

7. Symulacje komputerowe z wykorzystaniem opracowanych modeli

Opracowane w ramach wykonanych badań modele sieci neuronowych pozwalają na przeprowadzanie symulacji komputerowych, w tym dotyczących m.in.:

- zmian twardości stali szybkoctących w zależności od zmieniającej się temperatury odpuszczania (krzywych odpuszczania) dla dowolnie ustalonego składu chemicznego oraz przyjętej temperatury austenitowania,
- wpływu wybranego pierwiastka na własności stali, lub przyrost wartości tej własności, dla ustalonych stężeń pozostałych pierwiastków stopowych oraz stałej temperatury austenitowania i odpuszczania,
- analizy równoczesnego wpływu dwóch wybranych pierwiastków na własności stali, dla ustalonych stężeń pozostałych pierwiastków stopowych oraz stałej temperatury austenitowania i temperatury odpuszczania.

Badania symulacyjne prowadzono w zakresie stężeń pierwiastków stopowych występujących w badanych stalach, podanych w tabeli 21.

Tabela 21

Zakresy stężeń masowych pierwiastków stopowych występujących w analizowanych stalach szybkoctących

Stężenie pierwiastka	C	Cr	W	Mo	V	Co
minimalne	0,72	3,7	0	0	1	0
maksymalne	1,41	4,7	18	9,5	4,5	11

7.1. Symulacja krzywych odpuszczania stali szybkoctących

Dla wykonania obliczeń symulacyjnych, mających na celu obliczenie krzywych odpuszczania, przyjęto składy chemiczne uzyskane jako wynik optymalizacji przedstawionej w punkcie 6. Z każdego z zaprezentowanych tam przykładów wybrano spośród 5 składów chemicznych jeden osiągający największą wartość funkcji przystosowania. W efekcie otrzymano 6 różnych składów chemicznych stali szybkoctących zamieszczonych w tabeli 22, przyjmując składy będące optymalnymi dla ograniczeń przyjętych w każdym cyklu optymalizacji. Dla w ten sposób wybranych składów chemicznych wykonano, przy

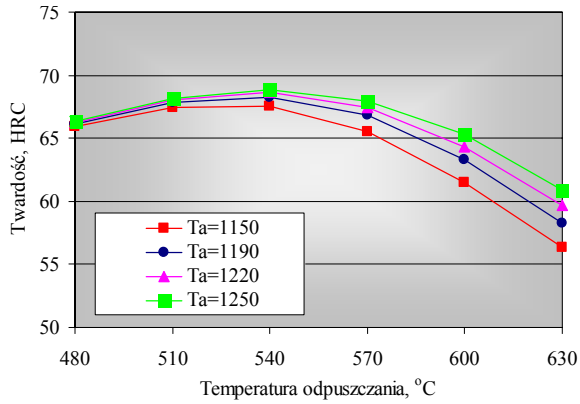
zastosowaniu opracowanego modelu sieci neuronowej, obliczenia symulacyjne krzywych odpuszczania, które przedstawiono graficznie na rysunkach 58-63

Przedstawione wyniki obliczeń krzywych odpuszczania stanowią przykład możliwości wykorzystania opracowanych modeli sieci neuronowych, jako narzędzia do symulacji komputerowej. Możliwe jest prowadzenie swobodnych badań numerycznych w przestrzeni składów chemicznych w granicach określonych przez stężenia pierwiastków chemicznych występujące w gatunkach stali objętymi badaniami. Jednakże wskazać należy, że nie można pominąć przy określaniu składów chemicznych stali dla których mają być prowadzone obliczenia symulacyjne, istotnych ograniczeń wynikających na przykład z równoważnika węgla (równanie 1) dla stali szybko tnących, lub innych np. przyjętych jako dodatkowe w procedurze optymalizacyjnej (tabela 20). Także jednoznaczne wnioski dotyczące przebiegu krzywych odpuszczania można sformułować dopiero po przeprowadzeniu odpowiednich badań doświadczalnych. Z drugiej jednak strony wyniki obliczeń twardości stali szybko tnących po obróbce cieplnej, uzyskane przy zastosowaniu opracowanej sieci neuronowej, wykazują bardzo dobrą zgodność z danymi doświadczalnymi, gdyż wyniki obliczeń weryfikacyjnych pojedynczej wartości twardości dla ustalonej temperatury austenitizowania i temperatury odpuszczania wynosi ok 1 HRC. Może to zatem uzasadniać twierdzenie, że przykładowo zaprezentowane a uzyskane w wyniku symulacji komputerowej krzywe odpuszczania z bardzo dobrym przybliżeniem opisują wyniki rzeczywiste.

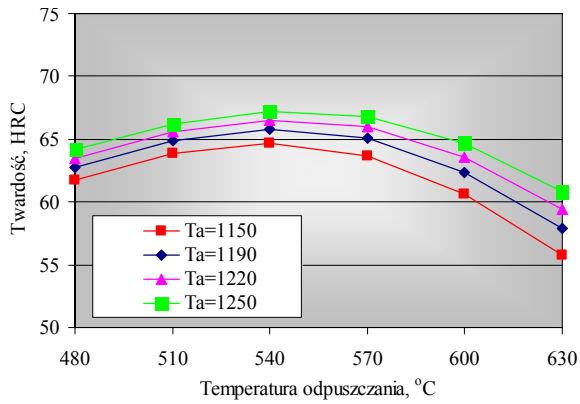
Tabela 22

Zestawienie przyjętych składów chemicznych stali szybko tnących do wyznaczania krzywych odpuszczania.

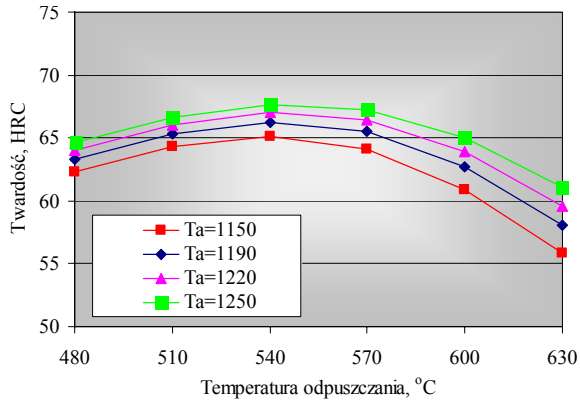
Skład chemiczny	Stężenie masowe pierwiastka, %					
	C	Cr	W	Mo	V	Co
I	0,99	4,59	3,51	2,24	1,0	7,72
II	1,06	4,63	2,82	4,00	1,93	0,0
III	1,01	4,62	5,01	4,00	1,36	0,17
IV	1,09	4,68	3,95	2,00	2,25	0,04
V	0,82	4,67	11,54	2,35	1,12	0,69
VI	0,82	4,45	3,51	3,00	1,49	0,0



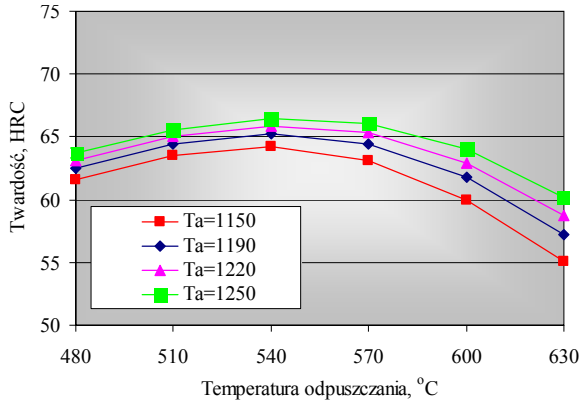
Rys. 58. Krzywe odpuszczania dla składu nr I (symulacja)



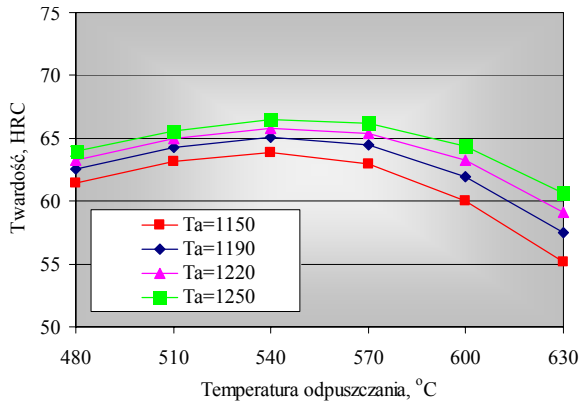
Rys. 59. Krzywe odpuszczania dla składu nr II (symulacja)



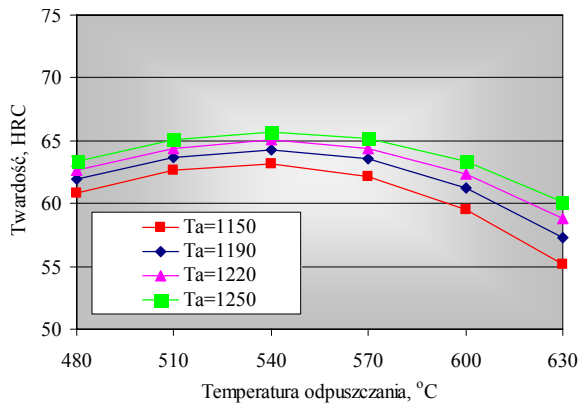
Rys. 60. Krzywe odpuszczania dla składu nr III (symulacja)



Rys. 61. Krzywe odpuszczania dla składu nr IV (symulacja)



Rys. 62. Krzywe odpuszczania dla składu nr V (symulacja)



Rys. 63. Krzywe odpuszczania dla składu nr VI (symulacja)

7.2. Symulacja wpływu jednego pierwiastka na twardość stali szybkotnących

W przykładzie tym zastosowano opracowany model sieci neuronowej do symulacji wpływu jednego wybranego pierwiastka stopowego na przyrost twardości, przy ustalonych stałych stężeniach pozostałych pierwiastków. Wykonano przykładowo analizę wpływu wybranych pierwiastków (wolframu i molibdenu) przy udziale oraz bez udziału dodatku stopowego kobaltu w stali.

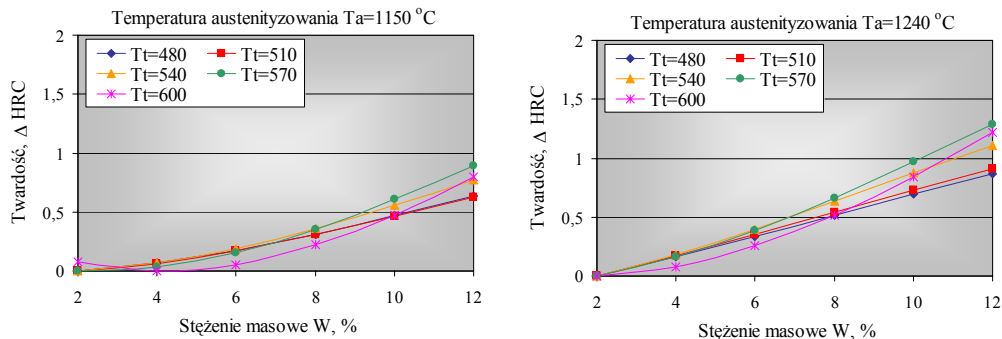
Obok prezentowanych przykładów możliwe jest szersze prowadzenie analiz symulacyjnych wpływu składu chemicznego na efekt twardości wtórnej, w zakresie stężeń pierwiastków stopowych występujących w analizowanej grupie stali.

Przykłady wykonanych analiz wpływu wybranych pierwiastków stopowych, tj. wolframu, molibdenu i kobaltu przedstawiono na rysunkach 64-68. Dla celów analizy ustalono stałe stężenia pierwiastków stopowych podane w tabeli 23. Stałe wartości stężenia wolframu, molibdenu i kobaltu dotyczą tych przypadków, w których nie analizowano wpływu tych pierwiastków na przyrost twardości.

Tabela 23

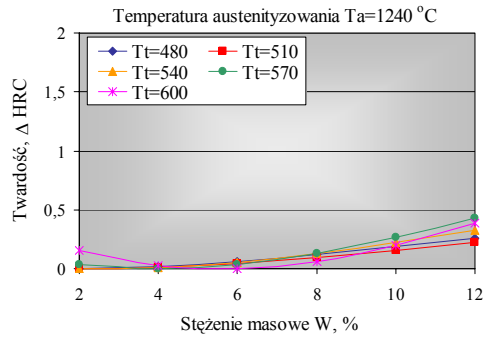
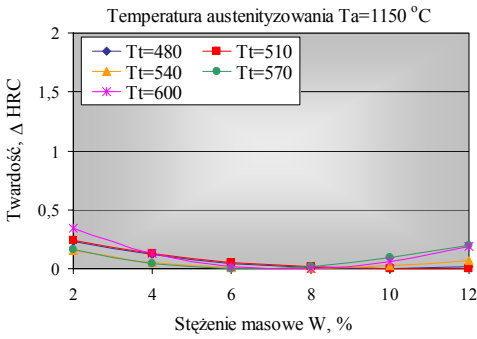
Przyjęte w obliczeniach stałe stężenia pierwiastków stopowych.

Stężenie masowe pierwiastka stopowego, %					
C	Cr	W	Mo	V	Co
1,0	4,2	6,5	4	2	0

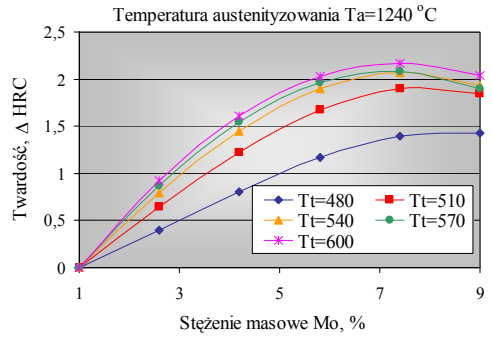
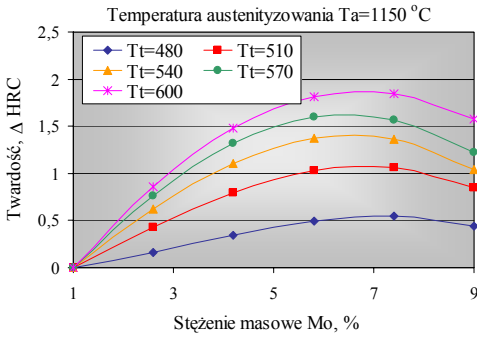


Rys. 64. Wpływ wolframu na przyrost twardości stali

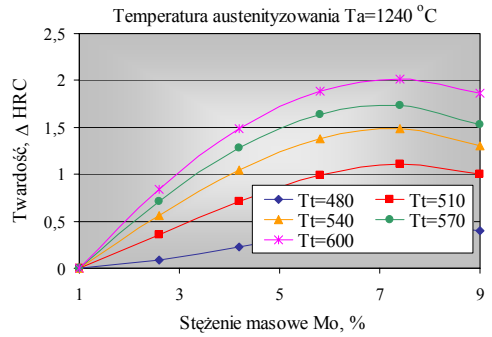
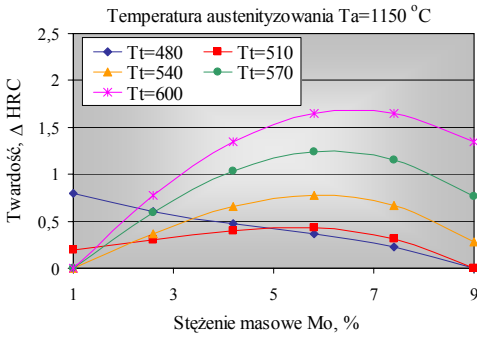
7. Symulacje komputerowe z wykorzystaniem opracowanych modeli



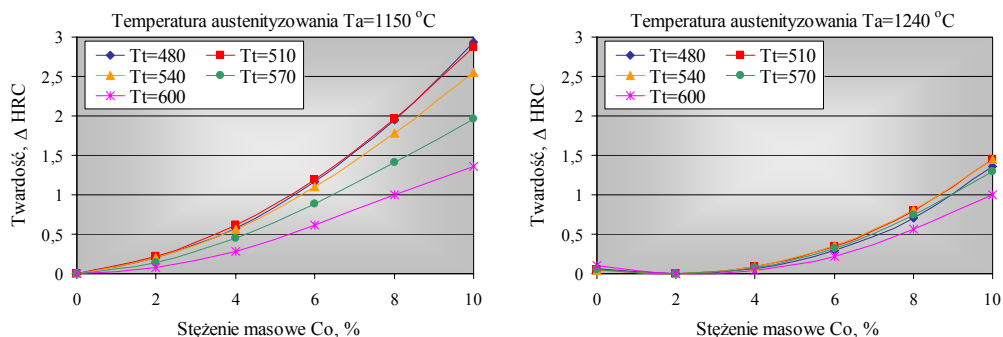
Rys. 65. Wpływ wolframu na przyrost twardości stali (Co=5,5%)



Rys. 66. Wpływ molibdenu na przyrost twardość stali



Rys. 67. Wpływ molibdenu na przyrost twardość stali (Co=5,5%)



Rys. 68. Wpływ kobaltu na przyrost twardość stali szybkotnącej

7.3. Symulacja wpływu dwóch pierwiastków na własności stali szybkotnących

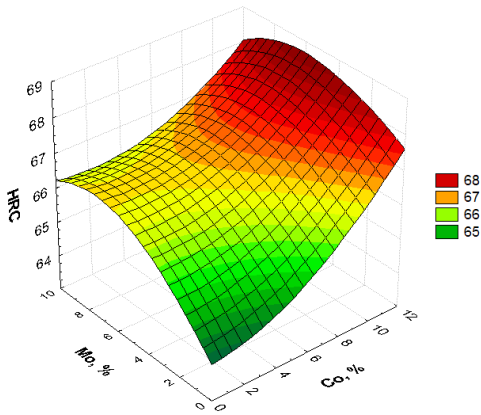
Drugi przykład symulacji przedstawia wpływ dwóch wybranych pierwiastków stopowych na twardość stali przy ustalonych stałych stężeniach pozostałych pierwiastków oraz parametrach obróbki cieplnej oraz odporność na pęknięcie. W przypadku odporności na pęknięcie przedstawiono wyniki wpływu dwóch pierwiastków a także temperatury obróbki cieplnej. Przyjęto przy tym ustalone stężenie oraz parametry obróbki cieplnej zestawione w tabeli 24.

Wyniki przeprowadzonej symulacji dla różnych kombinacji pierwiastków przedstawiono na rysunkach 69-80.

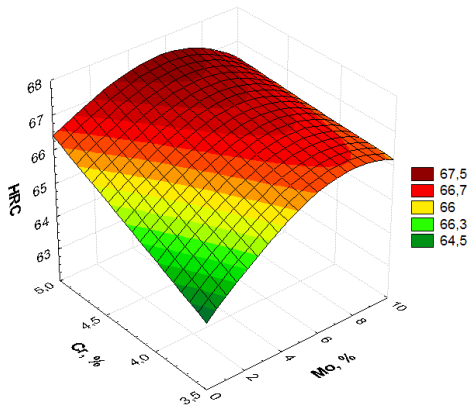
Tabela 24

Przyjęte do symulacji wpływu dwóch pierwiastków stałe stężenia pierwiastków stopowych oraz temperatury austenitizowania i odpuszczania

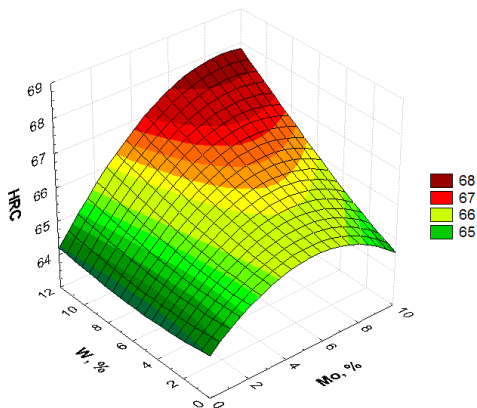
Stężenie masowe pierwiastka stopowego, %						Temperatura, °C	
C	Cr	W	Mo	V	Co	austenitizowania	odpuszczania
0,95	4,1	6,5	4,5	1,8	0	1220	550



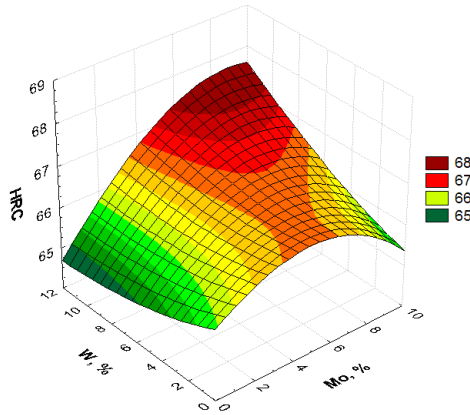
Rys. 69. Wpływ molibdenu i chromu na twardość stali szybkołącznych



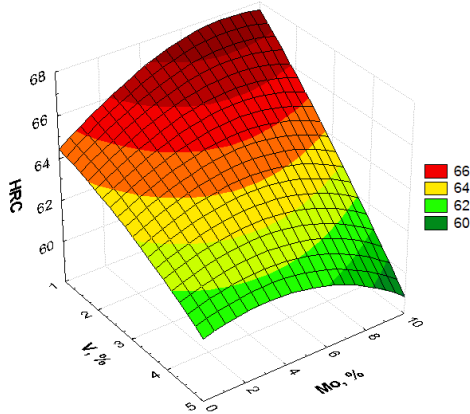
Rys. 70. Wpływ molibdenu i chromu na twardość stali szybkołącznych (Co=5,5%)



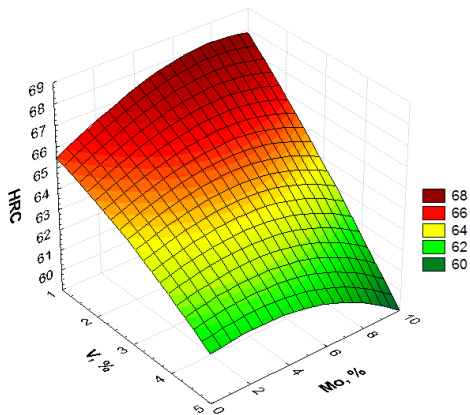
Rys. 71. Wpływ wolframu i molibdenu na twardość stali szybkołącznych



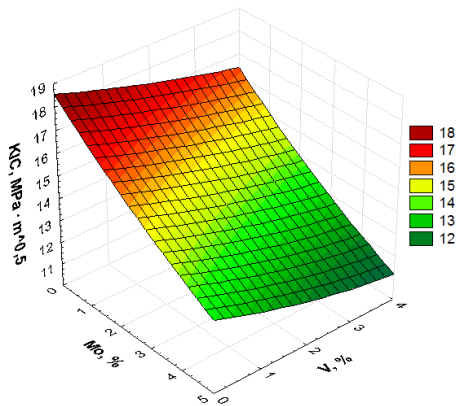
Rys. 72. Wpływ wolframu i molibdenu na twardość stali szybko tnących ($Co=5,5\%$)



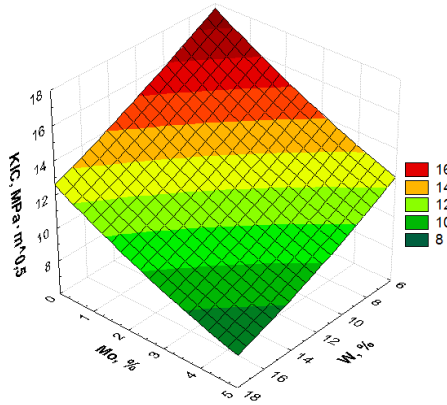
Rys. 73. Wpływ wanadu i molibdenu na twardość stali szybko tnących



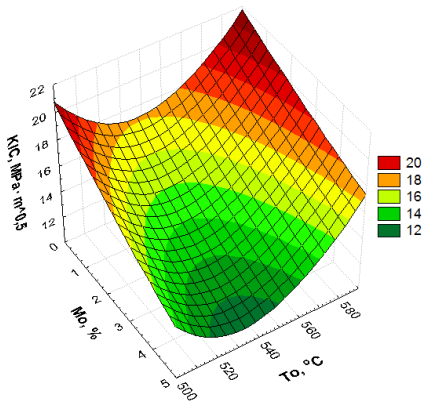
Rys. 74. Wpływ wanadu i molibdenu na twardość stali szybko tnących ($Co=5,5\%$)



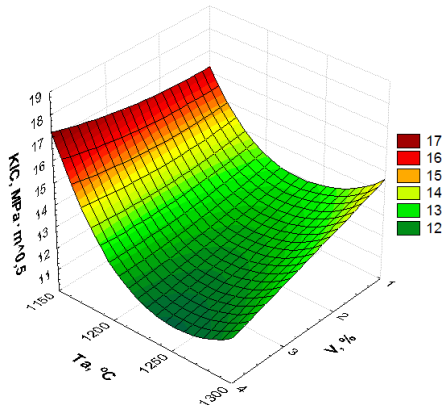
Rys. 75. Wpływ wanadu i molibdenu na współczynnik K_{Ic} stali szybko tnących



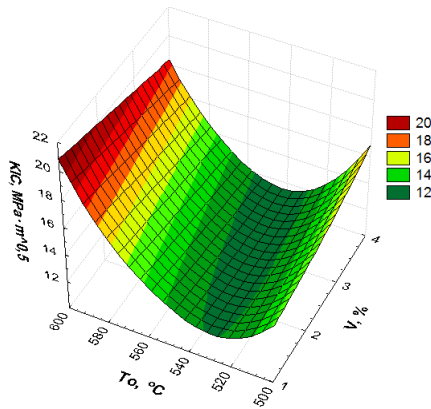
Rys. 76. Wpływ wolframu i molibdenu na współczynnik K_{Ic} stali szybko tnących



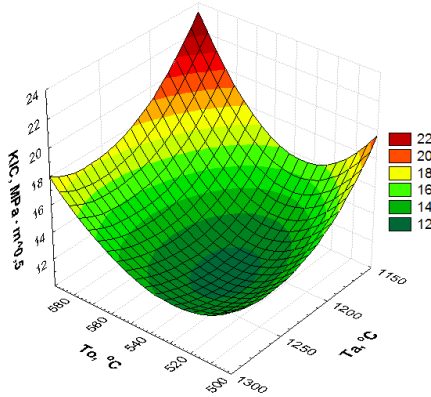
Rys. 77. Wpływ molibdenu i temperatury odpuszczania na współczynnik K_{Ic} stali



Rys. 78. Wpływ wanadu i temperatury austenitowania na współczynnik K_{Ic} stali



Rys. 79. Wpływ wanadu i temperatury odpuszczania na współczynnik K_{Ic} stali



Rys. 80. Wpływ temperatury austenitowania i odpuszczania na współczynnik K_{Ic} stali