

POTENCJALNE PRZYROSTY BIOMASY BURAKA CUKROWEGO  
W RÓŻNYCH WARUNKACH WODNO-NAWOZOWYCH

Janina Moszowa, Piotr Kowalik, Danuta Dzieżycowa

Instytut Rolniczych Podstaw Melioracji AR, Wrocław  
Instytut Hydrotechniki PG, Gdańsk

WSTĘP

Metoda matematycznego prognozowania plonów jest stosowana w rolnictwie wielu krajów. Również w Polsce można zauważyć coraz większe zainteresowanie tą metodą. Na podstawie matematycznego modelu potencjalnych przyrostów biomasy podejmowane były próby prognozowania plonu rzepaku [8], ziemniaków [7], użytków zielonych [6]. Nie ma natomiast dotychczas w Polsce matematycznego modelu, pozwalającego obliczyć plon buraka cukrowego.

Celem niniejszej pracy jest zaadoptowanie matematycznego modelu przyrostu plonu, opracowanego przez de Wita [10], a szczegółowo opisanego przez Kowalika [5] oraz w pracy doktorskiej Moszowej [7], do obliczeń potencjalnego plonu buraka cukrowego. W modelu uwzględniony jest ograniczający wpływ na produkcję biomasy, temperatury, wielkości powierzchni liści oraz respiracji, czyli strat na podstawowe procesy życiowe roślin.

Optymalne temperatury powietrza, w których najintensywniej przebiega fotosynteza, są dla każdej rośliny inne. W modelu ograniczający wpływ temperatury na przyrost biomasy określony jest za pomocą współczynnika  $\alpha_T$ . W przypadku, gdy temperatura jest optymalna dla właści-

wego przebiegu fotosyntezy, współczynnik  $\alpha_T = 1$ . Wartości tego współczynnika dla buraka przytoczone przez Kowalika [5] za de Witem są następujące:

$T^{\circ}\text{C}$	0	2	5	10	15	20	25	30	35
$\alpha_T$	0,0	0,0	0,50	0,75	0,93	1	0,97	0,86	0,66

Następnym czynnikiem, uwzględnionym w obliczeniach, jest wielkość powierzchni asymilacyjnej. W produkcji roślinnej bardzo ważne jest, ażeby powierzchnia liści jak najszybciej osiągnęła optymalną wielkość. Wpływ wielkości powierzchni asymilacyjnej na przyrost biomasy określony jest za pomocą współczynnika  $\gamma$ . Wyznacza się go przez porównanie aktualnej powierzchni liści z powierzchnią optymalną. De Wit przeprowadził obliczenie przyrostu biomasy dla LAI = 5, przyjmując, że dla większości roślin optymalna powierzchnia liści jest wtedy, gdy na 1 m<sup>2</sup> gleby przypada 5 m<sup>2</sup> liści [10]. Dla buraka cukrowego optymalna powierzchnia liści jest wtedy, gdy na 1 m<sup>2</sup> gleby przypada 3 m<sup>2</sup> liści, czyli indeks liści LAI = 3 [4, 11].

Produkcja biomasy uzależniona jest również od strat respiracyjnych. Wielkość tych strat zależy od wielu czynników, ale średnio można przyjąć, że dla buraków cukrowych wynoszą one 30% [1, 3]. Mnożąc wartość fotosyntezy brutto przez współczynnik  $\varphi = 0,7$ , otrzymuje się maksymalną produkcję biomasy roślinnej netto.

### WARUNKI I ZAKRES BADAŃ

Doświadczenia polowe przeprowadzono w latach 1967, 1968, 1970 w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym w Swojcu koło Wrocławia na glebie pseudobielicowej, wytworzonej z piasku gliniastego mocnego na piasku słabo gliniastym - klasa IV a, kompleks 4 - żytńi, bardzo dobry. Doświadczenie prowadzono metodą losowanych podbloków w czterech powtórzeniach z dwoma czynnikami zmiennymi. Na tle dawki 30 t/ha obornika wnoszonej co 3 lata oraz na tle podbloków nie nawadnianych i nawadnianych badano wpływ różnych dawek nawozów mineralnych. Porównywano następujące warianty nawozowe:

NPK - 300 kg NPK/ha,

3NPK - 900 kg NPK/ha,

NPK + 2N - 540 kg NPK/ha,

Podstawowe dawki w kg/ha - N 120, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60, K<sub>2</sub>O 120.

Nawożenie azotowe w postaci saletrzaku i saletry amonowej wysiewano w 3 dawkach: 1/3 przed siewem, a 2/3 pogłównie w dwóch terminach. Fosforowe stosowano w postaci superfosfatu, potasowe w postaci soli potasowej, obydwa przed siewem.

Nawadniano w okresie największego zapotrzebowania na wodę, utrzymując siłę ssącą gleby na głębokości 20 cm 0,3-0,4 at. W zależności od przebiegu pogody w poszczególnych okresach wegetacyjnych zastosowano 2-4 dawki wody po 30 mm każda. W czasie wegetacji roślin określano powierzchnię asymilacyjną liści oraz plony suchej masy 10 roślin. Powierzchnię liści określano, mierząc długość i szerokość każdego liścia, a następnie mnożono średnią długość przez średnią szerokość liścia oraz przez współczynnik 0,76 [2]. Plon suchej masy uzyskano w oparciu o plony świeżej masy liści i korzeni po wysuszeniu w temperaturze 105°C.

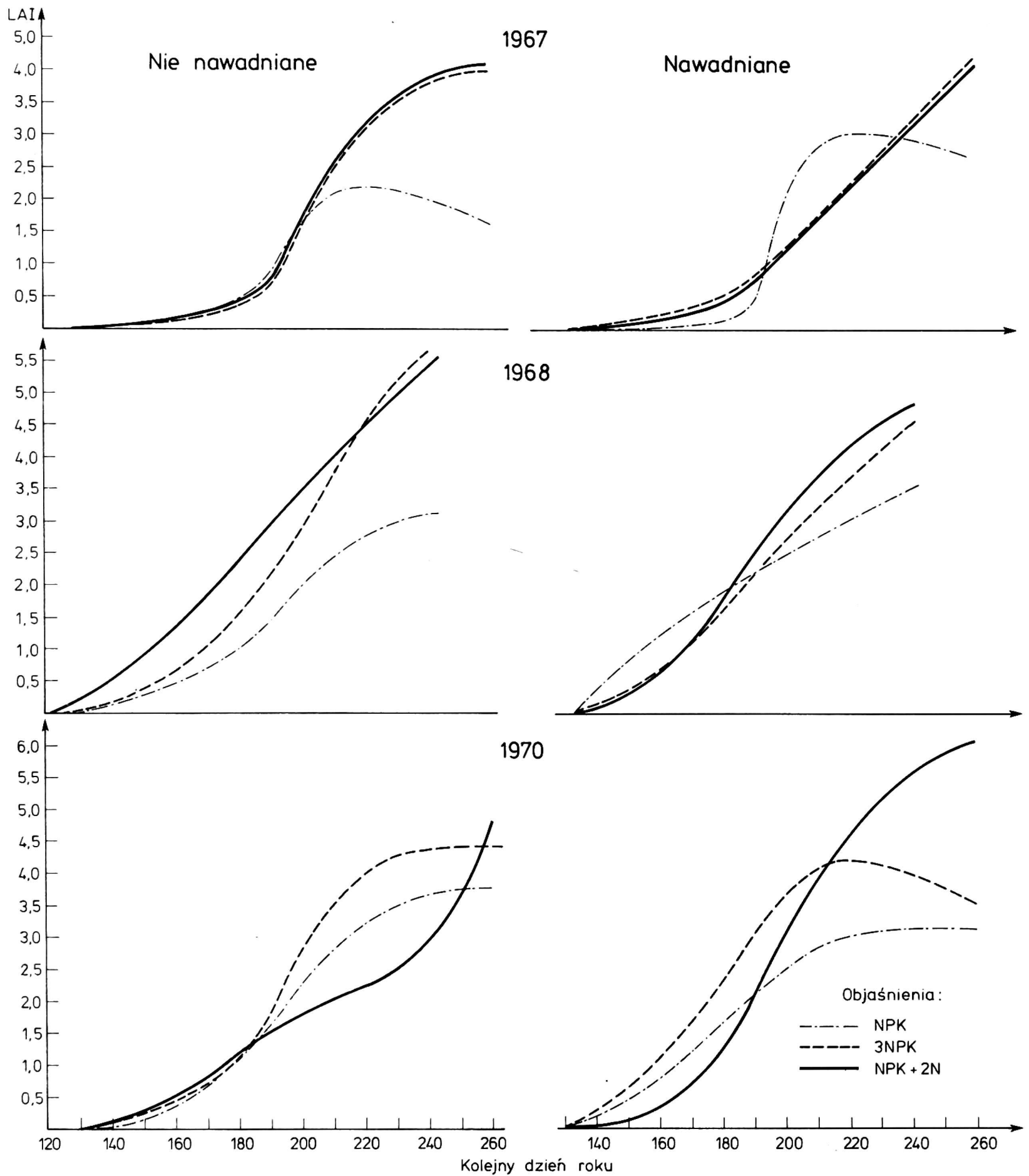
Do obliczenia dobowych przyrostów biomasy roślinnej zastosowano wzór opracowany przez Feddesa i wsp. [3] w następującej postaci:

$$P_{\text{pot}}^i = \left[ P_0 + 0,9 \frac{n^i}{N^i} (P_c - P_0) \right] \cdot \alpha_T^i \cdot f^i \cdot \varphi$$

gdzie

- $P_{\text{pot}}^i$  - dobowy przyrost biomasy (kg sm/ha /doba),  
 $P_c$  i  $P_0$  - potencjalna dobowa fotosynteza brutto standardowego łanu dla zachmurzonego ( $P_0$ ) oraz bezchmurnego nieba ( $P_c$ ), interpolowana z prac de Wita dla każdego dnia okresu wegetacyjnego przy 51° szerokości geograficznej,  
 $0,9$  - współczynnik czystości atmosfery,  
 $n^i$  - czas trwania pełnego usłonecznienia w danym dniu (min),  
 $N^i$  - długość dnia dla określonej szerokości geograficznej (min),  
 $\alpha_T^i$  - współczynnik uwzględniający wpływ temperatury na przyrost biomasy,  
 $T$  - średnia dobowa temperatura na wysokości 2 m nad ziemią (°C),  
 $f^i$  - współczynnik pokrycia gleby liśćmi,  $\frac{LAI}{3}$ ,  
 $\varphi$  - współczynnik uwzględniający respirację równy 0,7,  
 $i$  - kolejny dzień roku.

Weryfikację modelu matematycznego przyrostu plonu przeprowadzono metodą regresji liniowej. Istotność regresji szacowano testem F (Fishera), a współczynnik korelacji testem t (Studenta).



Rys. 1. Przebieg wartości wskaźnika LAI w czasie wegetacji buraka cukrowego

Na rysunku 1 przedstawiono przebieg wartości wskaźnika LAI w czasie wegetacji roślin uprawianych w różnych warunkach wodno-nawozowych. Jak widać, we wszystkich latach badań nie zaznaczył się wyraźny wpływ ani zwiększonego nawożenia NPK, ani wyższej dawki azotu na wartość tego wskaźnika. Można zauważyć jedynie, że na obu obiektach (tzn. nie nawadnianych i nawadnianych) rośliny nawożone wyższą dawką azotu nie tylko nie zmniejszały powierzchni liści pod koniec wegetacji, ale nawet ją zwiększały. Zjawisko to nie jest korzystne, gdyż liście pod koniec okresu wegetacyjnego w małym stopniu wpływają na akumulację suchej masy, a rozwijając się kosztem substancji zapasowych zgromadzonych w korzeniu mogą mieć nawet niekorzystny wpływ na ostatecznie uzyskiwany plon użyteczny gospodarczo. W związku z tym przyrost masy liści powinien kończyć się wcześniej niż przyrost masy korzeni [1, 9]. Największy plon suchej masy buraka cukrowego uzyskano przy zastosowaniu zwiększonego nawożenia azotowego, a najmniejszy na dawce 300 kg NPK/ha (rys. 2).

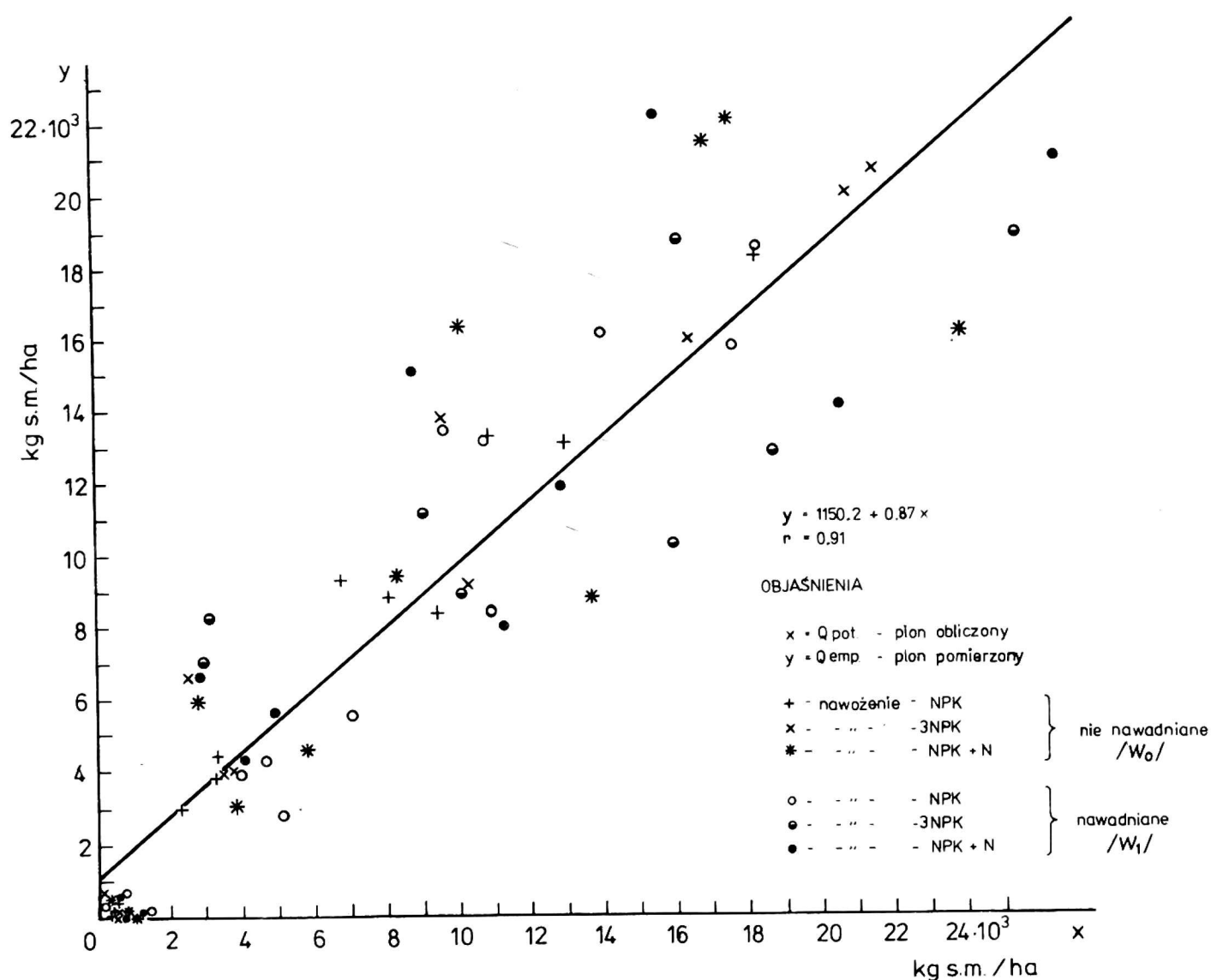
T a b e l a 1

Obliczone potencjalne plony buraka cukrowego (kg sm/ha )

Rok	Kolejny dzień roku	W <sub>0</sub>			W <sub>1</sub>		
		NPK	3NPK	NPK+2N	NPK	3NPK	NPK+2N
1967	166	444	185	387	165	677	565
	198	3332	2504	2745	2980	3140	2800
	229	8044	9621	10101	9644	9113	8763
	259	10813	16453	16972	14087	16119	15608
1968	156	353	586	974	974	762	658
	187	2272	3453	5722	5127	3998	4018
	217	6837	10291	13705	10979	10158	11286
	248	1299	20804	23895	17679	18722	20542
1970	160	477	638	760	977	1364	1006
	191	3224	3766	3863	4666	7076	4966
	224	9431	10986	8303	10760	15942	12859
	266	18299	21579	17658	18350	25457	26683

Nawadnianie zawsze zwiększało plon roślin nawożonych dawką 300 kg NPK/ha , natomiast przy wyższym poziomie nawożenia niekiedy powodowało obniżenie plonu suchej masy. Plony potencjalne buraków cukrowych

obliczono dla wszystkich wariantów wodno-nawozowych, a wyniki przedstawiono w tabeli 1. Analizując plony obliczone z modelu, można stwierdzić taką samą tendencję we wzroście plonów pod wpływem nawożenia i nawadniania, jak plonów pomierzonych, tzn. najniższe plony otrzymano przy dawce 300 kg NPK/ha, a nawadnianie roślin nawożonych tą właśnie dawką we wszystkich latach badań powodowało zawsze wyższą plonów biomasy. Porównanie wartości plonów pomierzonych z obliczeniami przedstawiono na rysunku 3, a wyniki podano w tabeli 2. Jak widać

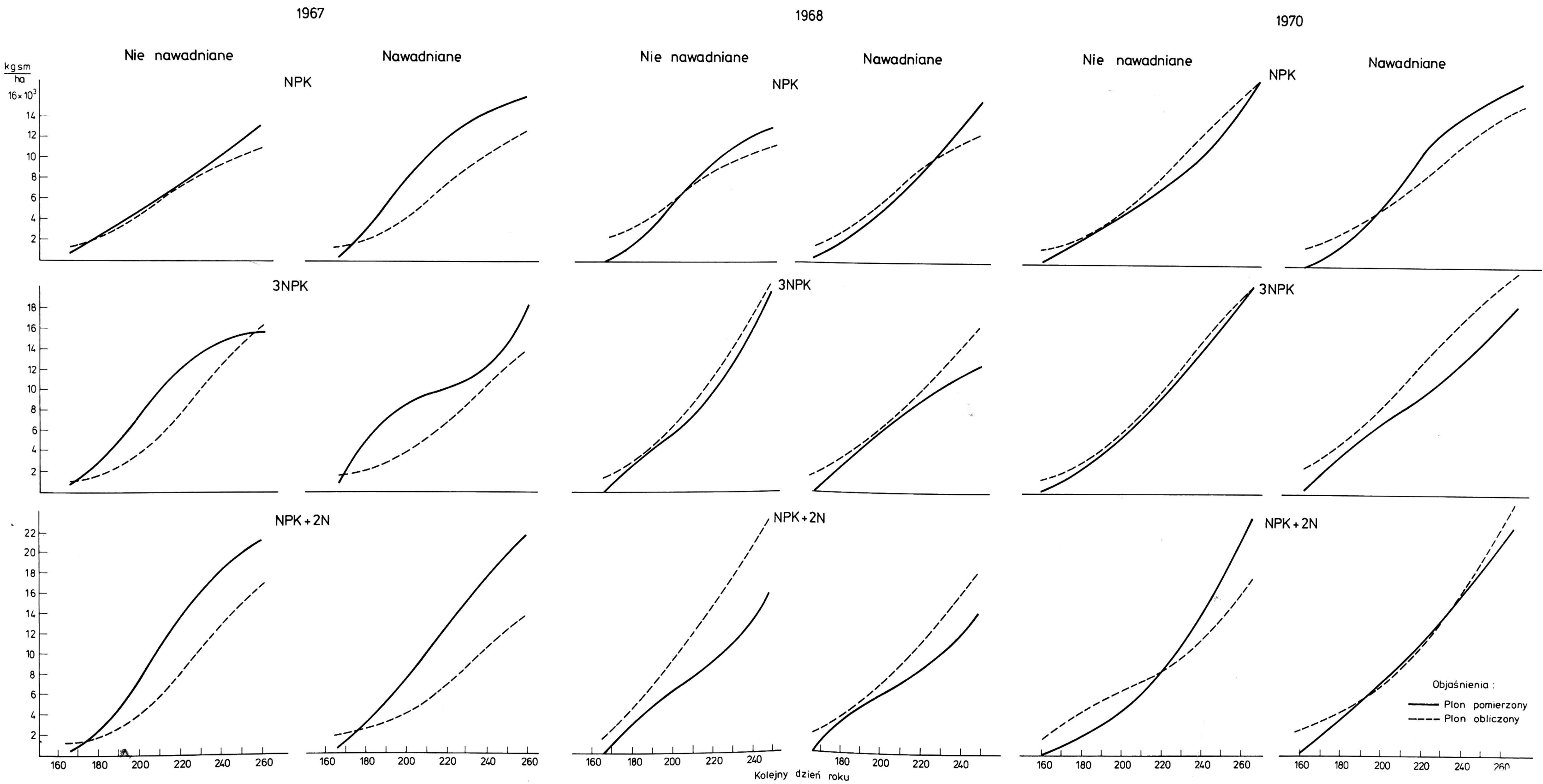


Rys. 3. Pomierzone oraz obliczone potencjalne plony biomasy buraka cukrowego

z rysunku, na wszystkich obiektach doświadczalnych między plonami biomasy obliczonymi i pomierzonymi może być przyjęta zależność prostopadlinowa:

$$Q_{\text{emp}} = a + b Q_{\text{pot}}$$





Rys. 3. Przyrost pomierzonego i obliczonego plonu buraka pastewnego

## Wyniki weryfikacji modelu przyrostu kumulacyjnego biomasy buraka cukrowego

Obiekty wodne nawozowe	x	y	Równanie regresji	F <sub>obl.</sub>	F <sub>p</sub> = 0,99	Współczynnik korelacji
- NPK	7204	7612	$y = 386 + x$	261,8	7,94	0,96
- 3NPK	8892	8520	$y = 1260 + 0,82 x$	144,0	7,94	0,93
- NPK, 3NPK	8048	8066	$y = 976 + 0,88 x$	344,1	7,21	0,94
- NPK, 3NPK, NPK+2N	8349	8396	$y = 1150 + 0,87 x$	349,1	7,01	0,91
<hr/>						
W <sub>0</sub>						
- NPK, 3NPK	7391	7838	$y = 778 + 0,96 x$	441,1	7,94	0,98
- NPK, 3NPK, NPK+2N	7846	8229	$y = 878 + 0,94 x$	237,0	7,44	0,94
<hr/>						
W <sub>1</sub>						
- NPK, 3NPK	8705	8295	$y = 1117 + 0,82 x$	103,8	7,94	0,91
- NPK, 3NPK, NPK+2N	8852	8565	$y = 1371 + 0,81 x$	136,4	7,44	0,89

$Q_{pot} = x$  - plony biomasy obliczone kg sm/ha ,

$Q_{emp} = y$  - plony biomasy pomierzone kg sm/ha .



gdzie

$Q_{emp}$  - plon pomierzony,

$Q_{pot}$  - plon obliczony,

a, b - współczynniki regresji liniowej.

Na wszystkich obiektach wodno-nawozowych plony przewidywane są mocno skorelowane z plonami pomierzonymi, o czym świadczy wysoka wartość współczynnika korelacji  $r = 0,91$ . Oznacza to, że zastosowany w pracy model matematyczny może być wykorzystany do prognozowania plonu buraków cukrowych w oparciu o okresowe pomiary powierzchni asymilacyjnej. Celem stwierdzenia, dla jakich warunków wodno-nawozowych jest największa zgodność między plonami obliczonymi a pomierzonymi, dokonano kilku różnych porównań między obiektami doświadczalnymi. W tabeli 2 przedstawiono wyniki tych porównań. Analizując wyniki można stwierdzić, że największą zgodność plonów obliczonych z modelu z plonami pomierzonymi w czasie wegetacji otrzymano przy nawożeniu dawką NPK i 3NPK na obiektach nie nawadnianych (współczynnik korelacji  $r = 0,98$ ). Natomiast przy tych samych dawkach nawożenia, ale z równoczesnym nawadnianiem, współczynnik korelacji był nieco niższy ( $r = 0,91$ ). Związane to mogło być z nierównomiernym przyrostem plonu w czasie wegetacji w okresowo polepszonych warunkach agrotechnicznych, co widoczne jest na rysunkach 2 i 3. Mimo że wyniki pomierzonego przyrostu kumulacyjnego biomasy w porównaniu z wynikami obliczonymi układają się wzdłuż tej samej prostej, to rozrzut punktów jest niekiedy znaczny. Podobną zależność można zauważyć na obiektach nawożonych wyższą dawką azotu, tzn. NPK + 2N.

Na obiektach nawadnianych ( $W_1$ ) średnie plony obliczone ( $\bar{x}$ ) były nieco wyższe od średnich plonów pomierzonych ( $\bar{y}$ ) (tab. 2). Można więc sądzić, że nawadnianie i wyższe nawożenie azotowe nie są tu dostatecznie przez rośliny wykorzystane.

Na rysunku 2 przedstawiono przyrosty kumulacyjne plonów pomierzonych oraz obliczonych z modelu i za pomocą równań prostych regresji osobno dla poszczególnych lat badań i każdego obiektu wodno-nawozowego. Również przy graficznym przedstawieniu przyrostu plonu, określonego w czasie wegetacji oraz obliczonego z modelu i za pomocą równań, można stwierdzić, że we wszystkich latach badań największa zgodność plonów pojawia się na obiektach nie nawadnianych nawożonych dawką NPK i 3NPK. Natomiast na tych samych obiektach nawadnianych linie

przedstawiające kumulację plonu są nieco oddalone od siebie, co widoczne jest zwłaszcza w latach 1967 i 1970. Mniejszą zgodność również można zauważyć na obiektach nawożonych wyższą dawką azotu.

### WNIOSKI

1. Po obliczeniu dobowych przyrostów biomasy można drogą prostego sumowania uzyskać plony kumulatywne biomasy.
2. Za pomocą zastosowanego modelu przyrostów potencjalnych można prognozować plon kumulatywny buraka cukrowego.
3. W oparciu o przedstawiony model można oceniać wpływ nawadniania i nawożenia na rozwój oraz plon biomasy buraka cukrowego.

### LITERATURA

1. Byszewski W.: Biologiczne podstawy produktywności roślin. PWN, Warszawa 1977.
2. Dzieżycowa D.: Wpływ zróżnicowanych warunków wodnych i nawozowych na przyrost masy oraz wysokość i jakość plonu buraka pastewnego i ziemniaka na glebie lekkiej. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 199, 1978.
3. Feddes R.A., Kowalik P., Zaradny H.: Simulation of field water use and crop yield. Pudoc, Wageningen 1978.
4. Fogg G.E.: Fotosynteza. PWN, Warszawa 1972.
5. Kowalik P.: Podstawy teoretyczne agrohydrologii Żuław. Acta Techn. Gedan., 11, Gdańsk 1976.
6. Kowalik P., Maciejewski S.: Przykład obliczania potencjalnej produktywności użytków zielonych. Wiad. Mel. i Łąk. z. 2, 1976.
7. Mosz J.: Wpływ deszczowania i zróżnicowanego nawożenia azotowego na dynamikę rozwoju oraz ilość i jakość plonów nowych odmian ziemniaków (matematyczny model i jego weryfikacja empiryczna). Praca doktorska.
8. Pyda M.: Matematyczny model rzepaku. Nowe Roln. z. 5, 1977.
9. Tarkowski Cz.: Czynniki warunkujące produktywność roślin. PWN, Warszawa 1978.
10. Wit C.T. de: Photosynthesis of leaf canopies. Versl. Landb. Onderz. Agr. Res. Reports, 663, Pudoc., Wageningen 1965.
11. Zelitch I.: Fotosynteza, fotooddychanie a produktywność roślin. PWRiL, Warszawa 1977.

Я. Мошова, П. Ковалик, Д. Дзежиц

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРИРОСТЫ БИОМАССЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ  
В РАЗНЫХ ВОДНО-УДОБРИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Р е з ю м е

В работе представлена, а также проверена математическая модель потенциального прироста урожая сахарной свеклы. Было доказано, что после вычисления суточных приростов биомассы можно путем простого суммирования получить кумулятивные урожаи биомассы, а также при помощи примененной модели прогнозировать действительный урожай сахарной свеклы и оценивать влияние орошения и удобрения на ее развитие.

J. Moszowa, P. Kowalik, D. Dzieżycowa

POTENTIAL INCREASES OF SUGAR BEET BIOMASS IN DIFFERENT  
WATER-FERTILIZING CONDITIONS

S u m m a r y

A mathematical model of potential increase of sugar beet yield has been presented and checked. Having calculated daily increases of the biomass, its cumulative yields can be determined by simple summing up. Besides, the model helps to forecast the true yield of sugar beet, as well as to determine the influence of irrigation and fertilization on its development.