

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY 94875

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 31.07.72 (P.157165)

Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 01.06.73

Opis patentowy opublikowano: 31.12.1977

MKP C07c 5/18
C07c 11/00

Int. Cl.² C07C 5/48
C07C 11/00

CZYTELNIA

Urząd Patentowy
Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej

Twórca wynalazku: _____

Uprawniony z patentu: Anatoly Lvovich Tsilingold, Fedor Semenovitch Pilipenko,
Veniamin Anatolievich Levin, Tatyana Pavlovna Vernova,
Gennady Arkadievich Stepanov, Alexandr Nikitich Bushin,
Boris Vasilievich Sirotkin, Valentin Vasilievich Kozin,
Mark Ekhetkelievich Basner, Aida Vladimirovna Erofeeva,
Nina Prokopievna Peshkova, Luiza Saidovna Tuktarova,
Yakov Yakovlevich Kirnos, Ruslan Konstantinovich Mikhailov,
Nikolai Zakharovich Dolinin, Jury Nikolaevich Rastvorov, Valeria,
Lvovna Eratova,
Jarosław (Związek Socjalistycznych Republik Radzieckich)

Sposób wytwarzania węglowodorów nienasyconych zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne, stosowanych do syntezy różnych związków organicznych, a zwłaszcza do wytwarzania kauczków syntetycznych.

Znane sposoby wytwarzania węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne polegają na katalitycznym oksydacyjnym odwodornieniu węglowodorów parafinowych. Jeden ze znanych sposobów otrzymywania n-butenów i butadienu polega na oksydacyjnym odwodornieniu n-butanu przy użyciu jako katalizatora fosfomolibdenianu sodu lub litu w temperaturze 400–650°C. W reaktorze ze wstępującym strumieniem katalizatora wydajność butadienu wynosi 17,2%, przy konwersji n-butanu równej 28%. Na nieruchomej warstwie katalizatora selektywność wynosi najwyżej 41%, przy konwersji n-butanu wynoszącej 42%.

Znany jest także sposób oksydacyjnego odwodornienia węglowodorów parafinowych na tlenkowym katalizatorze glinowo-fosforanowym w temperaturze 420–660°C. Sposób ten pozwala uzyskać konwersję n-butanu nie wyższą od 40%, przy sumarycznej selektywności w stosunku do butadienu i n-butenów wynoszącej 39–42% oraz stosunek $C_4H_6 : C_4H_8$ w produktach reakcji wynoszący 0,16–0,46.

Znany jest również sposób wytwarzania węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania, podwójne drogą oksydacyjnego odwodornienia węglowodorów parafinowych w temperaturze 400–700°C, przy stosunku molowym tlen:węglowódz parafinowy równym 0,1–3 i w obecności obojętnego rozcieńczalnika: pary wodnej, azotu, argonu, helu lub ich mieszanin przy użyciu katalizatora. Jako katalizator

stosuje się zawierające tlen związki molibdenu i/lub wolframu oraz co najmniej jednego z następujących metali: chromu, manganu, żelaza, niklu lub kadmu.

W przypadku oksydacyjnego odwodornienia n-butanu zgodnie z powyższym sposobem konwersja n-butanu wynosi 55,5%, przy sumarycznej selektywności w stosunku do butadienu i n-butenów równej 43,2%. Wydajność butadienu wynosi 19,1%.

Wspólnymi wadami wymienionych wyżej sposobów są: niska konwersja surowca węglowodorowego oraz niska selektywność w stosunku do otrzymywanych produktów.

Celem wynalazku jest wyeliminowanie powyższych wad. Obecnie stwierdzono, że korzystne otrzymywanie węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne, polegające na oksydacyjnym odwodornieniu węglowodorów parafinowych w temperaturze 400–700°C, przy stosunku molowym tlen:węglowodór parafinowy równym 0,1–3, w obecności obojętnego rozcieńczalnika takiego, jak para wodna, azot, argon, hel lub ich mieszanin, prowadzi się przy użyciu katalizatora, w którego skład wchodzi zawierające tlen związki molibdenu, przy czym stosuje się taki skład katalizatora, który umożliwiłby przeprowadzenie procesu odwodornienia z wyższą konwersją węglowodorowego surowca i pozwalałby na uzyskanie wyższej wydajności produktów.

Sposób według wynalazku polega na oksydacyjnym odwodornieniu węglowodorów parafinowych do węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne w opisanych wyżej warunkach przy użyciu katalizatora, w którego skład wchodzi obok zawierających tlen związków molibdenu także zawierające tlen związki magnezu, przy czym stosunek molibden:magnez wynosi 1÷0,9 – 1÷357 oraz zawierające tlen związki co najmniej jednego z następujących pierwiastków: kobalt, żelazo, chrom, wanad, krzem, nikiel w ilości 0,01–20% wagowych w przeliczeniu na tlenki pierwiastków, antymon, gadolin, dysproz, gall, bizmut, tytan, cyrkon, bor, niob w ilości 0,01–5% wagowych w przeliczeniu na tlenki pierwiastków i który ma widmo w podczerwieni, wykazujące pasma absorpcyjne przy liczbach falowych 780 cm⁻¹, 830 cm⁻¹, 890 cm⁻¹, 950 cm⁻¹ i 970 cm⁻¹.

Korzystnie stosuje się katalizator, w którym stosunek atomowy molibdenu do magnezu wynosi zwłaszcza 1÷3,6 – 1÷68,5.

W celu zwiększenia trwałości mechanicznej katalizatora, oraz aby umożliwić prowadzenie procesu na ruchomym katalizatorze, korzystnie stosuje się katalizator osadzony na nośniku takim, jak glinokrzemian, silikażel lub tlenek glinu.

Proces oksydacyjnego odwodornienia węglowodorów parafinowych sposobem według wynalazku prowadzi się w szerokim interwale temperatur (400–700°C), przy stosunku molowym tlen:węglowodór parafinowy wynoszącym 0,1–3 i przy szybkości objętościowej dopływu węglowodorów wynoszącej 20–1000 godzin⁻¹.

Proces oksydacyjnego odwodornienia prowadzi się w obecności obojętnego rozcieńczalnika takiego, jak para wodna, azot, argon, hel lub ich mieszanina. Najkorzystniejszy molowy stosunek obojętnego rozcieńczalnika do węglowodorów parafinowych wynosi 1÷1 – 40÷1. Prowadzenie procesu w obecności obojętnych rozcieńczalników pozwala na polepszenie warunków odprowadzenia ciepła i zwiększenie selektywności procesu.

Proces najkorzystniej prowadzi się w temperaturze 500–650°C, przy czym stosunek molowy tlen:węglowodór parafinowy wynosi 0,5–2, a szybkość objętościowa dopływu węglowodorów wynosi 20–200 godzin⁻¹.

Katalizator stosowany w procesie prowadzonym sposobem według wynalazku wytwarza się na przykład za pomocą metody osadzania, nasycania itd. Stosunek składników aktywnych w katalizatorze zmienia się w szerokich granicach.

Węglowodory, zawierające w cząsteczce jedno wiązanie podwójne (na przykład n-buteny, izoamyleny), wchodzące w skład końcowych produktów, mogą być zwracane do procesu w celu przekształcenia ich w warunkach procesu w odpowiednie węglowodory, zawierające w cząsteczce dwa wiązania podwójne.

Węglowodory tworzą się przy wysokiej konwersji (do 70%) węglowodorowego surowca i z wysoką wydajnością końcowe produkty (do 45% molowych).

Poniższe przykłady ilustrują przedmiot wynalazku. W przykładach podano udział zawierających tlen związków kobaltu, żelaza, chromu, wanadu, krzemu, niklu, antymonu, boru, gadolinu, dysprozu, galu, bizmutu, tytanu, cyrkonu i niobu w przeliczeniu na tlenki odpowiednich pierwiastków.

Przykład I. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w roztworze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i wanadu. Katalizator wytwarzano przez zmieszanie 45 g tlenku magnezu z roztworem 6,15 g paramolibdenianu amonu w wodzie destylowanej. Z otrzymanej mokrej pasty uformowano granulki, które suszono w temperaturze 110–120°C w ciągu 10 godzin i prażono w temperaturze 700°C w ciągu 10 godzin. Następnie granulki nasycano roztworem 0,44 g metawanadanu amonu w 12,5 ml wody destylowanej i suszono w temperaturze 110–120 w ciągu 10 godzin. Gotowy katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:31,4 i 3% wagowych V₂O₅. Widmo w podczerwieni katalizatora wykazuje pasma absorpcyjne przy liczbach falowych 780 cm⁻¹, 830 cm⁻¹, 890 cm⁻¹, 950 cm⁻¹ i 970 cm⁻¹.

Dla uzyskania widma w podczerwieni próbkę otrzymanego katalizatora zawieszono w oleju wazelinowym. Zapisu widma w podczerwieni dokonano za pomocą spektrofotometru UR-10 (K. Zeiss, Jena).

Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu na powyższym katalizatorze prowadzono w temperaturze 570°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczonego n-butanu wynosi 38,6% molowych, a wydajność n-butenów – 6,4% molowych przy selektywności odpowiednio 54,7 i 9,6% molowych. Konwersja n-butanu wynosi 67,0%.

Przykład II. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z fluidalną warstwą katalizatora. Katalizator składał się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i wanadu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do sposobu opisanego w przykładzie I. Otrzymany katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:32,1 i 1% wagowy V_2O_5 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w temperaturze 620°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 100 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 34,2% molowych, a wydajność n-butenów – 3,8% molowych przy selektywności odpowiednio 48,8 i 5,6% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 70,5%.

Przykład III. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, analogicznego do użytego w procesie opisanym w przykładzie I. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w temperaturze 450°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:10 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 20 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 11,6% molowych, a wydajność n-butenów – 3,3% molowych przy selektywności odpowiednio 38,7 i 11,0% molowych.

Konwersja n-butanu wynosiła 30,0%.

Przykład IV. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i chromu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:32,3 i 0,5% wagowych Cr_2O_3 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w temperaturze 630°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 26,6% molowych, a wydajność n-butenów – 4,0% molowych przy selektywności odpowiednio 45,7 i 6,8% molowych.

Konwersja n-butanu wynosiła 58,2%.

Przykład V. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i kobaltu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:32,4 i 0,1% wagowych Co_3O_4 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces prowadzono w temperaturze 630°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu, w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 22,6% molowych, a wydajność n-butenów – 3,6% molowych przy selektywności odpowiednio 45,8 i 7,3% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 49,4%.

Przykład VI. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i żelaza. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I.

Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:32,4 i 0,1% wagowych Fe_2O_3 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces prowadzono w temperaturze 630°C , przy stosunku molowym n-butanu:tlen:para wodna równym 1:1,5:10 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu, wynoszącym 50 godzin^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 33,5% molowych, a wydajność n-butenów – 8,9% molowych przy selektywności odpowiednio 41,3 i 10,9%. Konwersja n-butanu wynosiła 81,1%.

Przykład VII. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i krzemu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:31,7 i 2% wagowych SiO_2 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces prowadzono w temperaturze 630°C , przy stosunku molowym n-butan:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 25 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczonego n-butanu wynosiła 30,3% molowych, a wydajność n-butenów – 6,1% molowych przy selektywności odpowiednio 47,3 i 9,4% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 64,2%.

Przykład VIII. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu, krzemu i wanadu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:30,2 oraz 1% wagowy V_2O_5 i 5% wagowych SiO_2 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces prowadzono w temperaturze 605°C , przy stosunku molowym n-butan:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 100 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił $12,5 \text{ cm}^3$.

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczonego n-butanu wynosiła 33% molowych, a wydajność n-butenów – 5,5% molowych przy selektywności odpowiednio 51,8 i 8,7% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 63,6%.

Przykład IX. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu, żelaza i wanadu. Katalizator otrzymano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:31,7 oraz 1% wagowy Fe_2O_3 i 1% wagowy V_2O_5 . Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces prowadzono w temperaturze 615°C przy stosunku molowym n-butan:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczonego n-butanu wynosiła 38,3% molowych, a wydajność n-butenów – 3,7% molowych przy selektywności odpowiednio 54,6 i 5,4% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 70,0%.

Przykład X. Proces oksydacyjnego odwodornienia izopentanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, analogicznego do opisanego w przykładzie II.

Proces prowadzono w temperaturze 605°C , przy stosunku molowym izopentan:tlen:para wodna wynoszącym 1:2,5:2 i przy prędkości objętościowej dopływu izopentanu równej 125 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność izoprenu w stosunku do przepuszczonego izopentanu wynosiła 15,4% molowych, a wydajność izomerylenów – 2,6% molowych przy selektywności odpowiednio 40,0 i 7,0% molowych.

Przykład XI. Proces oksydacyjnego odwodornienia izopentanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora analogicznego do użytego w przykładzie IX.

Proces prowadzono w temperaturze 617°C , przy stosunku molowym izopentan:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu izopentanu równej 50 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność izoprenu w stosunku do przepuszczonego izopentanu wynosiła 15,5% molowych, a wydajność izoamylenów – 5,5% molowych przy selektywności odpowiednio 35,3 i 12,5% molowych. Konwersja izopentanu wynosiła 44,0%.

Przykład XII. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora składającego się z zawierających tlen związków magnezu, molibdenu i wanadu. Katalizator sporządzono w następujący sposób: wodny roztwór 23,8 g azotanu magnezu zmieszano z wodnym roztworem 0,525 g paramolibdenianu amonu i 0,165 g metawanadanu amonu i otrzymanym roztworem soli nasycano nośnik glinokrzemianowy. Nasycenie prowadzono w temperaturze pokojowej w ciągu 2 godzin. Następnie próbkę

suszono w temperaturze 120°C w ciągu 12 godzin i prażono w temperaturze 700°C w ciągu 10 godzin. Gotowy katalizator zawierał molibden i magnez w stosunku atomowym 1:31,4 oraz 3% wagowych V_2O_5 . Zawartość substancji czynnej w katalizatorze wynosiła 10% wagowych. Widmo w podczerwieni katalizatora było analogiczne do widma przedstawionego w przykładzie I.

Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu na powyższym katalizatorze prowadzono w temperaturze 600°C , przy stosunku molowym n-butan:tlen:para wodna wynoszącym 1:1,5:20 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 50 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 4,7% molowych, a wydajność n-butenów – 3,8% molowych przy selektywności odpowiednio 14,3 i 26,9% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 32,8%.

Przykład XIII. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora, otrzymanego w przykładzie VI.

Proces prowadzono w temperaturze 600°C , przy stosunku molowym n-butan:tlen:hel wynoszącym 1:2:40 i przy prędkości objętościowej dopływu n-butanu równej 25 godzina^{-1} . Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 .

Wydajność butadienu w stosunku do przepuszczanego n-butanu wynosiła 16,8% molowych, a wydajność n-butenów – 4,3% molowych przy selektywności odpowiednio 35,1 i 19,0% molowych. Konwersja n-butanu wynosiła 47,9%.

Przykład XIV–XXXIII. Proces oksydacyjnego odwodornienia n-butanu prowadzono w reaktorze z nieruchomą warstwą katalizatora. Ładunek katalizatora wynosił 10 cm^3 . Katalizator wytwarzano w sposób analogiczny do opisanego w przykładzie I. Widmo w podczerwieni gotowego katalizatora było analogiczne do widma, przedstawionego w przykładzie I. Warunki doświadczeń i wyniki prób podane są w tablicy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wytwarzania węglowodorów nienasyconych, zawierających w cząsteczce jedno i dwa wiązania podwójne, na drodze oksydacyjnego odwodornienia węglowodorów parafinowych w temperaturze $400\text{--}700^{\circ}\text{C}$, przy stosunku molowym tlen:węglowódór parafinowy wynoszącym 0,1–3, w obecności obojętnego rozcieńczalnika takiego, jak para wodna, azot, argon, hel lub ich mieszanin, z zastosowaniem katalizatora, w którego skład wchodzi zawierające tlen związki molibdenu, z n a m i e n n y t y m, że stosuje się katalizator, w skład którego wchodzi także zawierające tlen związki magnezu, przy czym stosunek molibden:magnez wynosi 1:0,9 – 1:357 oraz zawierające tlen związki co najmniej jednego z następujących pierwiastków: kobalt, żelazo, chrom, wanad, krzem, nikiel w ilości 0,01–20% wagowych, w przeliczeniu na tlenki pierwiastków, antymon, gadolin, dysproz, gall, bizmut, tytan, cyrkon, bor, niob w ilości 0,01–5% wagowych, w przeliczeniu na tlenki pierwiastków i który ma widmo w podczerwieni z pasami absorpcji przy liczbach falowych 780 cm^{-1} , 830 cm^{-1} , 890 cm^{-1} , 950 cm^{-1} i 970 cm^{-1} .

2. Sposób według zastrz. 1, z n a m i e n n y t y m, że katalizator stosuje się na nośniku, przy czym jako nośnik stosuje się glinokrzemian, silikażel lub tlenek glinu.

T a b l i c a

Numer przykładowy	Katalizator		Warunki doświadczenia			Wyniki prób				
	Typ	Stosunek atomowy Mo:Mg	Temperatura °C	Prędkość objętościowa n-butanu godzina ⁻¹	Stosunek molarowy C ₄ H ₁₀ :O ₂ :H ₂ O	Wydajność butadienu % molarowy	Wydajność n-butenów % molarowy	Selektywność w stosunku do butadienu, % molarowy	Selektywność w stosunku do n-butenów % molarowy	Konwersja n-butanu, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
XIV	Mg-Mo-Ni 20% wag. NiO	1:10	568	25	1:0,3:20	13,4	4,4	52,1	17,1	25,8
XV	Mg-Mo-Ni 10% wag. NiO	1:28,8	590	25	1:1,0:20	17,5	6,2	44,0	15,5	39,8
XVI	Mg-Mo-Sb 0,5% wag. Sb ₂ O ₃	1:32,3	630	50	1:1,5:20	31,5	4,3	57,3	8,0	55,0
XVII	Mg-Mo-B 1% wag. B ₂ O ₃	1:28,8	620	25	1:1,5:20	31,8	3,7	51,3	6,2	61,7
XVIII	Mg-Mo-Sb-Cr 0,5% wag. Sb ₂ O ₃	1:28,8	630	50	1:1,5:20	31,1	4,3	55,0	7,3	56,5
XIX	Mg-Mo-Gd 0,5% wag. Cr ₂ O ₃	1:28,8	615	25	1:1,5:20	22,1	5,7	43,0	11,0	51,5
XX	Mg-Mo-Dy 0,5% wag. Gd ₂ O ₃	1:28,8	620	50	1:1,5:20	26,4	5,0	56,5	10,8	46,8
XXI	Mg-Mo-Ga 0,5% wag. Dy ₂ O ₃	1:28,8	620	50	1:1,5:20	26,4	5,0	56,5	10,8	46,8
XXII	Mg-Mo-Si 0,5% wag. Ga ₂ O ₃	1:28,3	630	100	1:1:20	32,3	3,1	46,0	4,5	70,0
XXIII	Mg-Mo-Nb 0,5% wag. Si ₂ O ₃	1:28,0	630	25	1:1,5:20	22,9	8,8	37,3	14,2	61,5
XXIV	Mg-Mo-Zr 1% wag. Nb ₂ O ₅	1:32,1	630	50	1:1,5:20	26,0	4,0	41,3	6,4	63,0
XXV	Mg-Mo-Ti 5% wag. ZrO ₂	1:28,8	630	50	1:1,5:20	14,0	3,2	40,0	9,1	35,0
	Mg-Mo-Ti 1% wag. TiO ₂	1:32,1	630	50	1:1,5:20	28,8	2,9	42,7	4,3	67,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
XXVI	Mg-Mo-V 2% wag. V ₂ O ₅	1:1	610	30	1:1,0:20	3,1	4,7	15,1	22,9	20,5
XXVII	Mg-Mo-Ga 0,25% wag. Ga ₂ O ₃	1:357	670	100	1:1,5:20	1,3	2,1	7,4	12,0	17,5
XXVIII	Mg-Mo-Fe-B 1% wag. Fe ₂ O ₃ 1% wag. B ₂ O ₃	1:2	605	100	1:1, 5:10	4,5	8,4	14,1	26,3	31,9
XXIX	Mg-Mo-Si-Bi 2,5% wag. SiO ₂ 0,5% wag. Bi ₂ O ₃	1:10	635	50	1:1, 5:20	23,8	3,8	44,8	7,2	53,1
XXX	Mg-Mo-Co-Dy-Gd 0,1% wag. Co ₃ O ₄ 0,05% wag. Dy ₂ O ₃ 0,5% wag. Gd ₂ O ₃	1:32,1	620	50	1:1,5:20	27,3	5,2	57,7	10,9	47,6
XXXI	Mg-Mo-Cr-Ga 0,5% wag. Cr ₂ O ₃ 0,5% wag. Ga ₂ O ₃	1:32,1	625	100	1:1:15	33,0	4,0	58,0	7,3	57,0
XXXII	Mg-Mo-Ni-Ti-Zr-Nb 10% wag. NiO 1% wag. TiO ₂ 1% wag. ZrO ₂ 1% wag. Nb ₂ O ₅	1:41,4	630	50	1:1,5:20	29,0	5,4	55,0	10,2	52,8
XXXIII	Mg-Mo-Cr-B 0,05% wag. Cr ₂ O ₃ 1% wag. B ₂ O ₃	1:35,7	640	75	1:1,5:20	1,9	2,5	10,5	13,8	18,1

CZYTELNICIA

Urzedu Pat.