

Stanisław Dudek, Jacek Żarski, Renata Kuśmierk-Tomaszewska

**REAKCJA KUKURYDZY NA NAWADNIANIE
W ŚWIETLE WYNIKÓW WIELOLETNIEGO
EKSPERYMENTU POLOWEGO**

***STUDY OF MAIZE RESPONSE ON DRIP IRRIGATION
BASING ON LONG-TERM FIELD EXPERIMENT***

Streszczenie

W latach 2000–2008 przeprowadzono w Stacji Badawczej Wydziału Rolniczego UTP w Mochelku pod Bydgoszczą dwuczynnikowe doświadczenie z nawadnianiem kukurydzy odmiany ‘Cedro’ o liczbie FAO 230 na glebie płowej typowej, zaliczanej do klasy IVa. W badaniu zastosowano dwa poziomy nawożenia azotem (90 i 150 kg ha⁻¹). Wody dostarczano roślinom za pomocą linii kroplującej z wtopionymi emiterami firmy NAAN, rozłożoną wzdłuż rzędów roślin. Średnio, w latach badań, zadysponowano 112 mm wody (28 mm w czerwcu, 49 mm w lipcu, 28 mm w sierpniu i 7 mm we wrześniu), a w poszczególnych sezonach ilość dodatkowej wody wahała się od 25 mm (w roku 2007) do 215 mm w 2008. Zastosowanie nawadniania spowodowało wzrost plonu suchego ziarna kukurydzy z poziomu 5,62 t ha⁻¹ do 8,53 t ha⁻¹, a więc o 2,91 t ha⁻¹ (52%). Wielkość przyrostu plonu w latach badań wahała się od 0,46 t ha⁻¹ w roku 2000, poprzez 0,60 (w chłodnym 2004) do 8,47 (w 2006 z bardzo gorącym i suchym lipcem) i 6,26 w 2008 r. (z małymi opadami V–VII). Uzyskane w doświadczeniu efekty stosowania uzupełniającego niedobory opadów nawadniania zależały w największym stopniu od sumy opadów atmosferycznych lipca, im te opady mniejsze, tym przyrosty plonu ziarna większe. Drugi czynnik – nawozowy – także spowodował istotne zwiększenie produkcji ziarna, ale w porównaniu do nawadniania, znacznie mniejsze, bo wynoszące zaledwie 0,25 t ha⁻¹. Czynniki doświadczenia niejednakowo różnicowały wybrane elementy plonu. Zastosowanie nawadniania korzystnie wpłynęło na podniesienie udziału kolb w plonie ogólnym, udział ziarna w kolbie i dorodność ziarna, a nieznacznie obniżyło zawartość białka. Zwiększona dawka azotu wyraźnie podniosła MTZ oraz niewiele zwiększyła ilość białka. Pozostałe cechy plonu, w tym wilgotność ziarna podczas zbioru, nie zostały zróżnicowane czynnikami doświadczenia.

Słowa kluczowe: kukurydza, nawadnianie kropłowe, nawożenie azotem

Summary

The paper presents results of a field experiment with maize varieties 'Cedro' (FAO230) irrigated on a light soil, carried out in years 2000-2008 in Mochelek (near Bydgoszcz). A combination of 90 and 150 kg of nitrogen per hectare was applied. Water was supplied by a drip irrigation system using the NAAN emitters. The layout of drip laterals placed in between plants' rows provided a moisture to the soil in a root zone. In the years of the study an average dose of water of 112 mm was used for irrigation (28 mm in June, 49 mm in July, 28 mm in August and 7 mm in September), but in separate seasons the dose varied from 25 mm (year 2007) to 215 mm (year 2008). Irrigation have increased the yield of corn from 5,62 t ha⁻¹ to 8,53 t ha⁻¹, which is 2,91 t ha⁻¹ (52%). The increase of the yield of corn in separate years varied from 0,46 t ha⁻¹ (year 2000) and 0,60 t ha⁻¹ (in a cold year 2004) to 8,47 t ha⁻¹ (in year 2006 when the air temperature in July was very high) and 6,26 t ha⁻¹ (in year 2008 when was a rainfall shortage in months V-VII). The results of the studies have shown that the effects of the supplementary irrigation have subordinated from the rainfall in July. The lowest was the rainfall in the month, the highest was the corn yield increase. Also the nitrogen fertilization have influenced positively the effects of the yield, but in the comparison with the irrigation effects, the increase was less and equalled of 0,25 t ha⁻¹. Both elements, water and nitrogen have influenced the constituents of yield but in a different way. Irrigation have increased the quota of corncobs in the total yield, the quota of corn in a cob and quality of corn, but slightly decreased a quantity of protein. The highest dose of nitrogen (150 kg ha⁻¹) has significantly increased the DM grain of maize and has slightly increased quantity of protein. Other constituents of yield i.e. a moisture of corn haven been influenced by the elements applied.

Key words: maize, drip irrigation, nitrogen fertilization

WSTĘP

Kukurydza należy do najważniejszych roślin uprawnych w światowej produkcji roślinnej. Świadczy o tym zarówno przeznaczony pod nią areal jak i wielkość zbiorów, sytuując tę roślinę wśród trzech najważniejszych, obok pszenicy i ryżu, upraw [FAOSTAT 2008]. Znaczenie gospodarcze kukurydzy jest efektem jej wielokierunkowego wykorzystania jako rośliny alimentacyjnej, paszowej i przemysłowej [Dubas, Michalski 2005]. O roli kukurydzy decyduje w głównej mierze produkcja ziarna, a jest ona nadal, mimo znacznego postępu w hodowli odmian, w dużym stopniu uzależniona od warunków meteorologicznych, zwłaszcza dopływu ciepła i wody. Niedobór ciepła jest przyczyną nie osiągnięcia właściwej dojrzałości technologicznej ziarna i w konsekwencji spadku plonu. Brak wody z kolei powoduje nierównomierny w czasie wegetacji roślin rozwój, a w skrajnych przypadkach ich zasychanie. Zmienność czasowa temperatury powietrza, a w większym stopniu opadów atmosferycznych jest cechą klimatu Polski.

Efektom wahań elementów klimatu jest wielkość areалу i poziom plonowania kukurydzy w naszym kraju w XXI wieku. Powierzchnia zasiewów wahała się od 152 tys. ha (2000 r.) do 412 tys. w roku 2004 [GUS 2008]. Plony ziarna w tym czasie ustabilizowały się na poziomie około 61 t. Jednak wystąpienie niekorzystnych, pod względem klimatycznym, lat (2003, 2004, 2006 i 2008) spowodowało obniżenie poziomu plonu do 43 t, a w konsekwencji spadek areалу do 262 tys. ha. Przyczyną niestabilnej produkcji kukurydzy na ziarno są zatem warunki atmosferyczne, zwłaszcza zbyt małe opady atmosferyczne [Jankowiak, Krasowicz 1997; Sulewska 2004; Żarski 2006].

Niedobory opadów atmosferycznych w uprawie roślin można uzupełniać stosując nawadnianie. Badań nad wpływem nawadniania na plonowanie kukurydzy przeprowadzono w Polsce niewiele, głównie w II połowie XX wieku [Dzieżyk 1988; Grabarczyk i in. 1994]. W ostatnich latach kontynuuje je tylko ośrodek bydgoski, uzyskując zadowalające efekty, tym lepsze im gorsza gleba i mniejsze opady naturalne [Żarski, Dudek 2003; Żarski i in. 2004].

Celem badań było sprawdzenie efektów nawadniania kukurydzy ziarnowej uprawianej w warunkach centralnej Polski na glebie lekkiej.

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe badania polowe przeprowadzono w latach 2000–2008 na terenie Stacji Badawczej Wydziału Rolniczego UTP w Mochelku położonym w kierunku północno-zachodnim od Bydgoszczy. Kukurydzę uprawiano na glebie płowej typowej wytworzonej z piasków fluwioglacjalnych, określanej jako lekka na zwięzłym podłożu (piasek gliniasty lekki na glinie lekkiej), kompleksu żytniego dobrego, klasy bonitacyjnej IVa. Obiektem badań była kukurydza odmiany 'Cedro' o liczbie FAO 230. Eksperyment założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym z dwoma czynnikami: I – nawadnianie (W_0 – bez nawadniania, W_1 – nawadnianie), II – nawożenie azotem (N_1 – 90, N_2 – 150 kg $N\ ha^{-1}$). Warunki termiczne w okresie badań na ogół sprzyjały uprawie kukurydzy na ziarno, średnia temperatura powietrza była nieco (o $0,3^\circ C$) wyższa od notowanej w wieloleciu (tab. 1).

Wyjątkiem był 2004 rok (chłodniejszy o $1,1^\circ C$), w którym zanotowano wyraźne niższe temperatury, szczególnie w okresach początkowego wzrostu roślin (maj i czerwiec), a także w lipcu. W badanym okresie wystąpiły lata wyraźnie cieplejsze od normy, zwłaszcza 2002 (cieplejszy o $0,7^\circ C$) i 2006 ($0,6^\circ C$), charakteryzujący się niespotykaniem dużym niedosytem wilgotności powietrza w lipcu (średnia wartość wyniosła 14,5 hPa, a normalnie rzadko przekracza 8 hPa). W znacznie większym stopniu zróżnicowane były opady atmosferyczne, suma średnia okazała się o 35 mm większa od normy (tab. 2), ale nierównomierny w czasie rozkład sprawił, że w latach badań występowały liczne okresy posuchy.

Tabela 1. Średnia temperatura powietrza w latach 2000–2008
Table 1. The mean air temperature in years 2000–2008

Okres	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
1949–2008	7,3	12,8	16,3	18,0	17,4	13,2	14,2
2000–2008	7,8	13,4	16,3	18,7	17,8	13,0	14,5
2000	11,0	14,5	16,7	15,7	17,3	11,7	14,5
2001	7,0	13,1	14,3	19,3	18,3	11,2	13,9
2002	7,5	15,7	16,3	18,9	19,9	12,9	15,2
2003	6,4	14,4	17,6	19,2	18,4	13,6	14,9
2004	7,5	11,3	14,7	16,4	17,9	12,7	13,4
2005	7,4	12,2	14,9	19,4	16,3	14,8	14,2
2006	7,1	12,5	16,8	22,4	16,6	15,2	15,1
2007	8,5	13,8	18,2	18,0	17,8	12,4	14,8
2008	7,6	13,2	17,6	19,2	17,8	12,4	14,6

Tabela 2. Sumy opadów atmosferycznych i dawki nawodnieniowe w latach 2000–2008
Table 2. The total rainfall and doses of irrigated water in years 2000–2008

Okres	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IV–IX
Opady atmosferyczne (mm)							
1949–2008	28,0	41,7	53,4	70,8	52,0	41,0	286,9
2000–2008	32,6	52,3	41,6	78,4	70,3	47,1	322,3
2000	14,6	24,6	19,1	100,9	58,4	57,8	275,4
2001	42,4	34,9	80,5	146,1	49,7	122,6	476,2
2002	17,7	111,5	31,3	77,9	58,0	70,5	366,9
2003	18,5	18,1	30,4	106,2	17,7	16,7	207,6
2004	32,1	54,4	39,6	53,5	138,7	40,0	358,3
2005	34,8	82,6	30,5	33,6	43,4	17,8	242,7
2006	77,0	59,9	21,8	24,2	129,0	40,6	352,5
2007	17,6	73,1	105,5	104,7	42,1	37,6	380,6
2008	38,7	11,5	15,5	58,7	95,5	20,2	240,1
Dawki nawodnieniowe (mm)							
2000–2008	–	–	28	49	28	7	112
2000	–	–	25	20	55	–	100
2001	–	–	–	30	50	–	80
2002	–	–	25	75	20	20	140
2003	–	–	50	20	70	–	140
2004	–	–	–	25	–	20	45
2005	–	–	20	60	40	25	145
2006	–	–	20	100	–	–	120
2007	–	–	–	25	–	–	25
2008	–	–	115	85	15	–	215

Spowodowały one występowanie potrzeb nawadniania roślin nawet w latach o sumarycznie większych opadach od normy, na przykład w 2006 roku wysokie opady miały miejsce wiosną (kwiecień, maj) oraz w sierpniu, po bardzo suchym lipcu. Duże potrzeby nawadniania wystąpiły szczególnie w latach 2002, 2003, 2005, 2006 oraz 2008, w których uzupełniające niedobory opadów dawki

nawodnieniowe były największe (tab. 2). Wodę na poletka dostarczano z ujęcia wodociągu wiejskiego, a do bezpośredniego nawadniania roślin używano linii kroplującej „*drip-line*” z wtopionymi co 200 mm w ścianę przewodu emiterami labiryntowymi produkcji firmy NAAN, ułożonej międzyrzędowo.

WYNIKI

Plon suchego ziarna kukurydzy w warunkach kontrolnych wyniósł średnio $5,62 \text{ t ha}^{-1}$, a po zastosowaniu uzupełniającego nawadniania wzrósł do $8,53 \text{ t ha}^{-1}$ (tab. 3). Przyrost plonu spowodowany czynnikiem wodnym wyniósł $2,91 \text{ t ha}^{-1}$ (51,8%), jednak w poszczególnych latach badań ulegał znacznym wahaniom, zależnym od wielkości i rozkładu opadów atmosferycznych.

Tabela 3. Plon suchej masy ziarna kukurydzy (t ha^{-1})
Table 3. DM grain yield of corn (t ha^{-1})

Rok	W ₀		W ₁		W ₀	W ₁	N ₁	N ₂	NIR _{0,05}		
	N ₁	N ₂	N ₁	N ₂					I	II	III
2000	8,36	8,37	9,39	8,26	8,36	8,82	8,88	8,32	r.n.	r.n.	r.n.
2001	6,63	6,37	6,98	7,81	6,50	7,39	6,81	7,09	0,59	r.n.	r.n.
2002	6,86	6,45	7,71	7,74	6,65	7,72	7,29	7,09	0,52	r.n.	r.n.
2003	6,63	7,08	8,89	9,27	6,85	9,08	7,76	8,18	0,23	r.n.	r.n.
2004	5,36	6,23	6,22	6,59	5,80	6,40	5,79	6,41	0,54	0,36	0,22
2005	4,20	4,90	9,62	9,94	4,55	9,78	6,91	7,42	0,24	r.n.	r.n.
2006	0,50	0,50	8,73	9,21	0,50	8,97	4,61	4,85	0,12	r.n.	r.n.
2007	9,23	9,43	9,90	10,83	9,33	10,36	9,56	10,13	0,40	0,47	r.n.
2008	1,94	2,07	7,98	8,54	2,00	8,26	4,96	5,31	0,11	r.n.	r.n.
2000-2008	5,52	5,71	8,38	8,69	5,62	8,53	6,95	7,20	0,09	0,22	r.n.

W₀ – bez nawadniania

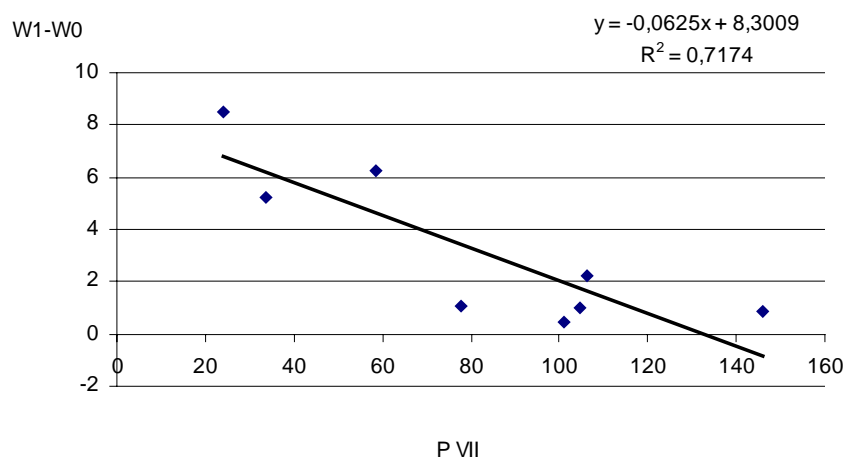
W₁ – nawadnianie

N₁ – nawożenie 90 kg N ha⁻¹

N₂ – nawożenie 150 kg N ha⁻¹

r.n. – różnica nieistotna

Najmniejszy efekt nawadniania $0,46 \text{ t ha}^{-1}$ uzyskano w pierwszym, 2000 roku badań oraz w roku 2004 (chłodnym), a najlepsze przyrosty plonu ziarna w latach 2006 i 2008, odpowiednio $8,47$ i $6,26 \text{ t ha}^{-1}$. Były to lata, w których praktycznie nie zebrano żadnego plonu suchego ziarna kukurydzy (2006) lub plonowanie okazało się bardzo niskie (2008), bo wynoszące odpowiednio $0,50$ i $2,00 \text{ t ha}^{-1}$. Nawadnianie w tych warunkach było niezbędnym zabiegiem warunkującym prawidłowy rozwój roślin i uzyskanie jakiegokolwiek plonu ziarna. Uzyskane w doświadczeniu efekty stosowania uzupełniającego niedobory opadów nawadniania zależały w największym stopniu od sumy opadów lipca, wraz z ich wzrostem malał przyrost dodatkowego plonu ziarna (rys. 1). Efektywność 1 mm zastosowanej dodatkowo wody wyniosła średnio 26 kg ziarna, największa była w latach cechujących się najlepszymi przyrostami plonu ziarna (2006, 2005 i 2008), przynosząc aż $70,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ w roku 2006.



Rysunek 1. Zależność przyrostu plonu ziarna kukurydzy od opadów w lipcu
Figure 1. Relation between the corn yield increase and the total rainfall in July

Drugi czynnik doświadczenia – nawozowy – także spowodował istotne zwiększenie produkcji ziarna kukurydzy, ale w porównaniu do nawadniania, znacznie mniejsze, bo wynoszące zaledwie $0,25 \text{ t ha}^{-1}$. Zwiększone zasilanie roślin azotem z 90 do 150 kg N nieco lepsze (o $0,31 \text{ t ha}^{-1}$ wobec $0,19$), ale istotne, efekty przyniosło na polstkach nawadnianych.

Czynniki doświadczenia niejednakowo kształtowały wybrane elementy struktury i jakości plonu. Nawadnianie korzystnie wpłynęło na zwiększenie udziału kolb w plonie ogólnym roślin (średnio o 3,1%), zwiększenie udziału ziarna w kolbie (o 10,3%) i poprawę dorodności ziarna (o 19,4 g), a nieznacznie obniżyło (o 0,1%) zawartość białka ogólnego w ziarnie (tab. 4). Zwiększona dawka azotu wyraźnie podniosła (o 14,3 g) MTN i zawartość białka (o 0,37%), w obydwu przypadkach lepsze efekty wystąpiły w warunkach bez nawadniania. Zastosowane w doświadczeniu czynniki, nawadnianie i nawożenie azotem, praktycznie nie wpływały na wilgotność ziarna podczas zbioru, co należy uznać za korzystne z punktu widzenia ich stosowania na szerszą skalę.

Na podstawie przeprowadzonego w latach 2000–2008 doświadczenia z nawadnianiem i nawożeniem kukurydzy ziarnowej na glebie lekkiej w środkowej Polsce należy stwierdzić, że nawadnianie pokrywało niedobory opadów atmosferycznych, które w tym rejonie naszego kraju mogą, ale nie muszą, pojawiać się praktycznie w każdym sezonie wegetacyjnym. Duża zmienność czasowa opadów atmosferycznych należy do najważniejszych cech klimatu Polski, w efekcie prawie w każdym sezonie wegetacji zdarzają się dłuższe okresy bez-

opadowe, przyczyniając się do ograniczenia produkcji tych roślin, które w danym czasie osiągnęły okres wzmożonego zapotrzebowania na wodę. Wyposażenie gospodarstwa w urządzenia nawadniające wydaje się zatem niezbędne w celu zapewnienia stabilnych i o odpowiednio wysokiej jakości plodów rolnych, nawet przy założeniu, że nie w każdym roku będą wykorzystane. Wyniki niniejszej pracy potwierdzają zdania o interwencyjnej czy uzupełniającej roli nawadniania na glebie o podłożu zwięzłym, niezależnie od uprawianych roślin [Zarski, Dudek 2003]. Ponadto dostarczają nowego doświadczenia zastosowania nawadniania kropłowego w uprawie roślin wielkoobszarowych, dotąd w Polsce w takiej skali i w takich przypadkach niestosowanych, a z powodzeniem wykorzystywanych w innych krajach, głównie w USA [Howell i in. 1997; Lamm, Trooien 2003].

Tabela 4. Wybrane elementy struktury plonu i wskaźniki jakości ziarna kukurydzy (średnio 2000–2008)

Table 4. Chosen constituents of yield structure and grain quality indices of the corn (mean for 2000–2008)

Wariant		Udział kolb	Udział ziarna w kolbie	Wilgotność ziarna	MTZ	Zawartość białka
W	N	%	%	%	g	%
W ₀	N ₁	53,1	56,2	33,84	249,6	10,76
	N ₂	53,8	56,1	33,81	266,2	11,30
	Średnio N	53,4	56,1	33,82	257,9	11,03
W ₁	N ₁	56,6	66,0	33,43	271,3	10,83
	N ₂	56,4	66,9	33,33	283,1	11,04
	Średnio N	56,5	66,4	33,39	277,3	10,93

WNIOSKI

1. Zastosowanie nawadniania kropłowego spowodowało istotny wzrost plonu ziarna oraz zwiększyło udział kolb w plonie ogólnym, udział ziarna w kolbach i masę tysiąca nasion kukurydzy.

2. Wpływ zwiększonej dawki nawożenia azotowego na wielkość plonu ziarna kukurydzy był dużo mniejszy niż nawadniania. Lepsze efekty zastosowania dodatkowego azotu wystąpiły w warunkach bez nawadniania.

3. Nawadnianie i nawożenie azotem nie wpłynęło na wilgotność ziarna podczas zbioru.

4. Efekty nawadniania zależały od wielkości opadów atmosferycznych, w największym stopniu od ich sumy w lipcu, im były one mniejsze tym przyrost plonu większy.

BIBLIOGRAFIA

- Dubas A., Michalski T. *Kukurydza* [w:] *Rynki i technologie produkcji roślin uprawnych.*, praca pod red. J. Chotkowskiego, Wyd. Wieś Jutra, 2005, s. 224–237.
- Dzieżyń J. *Rolnictwo w warunkach nawadniania*. PWN, Warszawa 1988.
- FAOSTAT, 2008. www.faostat.fao.org.
- Grabarczyk S., Dudek S., Grzelak B., Peszek J., Rzekanowski C., Żarski J. *Możliwości produkcyjne gleby bardzo lekkiej w warunkach deszczowania*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 414, 1994, s. 145–152.
- GUS, 2008. www.stat.gov.pl
- Howell T.A., Schneider A.D., Evett S.R. *Subsurface and surface microirrigation of corn*. Trans ASAE 40 (3), 1997, s. 635–641.
- Jankowiak J., Krasowicz S. *Ekonomiczne i organizacyjne aspekty uprawy kukurydzy w Polsce*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 450, 1997, s. 163–183.
- Lamm F.R., Trooien T.P. *Subsurface drip irrigation for corn production: a review of 10 years of research in Kansas*. Irrig Sci 22, 2003, s. 195–200.
- Sulewska H. *Wymagania środowiskowe kukurydzy i możliwości jej uprawy w Polsce*. [w:] *Technologie produkcji kukurydzy*, pod red. A. Dubasa, Wyd. Wieś Jutra, 2004, s. 16–23.
- Żarski J., *Potrzeby i efekty nawadniania zbóż* [W:] *Nawadnianie roślin*, praca pod red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL, 2006.
- Żarski J., Dudek S. *Rola deszczowania w kształtowaniu plonowania wybranych upraw polowych*. Pamiętnik Puławski 132, 2003, s. 443–449.
- Żarski J., Dudek S., Grzelak B., 2004. *Rola czynnika wodnego i termicznego w kształtowaniu plonów ziarna kukurydzy*. Acta Agrophysica, 3 (1), 2004, s. 189–195.

Dr inż. Stanisław Dudek
Prof. dr hab. inż. Jacek Żarski,
Dr inż. Renata Kuśmierek-Tomaszewska,
Katedra Melioracji i Agrometeorologii
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, 85-029 Bydgoszcz, ul. Bernardyńska 6-8
052-3749584, dudek@utp.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Cezary Podsiadło