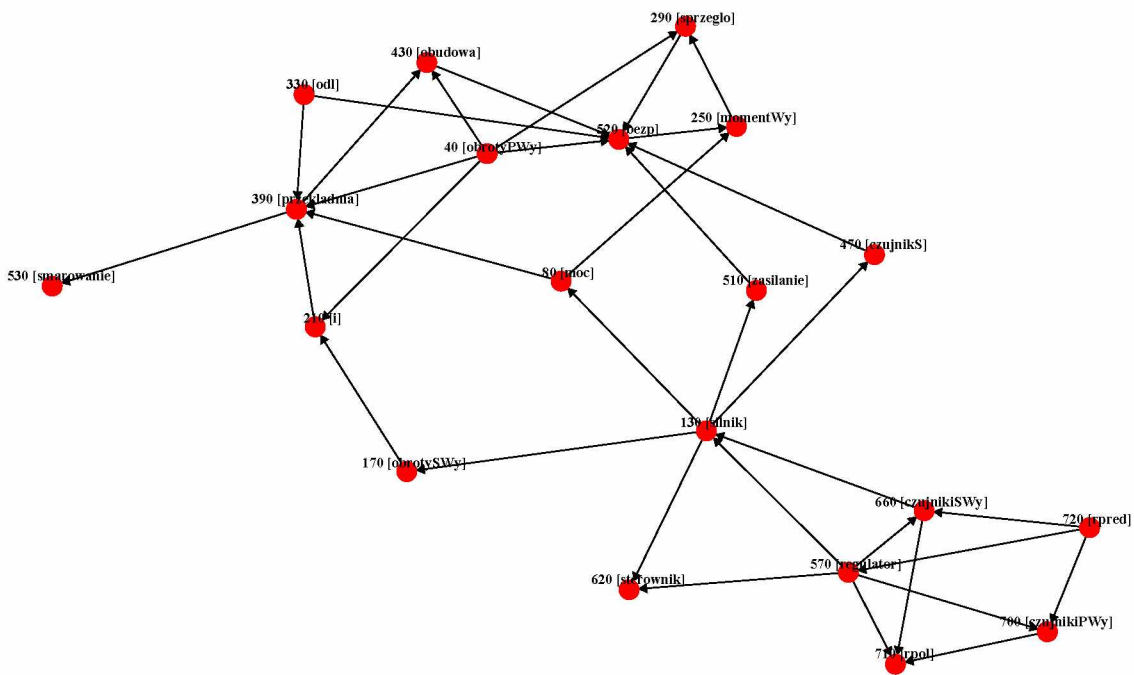
Rys. 12.3: Pakiet MMNET. Model wielowarstwowy



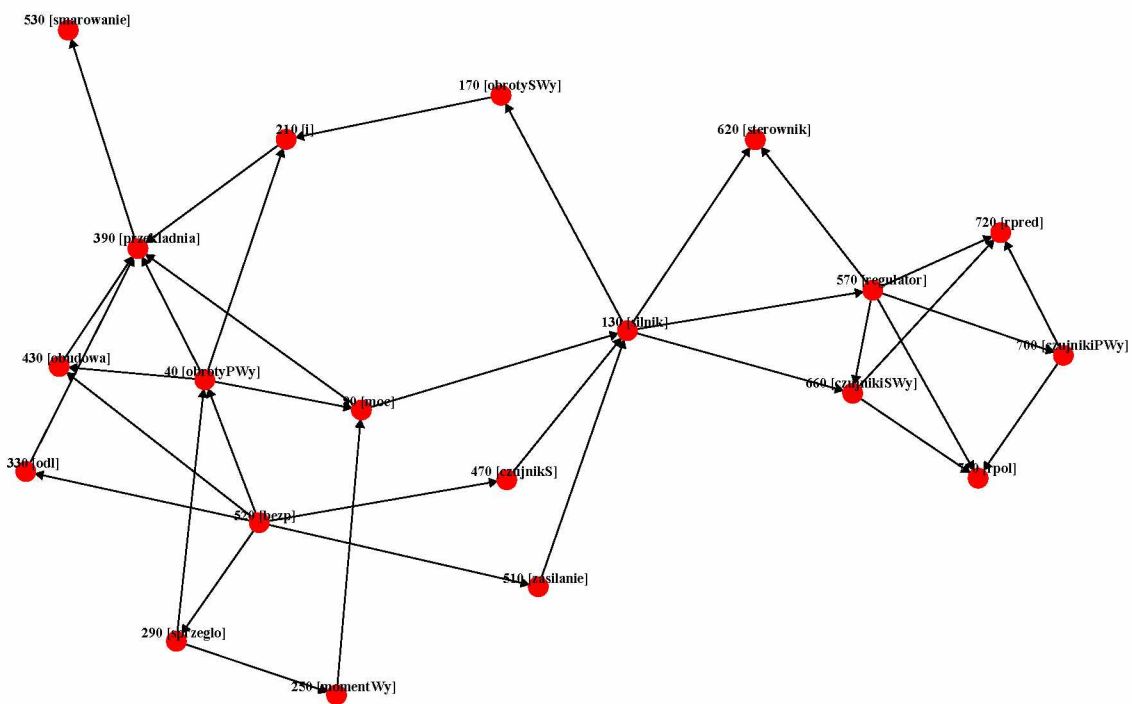
Rys. 12.4: Podejście 1. Standardowa metoda doboru elementów napędu



Rys. 12.5: Podejście 2. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie położeniem kątowym



Rys. 12.6: Podejście 3. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie prędkością kątową



Rys. 12.7: Podejście 4. Dobór elementów napędu ze względu na bezpieczeństwo użytkownika

12.4. Przykłady użycia

12.4.1. Standardowa metoda doboru elementów napędu

W tab. 12.1 i w tab. 12.2 pokazano wyniki testów jakie przeprowadzono dla sieci opracowanej dla podejścia 1.

Tab. 12.1: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 1. (opis w tekście)

Lp.	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
	moc	obrotyPWy	odl	momentWy	obrotySWy	i (przełożenie)	przekładnia	silnik
1	L:100	L:100	L:100	L:100	L:46.7 M:43.3 H:10.0	L:15.6 M:58.9 H:25.6	p1:22.3 p2:22.3 p3:34.9 p4:10.2 p5:10.2	s1:33.3 s2:33.3 s3:0.0 s4:33.3
2	L:100	M:100	L:100	L:30 M:70	L:46.7 M:43.3 H:10.0	L:14.4 M:71.1 H:14.4	p1:17.8 p2:17.8 p3:61.4 p4:1.44 p5:1.44	s1:33.3 s2:33.3 s3:0.0 s4:33.3
3	L:100	H:100	L:100	M:80 H:20	L:46.7 M:43.3 H:10.0	L:3.33 M:46.7 H:50	p1:5.33 p2:5.33 p3:89.3 p4:0.0 p5:0.0	s1:33.3 s2:33.3 s3:0.0 s4:33.3
4	M:100	L:100	L:100	L:30 M:70	L:36 M:40.5 H:23.5	L:12 M:52.5 H:35.5	p1:19.4 p2:19.4 p3:32.9 p4:14.2 p5:14.2	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20
5	M:100	M:100	L:100	M:100	L:36 M:40.5 H:23.5	L:13.5 M:73 H:13.5	p1:18 p2:18 p3:61.3 p4:1.35 p5:1.35	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20
6	M:100	H:100	L:100	M:60 H:40	L:36 M:40.5 H:23.5	L:7.83 M:48.3 H:43.8	p1:6.4 p2:6.4 p3:87.2 p4:0 p5:0	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20
7	H:100	L:100	L:100	M:80 H:20	L:12 M:26 H:62	L:4 M:30 H:66	p1:1.7 p2:5.1 p3:33.8 p4:29.7 p5:29.7	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0
8	H:100	M:100	L:100	M:60 H:40	L:12 M:26 H:62	L:8.67 M:82.7 H:8.67	p1:2.74 p2:6.39 p3:84.8 p4:3.03 p5:3.03	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0
9	H:100	H:100	L:100	H:100	L:12 M:26 H:62	L:20.7 M:46.7 H:32.7	p1:0 p2:0 p3:100 p4:0 p5:0	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0
10	M:100	L:100	M:100	L:30 M:70	L:36 M:40.5 H:23.5	L:12 M:52.5 H:35.5	p1:25.2 p2:25.2 p3:46.1 p4:1.78 p5:1.78	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20

Tab. 12.2: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 1. (opis w tekście, ciąg dalszy tab. 12.1)

Lp.	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
	moc	obrotyPWy	odl	momentWy	obrotySWy	i (przełożenie)	przekładnia	silnik
11	M:100	M:100	M:100	M:100	L:36 M:40.5 H:23.5	L:13.5 M:73 H:13.5	p1:29.6 p2:29.6 p3:40.3 p4:0.27 p5:0.27	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20
12	M:100	H:100	M:100	M:60 H:40	L:36 M:40.5 H:23.5	L:7.83 M:48.3 H:43.8	p1:14 p2:14 p3:71.9 p4:0 p5:0	s1:25 s2:35 s3:20 s4:20
13	H:100	L:100	H:100	M:80 H:20	L:12 M:26 H:62	L:4 M:30 H:66	p1:30.5 p2:47.5 p3:22 p4:0 p5:0	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0
14	H:100	M:100	H:100	M:60 H:40	L:12 M:26 H:62	L:8.67 M:82.7 H:8.67	p1:21.2 p2:76 p3:2.89 p4:0 p5:0	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0
15	H:100	H:100	H:100	H:100	L:12 M:26 H:62	L:20.7 M:46.7 H:32.7	p1:17.6 p2:71.5 p3:10.9 p4:0 p5:0	s1:0 s2:20 s3:80 s4:0

Rozpatrzmy dwa przykłady.

Przykład 1

Przykład dotyczy wiersza nr 1 w tab. 12.1. Ustalono wartości stwierdzeń wejściowych jako:

moc MOC {L=100,M=0,H=0}

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L=100,M=0,H=0}

odl ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI {L=100,M=0,H=0}

Stwierdzenia wyjściowe (obserwowane) uzyskały następujące wartości:

momentWy MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L=100,M=0,H=0}

obrotySWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU SILNIKA {L=46.7,M=43.3,H=10}

i PRZEŁOŻENIE {L=15.6,M=58.9,H=25.6}

przekładnia PRZEKŁADNIA {p1:22.3, p2:22.3, p3:34.9, p4:10.2, p5:10.2}

silnik SILNIK {s1:33.3, s2:33.3, s3:0.0, s4:33.3}

Moc przekładni wiąże się z wyborem rodzaju silnika. W tym przykładzie sieć wskazała trzy rodzaje silników jakie mogą zostać użyte, czyli s1: 1-fazowy, s2: prądu stałego, s4: krokowy. Rodzaj silnika ma wpływ na stwierdzenie „obrotySWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU SILNIKA”. Uzyskane wyniki wskazują, że prędkość kątowa na wyjściu silnika jest niska (L:46.7) lub wysoka (H:43.3). Prędkość kątowa na wyjściu przekładni i prędkość kątowa na wejściu przekładni (prędkość kątowa na wyjściu silnika) mają wpływ na przełożenie „i: PRZEŁOŻENIE”.

Uzyskane wyniki wskazują, że przełożenie jest na poziomie średnim (M:58.9) lub, w mniejszym stopniu, na poziomie wysokim (H=25.6). Ostatecznie, otrzymane wartości stwierdzeń, a w tym ustalona wartość stwierdzenia „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, wskazują, że najlepszą przekładnią będzie przekładnia p3: przekładnia zębata (wartość 34.9) lub p1: przekładnia cięgnowa z pasami klinowymi (wartość 22.3), lub p2: przekładnia cięgnowa z pasami synchronicznymi (wartość 22.3).

Otrzymane wyniki wskazują, że zbudowana sieć działa prawidłowo.

Przykład 2

Przykład dotyczy wiersza nr 14 w tab. 12.2. Ustalono wartości stwierdzeń wejściowych jako:

moc MOC {L=0,M=0,H=100}

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L=0,M=100,H=0}

odl ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI {L=0,M=0,H=100}

Stwierdzenia wyjściowe (obserwowane) uzyskały następujące wartości:

momentWy MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI {L=0,M=60,H=40}

obrotySWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU SILNIKA {L=12,M=26,H=62}

i PRZEŁOŻENIE {L=8.67,M=82.7,H=8.67}

przekładnia PRZEKŁADNIA {p1:21.2, p2:76, p3:2.89, p4:0, p5:0}

silnik SILNIK {s1:0, s2:20, s3:80.0, s4:0}

Dla ustalonych wartości stwierdzeń wejściowych, sieć wskazała dwa rodzaje silników jakie mogą zostać użyte, czyli s2: prądu stałego lub s3: asynchroniczny 3-fazowy. Rodzaj silnika ma wpływ na stwierdzenie „obrotySWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU SILNIKA”. Uzyskane wyniki określają, że prędkość kątowa na wyjściu silnika jest wysoka (H:62) lub, w mniejszym stopniu, średnia (M:26). Prędkość kątowa na wyjściu przekładni i prędkość kątowa na wejściu przekładni (prędkość kątowa na wyjściu silnika) mają wpływ na przełożenie „i: PRZEŁOŻENIE”. Uzyskane wyniki wskazują, że przełożenie jest na poziomie zdecydowanie średnim (M:82.7). Ostatecznie, otrzymane wartości stwierdzeń, a w tym ustalona wartość stwierdzenia „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, wskazują, że najlepszą przekładnią będzie przekładnia p2: przekładnia cięgnowa z pasami synchronicznymi (wartość 76) lub, w mniejszym stopniu, przekładnia p1: przekładnia cięgnowa z pasami klinowymi (wartość 21.2).

Otrzymane wyniki wskazują, że zbudowana sieć działa prawidłowo.

12.4.2. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie położeniem kątowym

W tab. 12.3 i w tab. 12.4 pokazano wyniki testów jakie przeprowadzono dla sieci opracowanej dla podejścia 2. Rozpatrzmy cztery przykłady.

Tab. 12.3: Lista wartości wybranych stwierżeń dla sieci utworzonej dla podejścia 2. (opis w tekście)

Lp.	Stwierzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierzenia wyjściowe (obserwowane)				
	rpol (regulacja położenia)	obrotyPWy	odl	momentWy	przekładnia	moc	silnik	sterownik
1	Y:100	L:100	L:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:13.6 p2:15.3 p3:36.4 p4:17.4 p5:17.4	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
2	Y:100	L:100	M:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:19.7 p2:21.4 p3:54.9 p4:2.03 p5:2.03	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
3	Y:100	L:100	H:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:37.2 p2:45.6 p3:17.3 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
4	Y:100	M:100	L:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:11.8 p2:13.2 p3:70.0 p4:2.47 p5:2.47	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
5	Y:100	M:100	M:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:21.9 p2:25.4 p3:52.1 p4:0.27 p5:0.27	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
6	Y:100	M:100	H:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:33.8 p2:54.5 p3:11.7 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
7	Y:100	H:100	L:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:3.89 p2:3.89 p3:92.2 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
8	Y:100	H:100	M:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:8.56 p2:8.56 p3:82.9 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
9	Y:100	H:100	H:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:29.5 p2:51.0 p3:19.5 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0

Tab. 12.4: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 2. (opis w tekście, ciąg dalszy tab. 12.3)

Lp.	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
	rpol (regulacja położenia)	obrotyPWy	odl	momentWy	przekładnia	moc	silnik	sterownik
10	N:100	L:100	L:100	L:34.3 M:59.2 H:6.5	p1:15.0 p2:16.4 p3:36.1 p4:16.3 p5:16.3	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10
11	N:100	M:100	L:100	L:6 M:81 H:13	p1:13.0 p2:14.2 p3:68.4 p4:2.17 p5:2.17	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10
12	N:100	H:100	L:100	L:34.3 M:59.2 H:6.5	p1:3.58 p2:3.58 p3:92.8 p4:0 p5:0	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10

Przykład 1

Rozpatrując zmianę wartości stwierdzenia „rpol: REGULACJA POŁOŻENIA” z Y:100 na N:100, niezależnie od wartości stwierdzeń „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI” i „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, widać że zmianie ulegają wartości stwierdzeń:

silnik SILNIK

sterownik STEROWNIK (który jest stwierdzeniem zależnym m.in. od stwierdzenia SILNIK)

moc MOC (który jest stwierdzeniem zależnym od stwierdzenia SILNIK)

Powodem jest to, że wprowadzenie regulacji położenia kąтового wałka silnika, wymusza dobór odpowiedniego rodzaju silnika oraz dodatkowego osprzętu w postaci dodatkowych czujników, regulatora i sterownika. Dany rodzaj silnika wpływa na zakres dostępnych mocy.

Przykład 2

Rozpatrując zmianę wartości stwierdzenia „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI” na jedną z wartości L:100, M:100 lub H:100, niezależnie od wartości stwierdzeń „rpol: REGULACJA POŁOŻENIA” i „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, widać że zmianie ulega wartość stwierdzenia „momentWy: MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI”, które jest stwierdzeniem zależnym m.in. od stwierdzenia „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI”. Powodem jest to, że zmiana wartości momentu obrotowego na wyjściu przekładni jest wprost proporcjonalna do zmiany prędkości kątowej przekładni na wyjściu przy założeniu stałej wartości mocy.

Przykład 3

Dla danych przedstawionych w tabelach 12.3 i 12.4, widać że wybór rodzaju przekładni jest determinowany przede wszystkim wartościami stwierdzenia „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”. Inne stwierdzenia, które mają bezpośredni wpływ na wybór rodzaju przekładni, to:

momentWy MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

moc MOC

Przy czym stwierdzenie „moc: MOC” jest zależne od stwierdzeń „silnik: SILNIK”, „sterownik: STEROWNIK”, które z kolei są zależne od stwierdzenia „rpol: REGULACJA POŁOŻENIA”.

Przykład 4

W tabeli 12.5 pokazano zmiany wartości stwierdzeń sieci w przypadku zmian wartości stwierdzenia „rpol: REGULACJA POŁOŻENIA” z Y:100 na N:100.

Tab. 12.5: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 2. w przypadku zmian wartości stwierdzenia „rpol: REGULACJA POŁOŻENIA” z Y:100 na N:100

	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)	Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
Lp.	rpol (regulacja położenia)	czujnikiPWy	czujnikiSWy	regulator	silnik	sterownik
1	Y:100	cpw1:100 cpw2:0 cpw3:0	csw1:100 csw2:0 csw3:0	reg1:100 reg2:0 reg3:0	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
2	N:100	cpw1:0 cpw2:50 cpw3:50	csw1:0 csw2:50 csw3:50	reg1:0 reg2:50 reg3:50	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10

Decyzja o wyborze możliwości regulacji położenia kąтового wałka wyjściowego silnika powoduje, że jako:

- czujnik na wałku wyjściowym przekładni (stwierdzenie „czujnikiPWy: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM PRZEKŁADNI”) wybrany zostaje czujnik położenia (cpw1:100);
- czujnik na wałku wyjściowym silnika (stwierdzenie „czujnikiSWy: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM SILNIKA”) wybrany zostaje czujnik położenia (csw1:100);
- regulator (stwierdzenie „regulator: REGULATOR”) wybrany zostaje regulator położenia (reg1:100));

- silniki (stwierdzenie „silnik: SILNIK”), które można zastosować w takim układzie wybrane zostają przede wszystkim s1: 1-fazowy (s1:30), s2: prądu stałego (s2:30), s3: asynchroniczny 3-fazowy (s3:30);
- sterowniki (stwierdzenie „sterownik: STEROWNIK”), zostają wybrane st2: falownik (st2:60) i st1: sterownik silnika prądu stałego (st1:30).

Należy wyjaśnić dlaczego w tym zestawieniu nie został wybrany silnik krokowy (s4:10), a co za tym idzie również nie został wybrany sterownik silnika krokowego (st3:10). Powodem jest to, że wybrane zostały czujniki położenia, które nie są wymagane w przypadku stosowania silników krokowych.

Otrzymane wyniki wskazują, że zbudowana sieć działa prawidłowo.

12.4.3. Dobór elementów napędu ze względu na precyzyjne sterowanie prędkością kątową

W tab. 12.6 i w tab. 12.7 pokazano wyniki testów jakie przeprowadzono dla sieci opracowanej dla podejścia 3. Rozpatrzmy cztery przykłady. Należy zaznaczyć, że sytuacja jest podobna do opisanej w przykładach w punkcie dotyczącym podejścia 2.

Przykład 1

Rozpatrując zmianę wartości stwierdzenia „rpred: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ” z Y:100 na N:100, niezależnie od wartości stwierdzeń „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI” i „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, widać że zmianie ulegają wartości stwierdzeń:

silnik SILNIK

sterownik STEROWNIK (który jest stwierdzeniem zależnym m.in. od stwierdzenia SILNIK)

moc MOC (który jest stwierdzeniem zależnym od stwierdzenia SILNIK)

Powodem jest to, że wprowadzenie regulacji prędkości kątowej, wymusza dobór odpowiedniego rodzaju silnika oraz dodatkowego osprzętu w postaci dodatkowych czujników, regulatora i sterownika. Dany rodzaj silnika wpływa na zakres dostępnych mocy.

Przykład 2

Rozpatrując zmianę wartości stwierdzenia „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI” na jedną z wartości L:100, M:100 lub H:100, niezależnie od wartości stwierdzeń „rpred: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ” i „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”, widać że zmianie ulega wartość stwierdzenia „momentWy: MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI”, które jest stwierdzeniem zależnym m.in. od stwierdzenia „obrotyPWy: PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI”. Powodem jest to, że zmiana wartości momentu obrotowego na wyjściu przekładni jest wprost proporcjonalna do zmiany prędkości kątowej przekładni na wyjściu przy założeniu stałej wartości mocy.

Tab. 12.6: Lista wartości wybranych stwierżeń dla sieci utworzonej dla podejścia 3. (opis w tekście)

Lp.	Stwierzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierzenia wyjściowe (obserwowane)				
	ipred (regulacja prędkości)	obrotyPWy	odl	momentWy	przekładnia	moc	silnik	sterownik
1	Y:100	L:100	L:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:13.6 p2:15.3 p3:36.4 p4:17.4 p5:17.4	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
2	Y:100	L:100	M:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:19.7 p2:21.4 p3:54.9 p4:2.03 p5:2.03	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
3	Y:100	L:100	H:100	L:26.7 M:65.5 H:7.8	p1:37.2 p2:45.6 p3:17.3 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
4	Y:100	M:100	L:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:11.8 p2:13.2 p3:70.0 p4:2.47 p5:2.47	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
5	Y:100	M:100	M:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:21.9 p2:25.4 p3:52.1 p4:0.27 p5:0.27	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
6	Y:100	M:100	H:100	L:3.6 M:80.8 H:15.6	p1:33.8 p2:54.5 p3:11.7 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
7	Y:100	H:100	L:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:3.89 p2:3.89 p3:92.2 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
8	Y:100	H:100	M:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:8.56 p2:8.56 p3:82.9 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
9	Y:100	H:100	H:100	L:0 M:39.0 H:61.0	p1:29.5 p2:51.0 p3:19.5 p4:0 p5:0	L:12 M:49 H:39	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0

Tab. 12.7: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 3. (opis w tekście, ciąg dalszy tab. 12.6)

Lp.	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)			Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
	rpred (regulacja prędkości)	obrotyPWy	odl	momentWy	przekładnia	moc	silnik	sterownik
10	N:100	L:100	L:100	L:34.3 M:59.2 H:6.5	p1:15.0 p2:16.4 p3:36.1 p4:16.3 p5:16.3	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10
11	N:100	M:100	L:100	L:6 M:81 H:13	p1:13.0 p2:14.2 p3:68.4 p4:2.17 p5:2.17	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10
12	N:100	H:100	L:100	L:34.3 M:59.2 H:6.5	p1:3.58 p2:3.58 p3:92.8 p4:0 p5:0	L:20.0 M:47.5 H:32.5	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10

Przykład 3

Dla danych przedstawionych w tabelach 12.6 i 12.7, widać że wybór rodzaju przekładni jest determinowany przede wszystkim wartościami stwierdzenia „odl: ODLEGŁOŚĆ POMIĘDZY OSIĄ WAŁKA SILNIKA A OSIĄ WAŁKA WYJŚCIOWEGO PRZEKŁADNI”. Inne stwierdzenia, które mają bezpośredni wpływ na wybór rodzaju przekładni, to:

momentWy MOMENT NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

obrotyPWy PRĘDKOŚĆ KĄTOWA NA WYJŚCIU PRZEKŁADNI

moc MOC

Przy czym stwierdzenie „moc: MOC” jest zależne od stwierdzeń „silnik: SILNIK”, „sterownik: STEROWNIK”, które z kolei są zależne od stwierdzenia „rpred: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ”.

Przykład 4

W tabeli 12.8 pokazano zmiany wartości stwierdzeń sieci w przypadku zmian wartości stwierdzenia „rpred: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ” z Y:100 na N:100.

Tab. 12.8: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 3. w przypadku zmian wartości stwierdzenia „rpred: REGULACJA PRĘDKOŚCI KĄTOWEJ” z Y:100 na N:100

	Stwierdzenia wejściowe (niezależne)	Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)				
Lp.	rpred (regulacja prędkości)	czujnikiPWy	czujnikiSWy	regulator	silnik	sterownik
1	Y:100	cpw1:0 cpw2:100 cpw3:0	csw1:0 csw2:100 csw3:0	reg1:0 reg2:100 reg3:0	s1:30 s2:30 s3:30 s4:10	st1:30 st2:60 st3:10 st4:0
2	N:100	cpw1:50 cpw2:0 cpw3:50	csw1:50 csw2:0 csw3:50	reg1:50 reg2:0 reg3:50	s1:25 s2:25 s3:25 s4:25	st1:25 st2:40 st3:25 st4:10

Decyzja o wyborze możliwości regulacji prędkości kątowej powoduje, że jako:

- czujnik na wałku wyjściowym przekładni (stwierdzenie „czujnikiPWy: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM PRZEKŁADNI”) wybrany zostaje czujnik prędkości kątowej (cpw2:100);
- czujnik na wałku wyjściowym silnika (stwierdzenie „czujnikiSWy: CZUJNIKI NA WAŁKU WYJŚCIOWYM SILNIKA”) wybrany zostaje czujnik prędkości kątowej (csw2:100);
- regulator (stwierdzenie „regulator: REGULATOR”) wybrany zostaje regulator prędkości obrotowej (reg2:100);
- silniki (stwierdzenie „silnik: SILNIK”), które można zastosować w takim układzie wybrane zostają przede wszystkim s1: 1-fazowy (s1:30), s2: prądu stałego (s2:30), s3: asynchroniczny 3-fazowy (s3:30);
- sterowniki (stwierdzenie „sterownik: STEROWNIK”), zostają wybrane st2: falownik (st2:60) i st1: sterownik silnika prądu stałego (st1:30).

Podobnie jak w przykładzie 4. podejścia 2. także i tutaj nie został wybrany silnik krokowy (s4:10), a co za tym idzie również nie został wybrany sterownik silnika krokowego (st3:10). Powodem jest to, że wybrane zostały czujniki prędkości kątowej, które nie są wymagane w przypadku stosowania silników krokowych.

Otrzymane wyniki wskazują, że zbudowana sieć działa prawidłowo.

12.4.4. Dobór elementów napędu ze względu na bezpieczeństwo użytkownika

W tab. 12.9 pokazano wyniki testów jakie przeprowadzono dla sieci opracowanej dla podejścia 4. Zmiany wartości wybranych stwierdzeń w przypadku zmian wartości stwierdzenia „bezp: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA” z Y:100 na N:100 pokazują, że priorytet bezpieczeństwa ma wpływ na wiele elementów układu napędowego. Zmniejszona zostaje moc, a co za tym idzie prędkość kątowa i moment obrotowy na wyjściu przekładni. Zaleca się stosowanie przekładni zabudowanych o zwartej budowie (o małych odległościach pomiędzy osią wałka silnika a osią wałka wyjściowego przekładni mechanicznej). Dodatkowo zaleca się użycie sprzęgieł zabezpieczających (np. przeciążeniowych) oraz dodatkowych czujników przeciążeniowych i przeciwprzepięciowych wbudowanych w silnik elektryczny.

Otrzymane wyniki wskazują, że zbudowana sieć działa prawidłowo. W dalszej części rozdziału pokazano przykładowe wyniki wybranych stwierdzeń (rys. 12.8) oraz jak wprowadzono wartości dla stwierdzenia „bezp: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA” (rys. 12.9).

Tab. 12.9: Lista wartości wybranych stwierdzeń dla sieci utworzonej dla podejścia 4. w przypadku zmian wartości stwierdzenia „bezp: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA” z Y:100 na N:100

Stwierdzenia wejściowe (niezależne)		Wybrane stwierdzenia wyjściowe (obserwowane)										
Lp.	bezp (bezpieczeństwo)	moc	momentWy	obrotyPWy	obrotySWy	odl (odległość)	czujnikS	sterownik	obudowa	przekładnia	silnik	sprzęgło
1	Y:100	L:54.3 M:44.0 H:1.75	L:50 M:40 H:10	L:65 M:35 H:0	L:37.0 M:49.7 H:13.2	L:80 M:20 H:0	cs1:50 cs2:50 cs3:0	st1:32.4 st2:41.7 st3:17.6 st4:8.33	o1:50 o2:50 o3:0	p1:23.0 p2:23.1 p3:43.8 p4:4.03 p5:6.02	s1:50 s2:32.4 s3:0 s4:17.6	sp1:0 sp2:0 sp3:100
2	N:100	L:8.4 M:57.2 H:34.4	L:36.7 M:34.7 H:28.7	L:2 M:36 H:62	L:15.6 M:36.7 H:47.7	L:0 M:20 H:80	cs1:0 cs2:0 cs3:100	st1:6.18 st2:75.0 st3:3.82 st4:15.0	o1:18 o2:18 o3:64	p1:31.9 p2:47.0 p3:21.0 p4:0.03 p5:0.03	s1:37.2 s2:6.18 s3:52.8 s4:3.82	sp1:40 sp2:40 sp3:20

12.5. Podsumowanie

Podzespoły i elementy składowe układu napędowego można dobrać na różne sposoby. W rozdziale pokazano cztery sposoby uwzględniające różne parametry wejściowe. Rozpatrywano podstawową metodę, gdzie na wejściu określano wartość mocy układu napędowego, wartość prędkości kątowej na wyjściu przekładni oraz odległość pomiędzy osią wałka silnika a osią wałka wyjściowego przekładni mechanicznej, oraz metody użyteczne podczas projektowania układu napędowego przeznaczonego do sterowania położeniem kątowym wałka wyjściowego przekładni oraz precyzyjnym sterowaniem prędkością kątową na wyjściu przekładni. Dodatkowo uwzględniono metodę pozwalającą dobrać podzespoły i elementy układu napędowego ze względu na bezpieczeństwo użytkownika całego układu.

Każda z sieci stwierdzeń dysponowała takim samym zestawem stwierdzeń. Różnice pojawiły się w strukturze połączeń pomiędzy stwierdzeniami, co spowodowało różnice w postaci tablic prawdopodobieństw warunkowych. Jedna sieć odpowiadała jednej metodzie doboru podzespołów i elementów składowych układu napędowego. Uzyskane wyniki pozwalają wywnioskować, że sieci stwierdzeń zostały zbudowane prawidłowo, a otrzymywane wartości były zgodne z oczekiwanymi.

The image shows three overlapping windows from the MMNET GUI, each displaying calculation results for a specific component. The windows are titled 'MMNET wersja 0.5.6'.

Window 1: obrotowyPWy

Model: Model [id= NA] Liczba warstw: 4 Liczba węzłów: 72
 Tezaurus: Thesaurus ... [id = 0], Write notice, please

Obliczenia: Oblicz sieć dla domyślnych parametrów, Identyfikator warstwy: --Wybór identyfikatora--
 Wprowadź dane do węzłów, Waga warstwy, Zapisz wagę

Wyniki obliczeń: Identyfikator węzła: 40 [obrotowyPWy]

Row.names	id_warstwy	id_węzła	status	L	M	H	waga_warstwy
2	1	1	2	0.3795711	0.3363899	0.2840390	1
3	2	1	2	0.3804935	0.3360166	0.2834899	1
4	3	1	2	0.3804935	0.3360166	0.2834899	1
5	4	5	2	0.0200000	0.3600000	0.6200000	1

Window 2: od

Wyniki obliczeń: Identyfikator węzła: 330 [od]

Row.names	id_warstwy	id_węzła	status	L	M	H	waga_warstwy
2	1	8	2	0.2583190	0.3154377	0.4262433	1
3	2	11	2	0.2566026	0.3162772	0.4271202	1
4	3	11	2	0.2566026	0.3162772	0.4271202	1
5	4	7	2	0.0000000	0.2000000	0.8000000	1

Window 3: silnik

Wyniki obliczeń: Identyfikator węzła: 130 [silnik]

Row.names	id_warstwy	id_węzła	status	s1	s2	s3	s4	waga_warstwy
2	1	3	2	0.1982632	0.2902999	0.3307096	0.1807273	1
3	2	5	2	0.2770865	0.2729145	0.2723312	0.1776679	1
4	3	5	2	0.2770865	0.2729145	0.2723312	0.1776679	1
5	4	10	2	0.3716800	0.0617600	0.5283200	0.0382400	1

Rys. 12.8: Pakiet MMNET. Wyniki obliczeń dla wybranych stwierdzeń dla przypadku „bezp: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA” N:100.

Ustawianie wartości węzłów

Ustawienie wartości poszczególnych węzłów

<input type="checkbox"/>	40 [obrotyPWy]			?
<input type="checkbox"/>	80 [moc]			
<input type="checkbox"/>	130 [silnik]			
<input type="checkbox"/>	170 [obrotySWy]			
<input type="checkbox"/>	210 [i]			
<input type="checkbox"/>	250 [momentWy]			
<input type="checkbox"/>	290 [sprzęgło]			
<input type="checkbox"/>	330 [odl]			
<input type="checkbox"/>	390 [przekładnia]			
<input type="checkbox"/>	430 [obudowa]			
<input type="checkbox"/>	470 [czujnikS]			
<input type="checkbox"/>	510 [zasilanie]			
<input checked="" type="checkbox"/>	520 [bezp]	No	1	
<input type="checkbox"/>	530 [smarowanie]			
<input type="checkbox"/>	570 [regulator]			
<input type="checkbox"/>	620 [sterownik]			
<input type="checkbox"/>	660 [czujnikSWy]			
<input type="checkbox"/>	700 [czujnikPWy]			
<input type="checkbox"/>	710 [rpol]			
<input type="checkbox"/>	720 [rpred]			

Oblicz

Rys. 12.9: Pakiet MMNET. Ustalanie wartości stwierdzenia „bezp: BEZPIECZEŃSTWO UŻYTKOWANIA”.

Bibliografia

- [12.1] B. Branowski (red.). *Podstawy konstrukcji napędów maszyn*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2007.
- [12.2] Kosmol J. *Serwonapędy obrabiarek sterowanych numerycznie*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 1998.
- [12.3] (red.) E. Mazanek. *Przykłady obliczeń z podstaw konstrukcji maszyn Tom 2. Łoży-ska, sprzęgła i hamulce, przekładnie mechaniczne*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne WNT, Warszawa 2008.