

RADOMIR JASIŃSKI, MARIA MIKULSKA, JAN SOCHA, ANDRZEJ BARAŃSKI*

REGIO- I STEREOSELEKTYWNOŚĆ
[2+3] CYKLOADDYCJI α -PODSTAWIONYCH
NITROETENÓW Z 1,3-DIPOLAMI
PROPARGILO-ALLENOWEGO I ALLILOWEGO TYPU

REGIO-AND STEREOSELECTIVITY
OF [2+3] CYCLOADDITION OF α -SUBSTITUTED
NITROETHENES WITH 1,3-DIPOLES
PROPARGYL-ALLENE AND ALLYL TYPE

Streszczenie

W artykule przeprowadzono krytyczną analizę danych literaturowych dotyczących regio- i stereoselektywności reakcji [2+3] cykloaddykcji z udziałem α -podstawionych nitroetenów.

Słowa kluczowe: [2+3] cykloaddykcja, nitroalkeny, regioselektywność, stereoselektywność

Abstract

The paper is a critical review of available literature data about regio- and stereoselectivity of [2+3] cycloaddition reactions of α -substituted nitroethenes.

Keywords: cycloaddition, nitroalkenes, regioselectivity, stereoselectivity

* Dr inż. Radomir Jasiński, mgr inż. Maria Mikulska, inż. Jan Socha (student), prof. dr hab. inż. Andrzej Barański, prof. PK, Instytut Chemii i Technologii Organicznej, Wydział Inżynierii i Technologii Chemicznej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

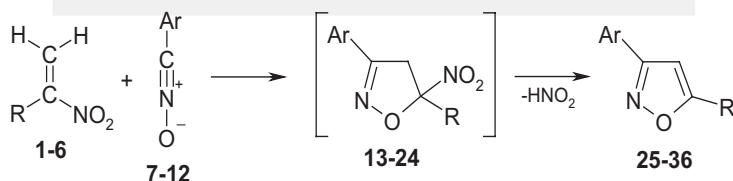
Liczba znanych α -podstawionych analogów nitroetenu jest znacznie mniejsza niż analogów β -podstawionych oraz α,β - i β,β -dipodstawionych [1,2]. Zdecydowanie słabiej poznane są także ich fizykochemiczne właściwości [1–3]. Z jednej strony wynika to z faktu, że synteza α -podstawionych nitroetenów jest generalnie bardziej złożona. Z drugiej strony jest skutkiem wysokiej ich reaktywności. Nawet najslabiej elektrofilowe w tej grupie α -alkilnitroeteny [4], jakkolwiek izolowane w postaci indywidualnych związków chemicznych, łatwo ulegają izomeryzacji [5–9] i polimeryzacji [10, 11]. Silnie elektrofilowe α -podstawione nitroeteny (jak np. *gem*-dinitroeten, α -karboetoksynitroeten czy α -fenylosulfonylo-nitroeten) w ogóle nie są znane jako trwałe połączenia [12–15].

Niniejszy artykuł jest kontynuacją naszych systematycznych studiów dotyczących fizykochemii α -podstawionych nitroetenów. Poprzednio [2, 16] omówiliśmy dostępne w piśmiennictwie chemicznym metody ich syntezy. Obecnie postanowiliśmy przedyskutować dane dotyczące regio- i stereoselektywności reakcji α -podstawionych nitroetenów z 1,3-dipolami. Reakcje te realizują się wg schematu [2+3] cykloaddycji [17], która jest obecnie najbardziej uniwersalną metodą syntezy pięcioczłonowych połączeń heterocyklicznych [18–23]. Niestety, nie były one jak dotąd przedmiotem studiów literaturowych.

2. Reakcje [2+3] cykloaddycji α -podstawionych nitroetenów z 1,3-dipolami typu propargilo-allenowego

Spśród znanych 1,3-dipoli typu propargilo-allenowego [17] jedynie niektóre testowane były w roli komponentów reakcji cykloaddycji z α -podstawionymi nitroetenami. W szczególności brak jest jakichkolwiek danych na temat tego rodzaju reakcji z udziałem nitylimin, nitylidów czy podtlenku azotu. Obiektami badań były natomiast [2+3] cykloaddycje α -podstawionych nitroetenów z N-tlenkami nityli, diazozwiązkami oraz azydkami.

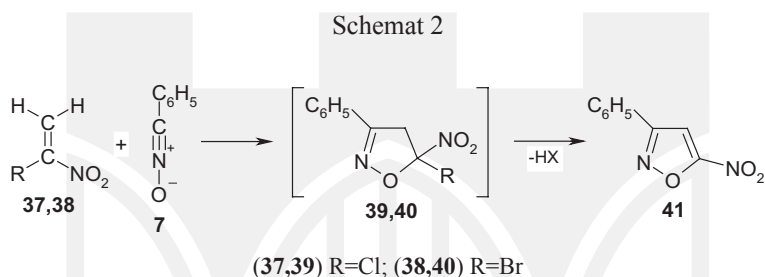
Schemat 1



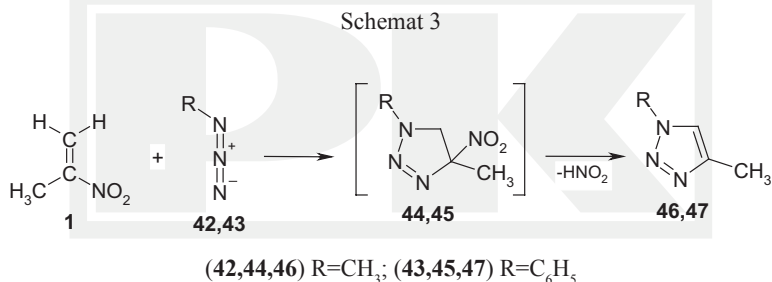
- (1) R=CH₃; (2) R=C₂H₅; (3) R=CH₂COOC₂H₅; (4) R=(CH₂)₂COOC₂H₅;
 (5) R=(CH₂)₃COOCH₃; (6) R=C₆H₅; (7) Ar=C₆H₅; (8) Ar=p-CH₃O-C₆H₄;
 (9) Ar=p-CH₃-C₆H₄; (10) Ar=p-Cl-C₆H₄; (11) Ar=p-Br-C₆H₄; (12) Ar=p-NO₂-C₆H₄;
 (13,25) R=CH₃, Ar=C₆H₅; (14,26) R=C₂H₅, Ar=C₆H₅; (15,27) R=CH₂COOC₂H₅, Ar=C₆H₅;
 (16,28) R=(CH₂)₂COOC₂H₅, Ar=C₆H₅; (17,29) R=(CH₂)₃COOCH₃, Ar=C₆H₅;
 (18,30) R=Ar=C₆H₅; (19,31) R=CH₃, Ar=p-CH₃O-C₆H₄; (20,32) R=CH₃, Ar=p-NO₂-C₆H₄;
 (21,33) R=C₆H₅, Ar=p-CH₃O-C₆H₄; (22,34) R=C₆H₅, Ar=p-CH₃-C₆H₄;
 (23,35) R=C₆H₅, Ar=p-Cl-C₆H₄; (24,36) R=C₆H₅, Ar=p-Br-C₆H₄

I tak autorzy prac [24–28] ustalili, że [2+3] cykloaddycje α -alkilnitroetenów **1-5** oraz α -fenylnitroetenu (**6**) z N-tlenkiem benzonitrylu (**7**) przebiegają w sposób regiospecyficzny (Schemat 1). W reakcjach tych tworzą się nietrwałe 2-arylo-5-nitro-5-R- Δ^2 -izoksazoliny (**4-8**), które w warunkach reakcji ulegają dehydronitrowaniu dając odpowiednie 3,5-dipodstawione izoksazole. Regioselektywność reakcji Autorzy przytoczonych doniesień tłumaczą wpływem czynników sterycznych. W podobny sposób realizują się reakcje α -metylnitroetenu **1** [24] oraz α -fenylnitroetenu **3** [26] z p-podstawionymi tlenkami benzonitrylu (**8-12**).

2-Arylo-5-nitro-5-R- Δ^2 -izoksazoliny powstają także w reakcjach z α -chloro- (**37**) i α -bromonitroetenów (**38**) z N-tlenkiem benzonitrylu **7** [27] (Schemat 2). W tym jednak przypadku pierwotne [2+3] cykloaddukty **39** i **40** ulegają spontanicznej eliminacji cząsteczki HCl lub HBr.

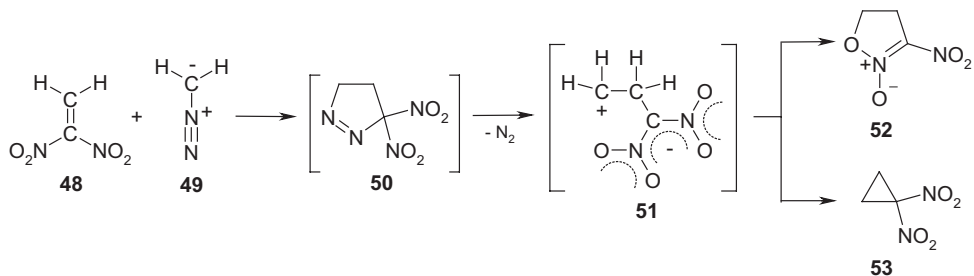


Regiospecyficzne są również [2+3] cykloaddycje α -metylnitroetenu **1** z azydami metylu (**42**) i fenylu (**43**) [8]. Prowadzą one do 3-R-5-metylo-5-nitro- Δ^1 -triazolin (**44,45**) ulegających spontanicznej aromatyzacji na drodze dehydronitrowania (Schemat 3).



Z kolei w reakcji *gem*-dinitroetenu (**48**) z diazometanem (**49**) powstają N-tlenek 3-nitro- Δ^2 -izoksazoliny (**52**) oraz *gem*-dinitrocyclopropan (**53**) [29] (Schemat 4). Obecność w masie poreakcyjnej N-tlenku **52** sugeruje, że pierwotnym produktem reakcji była 5,5-dinitro- Δ^1 -pirazolina (**50**). Wiadomo bowiem [21], że Δ^1 -pirazolina stosunkowo łatwo ulegają eliminacji cząsteczki N₂. Prawdopodobnie reakcja przebiega przez zwitterionowy intermedial **51**, który ulega następnie wewnątrzcząsteczkowemu O-alkilowaniu do N-tlenku **52** i/lub C-alkilowaniu do cyclopropanu **53**. Wskazują na to obliczenia B3LYP/6-31g(d) hiperpowierzchni energii potencjalnej reakcji [30]. Regioselektywność [2+3] cykloaddycji **48+49** jest zgodna z empiryczną regułą *Auwersa* [31], która mówi, że przebieg reakcji diazozwiązków z alkenami powinien być zdeterminowany atakiem nukleofilowego atomu węgla fragmentu >CNN diazoalkanu na silniej elektrofilowy atom węgla fragmentu winylowego dipolarofila.

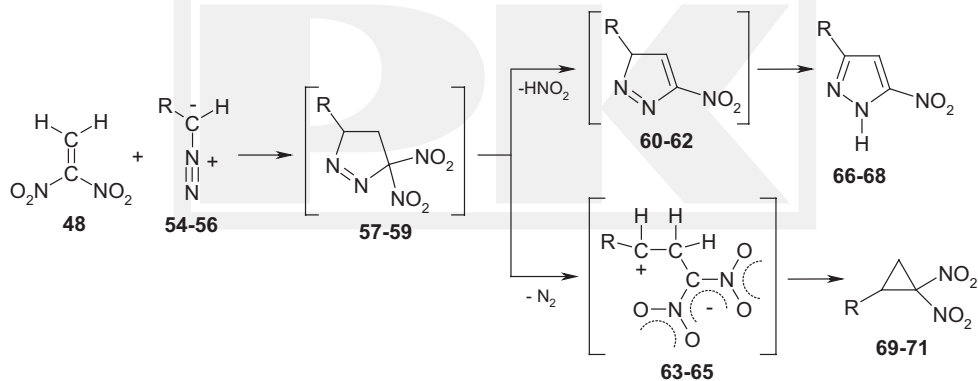
Schemat 4



Regiospecyficznie realizują się również [2+3] cykloaddycje dinitroetenu **48** do innych diazozwiązków.

I tak, podobnie jak w reakcji **48+49**, pierwotnymi produktami [2+3] cykloaddycji dinitroetenu **48** z diazoketonami **54,55** i karboetoksydiazometanem (**56**) są odpowiednie 5,5-dinitropirazoliny (**57-59**) [32, 33] (Schemat 5). Pirazoliny te w warunkach reakcji ulegają zarówno reakcjom eliminacji N_2 , jak i eliminacji cząsteczki HNO_2 , dając dinitrocyklopropany **69-71** oraz nitropirazole **66-68**. Należy nadmienić, że druga z wymienionych reakcji ma złożony przebieg. W pierwszym jej etapie tworzą się 3H-3-R-5-nitropirazole **60-62**, które następnie ulegają przegrupowaniu do 1H-pirazoli (**66-68**) wg mechanizmu zaproponowanego przez *Van Alphen* [34].

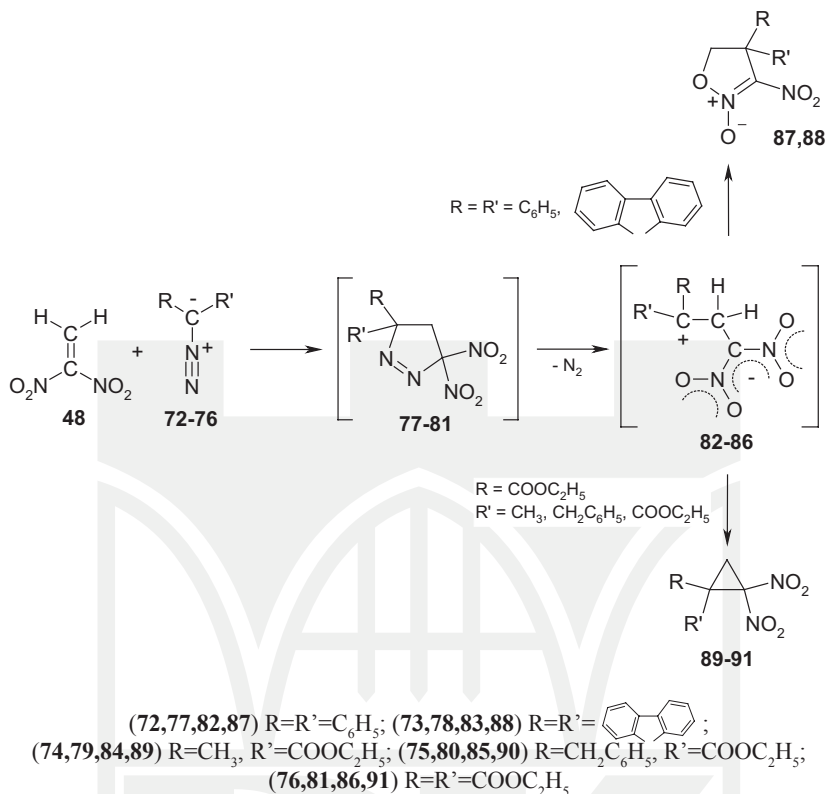
Schemat 5



(**54,57,60,63,66,69**) $R=COCH_3$; (**55,58,61,64,67,70**) $R=COC_6H_5$; (**56,59,62,65,68,71**) $R=COOC_2H_5$

Z mas preakcyjnych nie udaje się również wyizolować pierwotnych produktów [2+3] cykloaddycji dinitroetenu **48** z dipodstawionymi diazometanami **72-76** [33, 35, 36] (Schemat 6). We wszystkich przypadkach produktami tymi są prawdopodobnie oczekiwane 5,5-dinitropirazoliny, które w warunkach reakcji ulegają podobnym przemianom jak opisane wyżej pirazoliny **50,57-59**.

Schemat 6



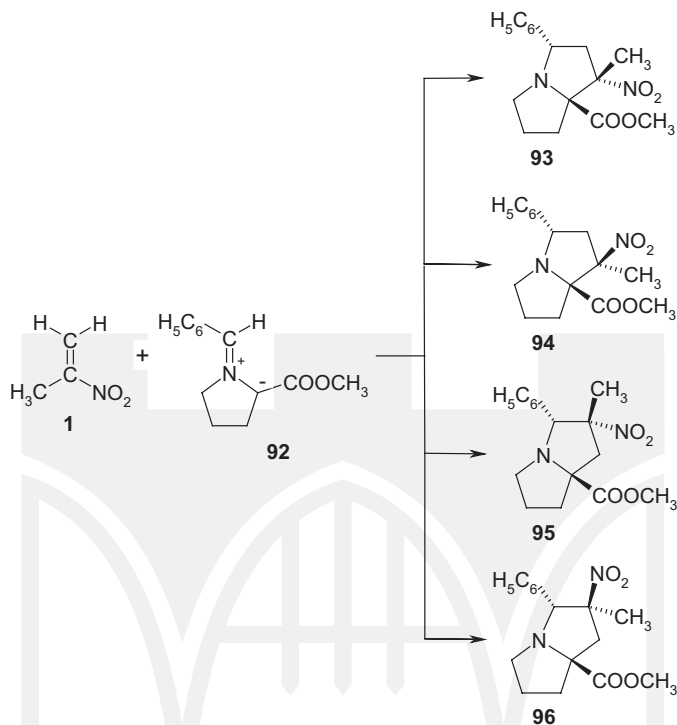
3. Reakcje [2+3] cykloaddycji α -podstawionych nitroetenów z 1,3-dipolami typu allilowego

Zdecydowana większość znanych 1,3-dipoli ma strukturę typu allilowego [17]. Jednak jedynie nieliczne testowano w roli komponentów reakcji z α -podstawionymi nitroetenami.

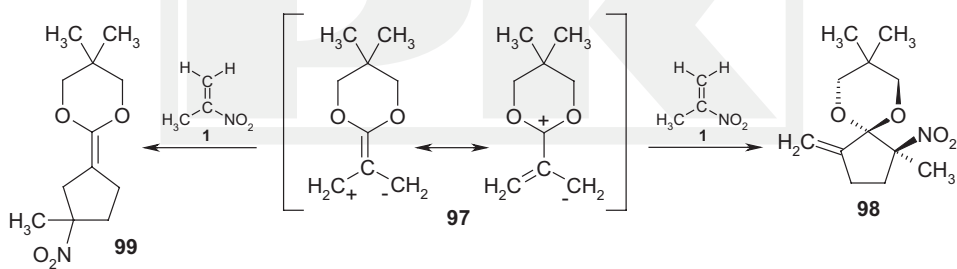
I tak, w pracy [37] opisano regio- i stereoselektwność [2+3] cykloaddycji α -metylnitroetenu **1** z azometnyloidem **92**. Reakcja ta prowadzi do mieszaniny wszystkich teoretycznie możliwych regio- i stereoizomerycznych adduktów **93-96** w stosunku 3:12:8:77. Niestety autorzy nie podejmują próby interpretacji regioselektwności tej cykloaddycji. Natomiast stereoselektwność tłumaczą skutkiem stabilizujących, wtórnych oddziaływań p_z orbitali [38] na atomach grup nitrowej oraz estrowej.

Z kolei autorzy pracy [39] analizowali przebieg [2+3] cykloaddycji nitroalkenu **1** z 1,3-dipolem **97** będący w swej chemicznej naturze analogiem trimetylenometanu (Schemat 8). Reakcja ta przebiega w sposób periselektywny i prowadzi do mieszaniny izomerów **98** i **99**, w stosunku 7:3. Obserwowana selektywność zdeterminowana jest najprawdopodobniej stabilizującymi oddziaływaniami p_z orbitali zlokalizowanych na grupie nitrowej oraz atomie tlenu heterocyklicznego pierścienia.

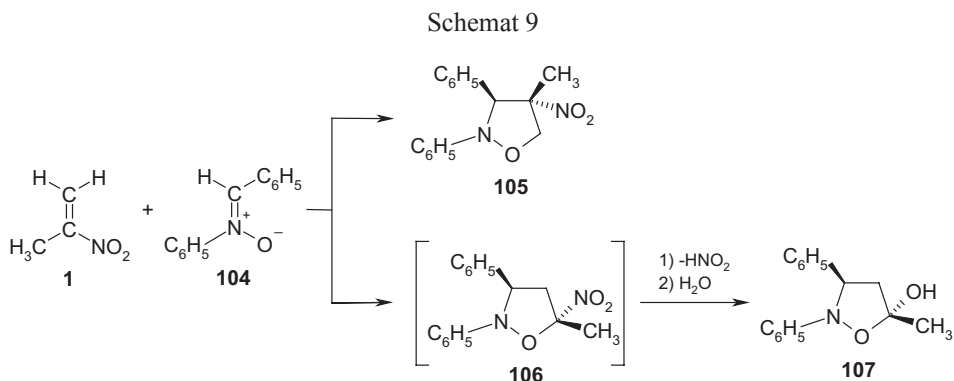
Schemat 7



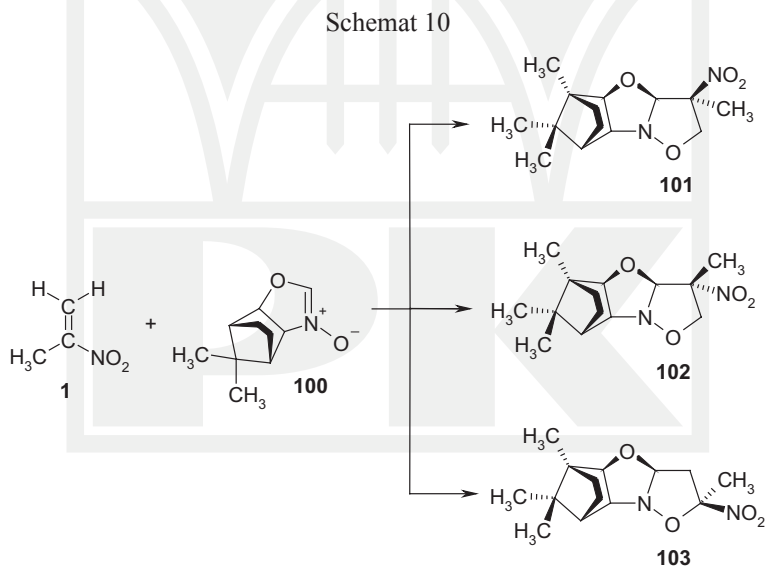
Schemat 8



Nieco więcej doniesień dotyczy [2+3] cykloaddycji α -podstawionych nitroetenów z nitronami (Schemat 9). Autorzy prac [40,41] ustalili, że reakcja α -metylnitroetenu **1** z N-tlenkiem **100** realizuje się w sposób regio- i stereoselektywny prowadząc do mieszaniny nitroizoksazolidyn **101**, **102** i **103** w stosunku 17:9:1. Regioselektywność reakcji autorzy objaśniają na gruncie teorii frontalnych molekularnych orbitali (FMO) [42]. Jej stereoselektywność jest natomiast konsekwencją stabilizujących oddziaływań p_z orbitali zlokalizowanych na atomie azotu i endocyklicznym atomie tlenu 1,3-dipola z p_z orbitalami zlokalizowanymi na atomach tlenu grupy nitrowej.



Z kolei pierwotnymi produktami [2+3] cykloaddycji nitroalkenu **1** z Z-C,N-difenylnitronem (**104**) są regio- i stereoizomeryczne cykloaddukty: 3,4-*trans*-2,3-difenylo-4-metylo-4-nitroizoksazolidyna (**105**) oraz 3,5-*trans*-2,3-difenylo-5-metylo-5-nitroizoksazolidyna (**106**) [5] (Schemat 10). Drugi z wymienionych produktów w warunkach reakcji ulega konwersji do 3,5-*trans*-2,3-difenylo-5-metylo-5-hydroksyizoksazolidyny (**107**).



Regioselektywność tej reakcji jest skutkiem konkurencji dwu czynników – z jednej strony oddziaływań FMO [43] (których charakter sprzyja tworzeniu się 4-nitroizoksazolidyn), z drugiej zaś efektów sterycznych (które sprzyjają tworzeniu się 5-nitroizoksazolidyn). Żaden z tych efektów zdecydowanie nie przeważa. Z kolei na stereoselektywność decydujący wpływ mają efekty steryczne. Cząsteczki addentów dążą bowiem do przyjęcia takich orientacji w kompleksie przejściowym reakcji, w których grupa nitrowa i pierścień fenylowy w położeniu C3 znajdują się po przeciwnych stronach pierścienia azolidynowego. Regio- i stereoselektywność tej reakcji dobrze oddają wyniki symulacji ścieżek reakcyjnych za pomocą algorytmu B3LYP/6-31g(d) [44].

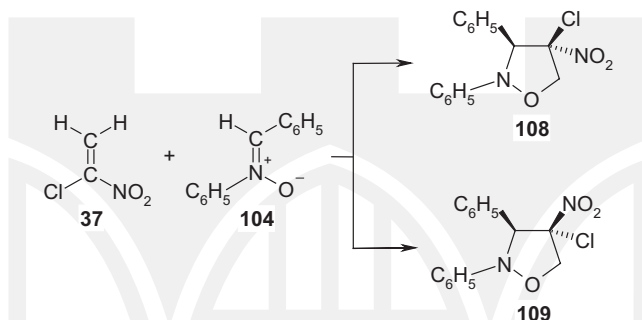
Warunki i wydajności reakcji α -podstawionych nitroetenów z 1,3-dipolami

Nitroalken	1,3-Dipol	Warunki reakcji	Produkt(y) (wydajność)	Literatura
1	7	25°C, eter dietylowy, 12 h	25 (43–56%)	[24, 27]
		110°C, toluen, 12 h	25 (18%)	[25]
	8	25°C, eter dietylowy, 12 h	33 (53%)	[24]
	12	25°C, eter dietylowy, 12 h	32 (72%)	[24]
		110°C, toluen, 28 h	32 (15%)	[25]
	42	60°C, benzen, 7 h	46 (b.d)	[8]
	43	70°C, benzen, 9 h	47 (b.d)	[8]
	92	25°C, eter dietylowy	93 (2%), 94 (10%), 95 (6%), 96 (62%)	[37]
	97	70°C, 1,5 h	98 (59%), 99 (25%)	[39]
	100	40°C, chlorek metylenu, 4 h	101 (37%), 102 (19%), 103 (2%)	[40, 41]
104	25°C, acetonitryl, 24 h	105 (15%), 107 (2%)	[5]	
2	7	25°C, eter dietylowy, 12 h	26 (46%)	[27]
3	7	25°C, eter dietylowy/THF	27 (b.d.)	[28]
4	7	25°C, eter dietylowy/THF	28 (b.d.)	[28]
5	7	25°C, eter dietylowy/THF	29 (b.d.)	[28]
6	7	0–5°C, eter dietylowy, 12h	31 (70%)	[26]
	8	0–5°C, eter dietylowy, 12 h	33 (44%)	[26]
	9	0–5°C, eter dietylowy, 12 h	34 (40%)	[26]
	10	0–5°C, eter dietylowy, 12 h	35 (73%)	[26]
	11	0–5°C, eter dietylowy, 12 h	36 (80%)	[26]
37	7	25°C, eter dietylowy, 12 h	41 (44%)	[27]
	104	25°C, toluen, 24 h	105 (33%), 107 (57%)	[45]
38	7	25°C, eter dietylowy, 12 h	41 (48%)	[27]
48	49	5°C, benzen, 1,5 h	52 (23%), 53 (62%)	[29]
		50–60°C, benzen, 6 h	69 (65%)	[32]
	54	60°C, benzen, 6 h	66 (42%), 69 (38%)	[33]
		50–60°C, benzen, 6 h	70 (76%)	[32]
	55	55–60°C, benzen, 6 h	67 (30%), 70 (40%)	[33]
		50–60°C, benzen, 6 h	71 (47%)	[32]
	56	34°C, eter dietylowy, 19 h	68 (35%), 71 (41%)	[33]
		18–20°C, eter dietylowy, 24 h	87 (80%)	[35]
	72	50–55°C, eter naftowy, 4 h	87 (80%)	[36]
		18–20°C, eter dietylowy, 24 h	88 (84%)	[35]
	73	34°C, eter dietylowy, 16 h	88 (84%)	[36]
		34°C, eter dietylowy, 16 h	89 (56%)	[33]
	74	34°C, eter dietylowy, 16 h	89 (56%)	[33]
75	80°C, benzen, 10h	90 (15%)	[33]	
76	132°C, chlorobenzen, 4h	91 (35%)	[33]	

b.d. – brak danych

W podobnej reakcji α -chloronitroetenu **37** z difenylonitronem **104** powstaje mieszanina stereoizomerycznych 3,4-*cis*- i 3,4-*trans* 2,3-difenylo-4-chloro-4-nitroizoksazolidyn (**108** i **109**) w stosunku ok. 1:2 [45] (Schemat 10). Różnica elektrofilowości addentów jest w tym przypadku większa niż w reakcji **1**+**104** [4]. Dlatego to właśnie czynniki elektronowe posiadają decydujący wpływ kierunek cykloprzyłączenia. Jest on zdeterminowany atakiem silnie nukleofilowego atomu tlenu fragmentu CNO nitronu [46] na aktywowaną pozycję β nitroalkenu [47]. Oddziaływania takie stymulują powstawanie 4-nitroizoksazolidyn **108** i **109**. Także w tym przypadku wyniki symulacji ścieżek reakcyjnych z wykorzystaniem algorytmu B3LYP/6-31g(d) dają doskonale korelacje z danymi eksperymentalnymi [45, 47].

Schemat 11



Tymi danymi zamykają się dostępne (wg danych na rok 2012) w *Chemical Abstract* informacje na temat [2+3] cykloaddycji α -podstawionych nitroetenów z 1,3-dipolami. W tabeli 1 przytoczono najbardziej istotne informacje dotyczące tych reakcji.

4. Wnioski

Jak wynika z przedyskutowanego materiału, znacząca większość [2+3] cykloaddycji α -R-nitroetenów realizuje się w sposób wysokoselektywny. Obserwowana selektywność daje się objaśnić wpływem czynników elektronowych i sterycznych. Niestety, w rozlicznych przypadkach pierwotne produkty cykloaddycji nie należą do trwałych połączeń. Dotyczy to zwłaszcza tych połączeń, które w wyniku eliminacji małych cząsteczek (N_2 , HNO_2 , HX) mogą ulec konwersji w stabilniejsze termodynamicznie związki cykliczne.

Należy nadmienić, że [2+3] cykloaddycje α -R-nitroetenów cieszą się w ostatnim czasie rosnącym zainteresowaniem chemików organicznych. Uwagę zwracają m.in. opublikowane niedawno kwantowochemiczne studia reakcji *gem*-dinitroetenu z ozonem [48] i azydkiem metylu [49]. Tak więc w najbliższych latach arsenał wiedzy dotyczący tytułowych reakcji powinien doczekać się istotnego poszerzenia.

Literatura

- [1] Perekalin V.V., Sopova A.S., *Nepredelnye nitrosoedinenya*, Moskwa 1966.
- [2] Jasiński R., Mikulska M., Barański A., *Chemik*, **62**, 154, 2009.
- [3] Perekalin V.V., Lipina E.S., Berestovitskaya V.M., Efremov D.A., *Nitroalkenes: Conjugated Nitroalkenes*, Wiley, New York 1994.
- [4] Barański A., Jasiński R., Cholewka E., w: *Postępy w inżynierii i technologii chemicznej* (Ed.: Z. Kowalski), Cracov University of Technology 2011.
- [5] Jasiński R., Mikulska M., Barański A., *Slov. Chim. Acta.*, **58**, 41, 2011.
- [6] Hesse G., Jäger V., *Liebigs Ann. Chem.*, **740**, 79, 1970.
- [7] Hesse G., Jäger V., *Liebigs Ann. Chem.*, **740**, 85, 1970.
- [8] Cailleux P., Piet J.C., Benhaoua H., Carrie R., *Bull. Soc. Chim. Belg.*, **105**, 45, 1996.
- [9] Lešetický L., Fidler V., Procházka M., *Coll. Czech. Chem. Commun.*, **38**, 459, 1973.
- [10] Buckley G.D., Scaife C.W., *J. Chem. Soc.*, 1471, 1947.
- [11] Blomquist A.T., Tapp W.J., Johnson J.R., *J. Am. Chem. Soc.*, **67**, 1519, 1945.
- [12] Zeldin L., Shechter H., *J. Am. Chem. Soc.*, **79**, 4708, 1957.
- [13] Gold M.H., Hamel E.E., Klager K., *J. Org. Chem.*, **22**, 1665, 1957.
- [14] Novikov S.S., Shvehgheimer G.A., Dudinskaya A.A., *Izv. Akad. Nauk SSSR (Khimiya)*, 690, 1961.
- [15] Wade P.A., Murray Jr. J.K., Shah-Patel S., Lee H.T., *Chem. Commun.*, 1090, 2002.
- [16] Mikulska M., Jasiński R., Barański A., *Izv. VUZ Khim. & Khim Tekhnol.*, **52**, 3, 2009.
- [17] Huisgen R., in: *1,3-Dipolar Cycloaddition Chemistry*, (Ed. A. Padwa), Wiley Interscience, New York 1984.
- [18] Huisgen R., *Chem. Pharm. Bull.*, **48**, 757, 2000.
- [19] Frederickson M., *Tetrahedron*, **53**, 403, 1997.
- [20] Motorina I.A., Sviridova L.A., *Khim. Geteroskl. Soed.*, 829, 1992.
- [21] Barański A., Kelarev V.I., *Khim. Geteroskl. Soed.*, 435, 1992.
- [22] Barański A., Jasiński R., *Wiad. Chem.*, **56**, 829, 2002.
- [23] Boyer J.H., *Nitroazoles: the C-Nitro Derivatives of N- and NO- Five-membered Heterocycles*, VCH, Berlin 1986.
- [24] Shvehgheimer G.A., Barański A., Grzegożek M., *Synthesis*, 612, 1976.
- [25] Barański A., *Polish J. Chem.*, **59**, 605, 1985.
- [26] Barański A., *Polish J. Chem.*, **60**, 419, 1986.
- [27] Barański A., *Polish J. Chem.*, **56**, 1585, 1982.
- [28] Mühlstädt M., Schultze B., *J. Prakt. Chem.*, **313**, 745, 1971.
- [29] Budynina E.M., Averina E.B., Ivanova O.A., Yashin N.V., Kuznetsova T.S., Zefirov N.S., *Synthesis*, **16**, 2609, 2004.
- [30] Jasiński R., *Tetrahedron*, **69**, 927, 2013.
- [31] Auwers K., Ungemach O., *Ber.*, **66**, 1205, 1933.
- [32] Gabitov F.A., Fridman A.L., Surkov W.D., *Zh. Org. Khim.*, **8**, 2457, 1972.
- [33] Ivanova O.A., Budynina E.M., Averina E.B., Kuznetsova T.S., Grishin Y.K., Zefirov N.S., *Synthesis*, **13**, 2009, 2007.
- [34] Alphen J. Van, *Rec. Trav. Chim.*, **62**, 485, 1943.
- [35] Gabitov F.A., Fridman A.L., Nikolayeva A.D., *Zh. Org. Khim.*, **7**, 1309, 1971.
- [36] Gabitov F.A., Fridman A.L., Patent S.U. 348570, 1972.
- [37] Felluga F., Pitacco G., Visintin C., Valentin E., *Helv. Chim. Acta*, **80**, 1457, 1997.

- [38] Ginsburg D., *Tetrahedron*, **39**, 2095, 1983.
- [39] Yamago S., Ejiri S., Nakamara M., Nakamara E., *J. Am. Chem. Soc.*, **115**, 5344, 1993.
- [40] Kokulovsky C., Dirat O., Berranger T., Langlois Y., Tran-Huu-Dau M.E., Riche C., *J. Org. Chem.*, **63**, 5123, 1998.
- [41] Voituriez A., Moulinas J., Kouklovsky C., Langlois Y., *Synthesis*, **9**, 1419, 2003.
- [42] Fleming I., *Frontier Orbitals and Organic Chemical Reactions*, Wiley, Chichester 1976.
- [43] Jasiński R., Ciężkowska A., Lyubimcev A., Barański A., *Khim. Geterotskl. Soed.*, 243, 2004.
- [44] Jasiński R., Wąsik K., Mikulska M., Barański A., *J. Phys. Org. Chem.*, **22**, 717, 2009.
- [45] Jasiński R., Mikulska M., materiały 50 Zjazdu PTChem, Toruń 2007, 312.
- [46] Jasiński R., Koifman O., Barański A., *Mendeleev Commun.*, **21**, 262, 2011.
- [47] Socha J., Mikulska M., Michorczyk P., Jasiński R., Barański A., materiały 53 Zjazdu PTChem, s. 279, Gliwice 2010.
- [48] Kharbuli A.M., Lyngdoh R.H.D., *J. Mol. Struct. (TheoChem)*, **860**, 150, 2008.
- [49] Cantillo D., Avalos M., Babiano R., Cintas P., Jimenez J.L., Palacios J.C., *J. Phys. Org. Chem.*, **25**, 77, 2012.

