

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION



Stanisław Wróbel

OKREŚLENIE POTRZEB NAWOŻENIA
BURAKA CUKROWEGO
MIKROELEMENTAMI

ROZPRAWA HABILITACYJNA

MONOGRAFIE
I ROZPRAWY
NAUKOWE

2

INSTYTUT UPRAWY NAWOŻENIA I GLEBOZNAWSTWA
INSTITUTE OF SOIL SCIENCE AND PLANT CULTIVATION

Dyrektor: prof. dr hab. *Seweryn Kukula*



Recenzent

prof. dr hab. *Ignacy Dechnik*

Nakład 250 egz., B-5, zam. 49/F/02

Dział Upowszechniania i Wydawnictw IUNG w Puławach

tel. (081) 8863421 w. 301, i 307; fax (081) 8864547

e-mail: iung@iung.pulawy.pl; <http://www.iung.pulawy.pl>

Stanisław Wróbel

OKREŚLENIE POTRZEB NAWOŻENIA
BURAKA CUKROWEGO
MIKROELEMENTAMI

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. PRZEGLĄD LITERATURY	9
3. METODYKA BADAŃ	16
3.1. Badania na polach produkcyjnych buraka cukrowego	17
3.2. Doświadczenia polowe z różnicowanym poprzez nawożenie NPK poziomem plonowania buraka cukrowego	18
3.3. Doświadczenia wegetacyjne z nawożeniem buraka cukrowego mikroelementami	20
3.4. Doświadczenia polowe z nawożeniem buraka cukrowego mikroelementami	22
4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA	26
4.1. Ocena zaopatrzenia w mikroelementy upraw buraka cukrowego w warunkach produkcyjnych i doświadczalnych	26
4.1.1. Zaopatrzenie w mikroelementy gleb i roślin buraka cukrowego z kontrolnych pól produkcyjnych	26
4.1.2. Zaopatrzenie w mikroelementy buraka cukrowego w warunkach plonowania zróżnicowanego poprzez nawożenie NPK	36
4.2. Określenie wymagań pokarmowych i potrzeb nawożenia mikroelementami buraka cukrowego	52
4.2.1. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie mikroelementami w doświadczeniach wegetacyjnych	52
4.2.2. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie mikroelementami w doświadczeniach polowych ściśłych	58
4.2.3. Efektywność ekonomiczna nawożenia buraka cukrowego mikroelementami	82
5. WERYFIKACJA LICZB GRANICZNYCH DO OCENY ZASOBNOŚCI GLEB W BOR EKSTRAHOWANY 1 mol HCl·dm ⁻³	83
6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI	87
7. LITERATURA	89
STRESZCZENIE	95

1. WSTĘP

Znaczenie buraka cukrowego jako jedyne go źródła pozyskiwania sacharozy w rejonach klimatu umiarkowanego kuli ziemskiej stawia go w szeregu roślin uprawnych o największym znaczeniu dla rolnictwa i przemysłu spożywczego. Perspektywicznie uprawa buraka cukrowego zapewniać może również odtwarzalne źródło energii poprzez wytwarzanie surowca do produkcji alkoholu.

Plon technologiczny cukru uzyskiwany z 1 ha zależy głównie od plonowania korzeni, co wyraża współczynnik korelacji wynoszący 0,92. Inne cechy użytkowe buraka w znacznie mniejszym stopniu oddziałują na poziom uzyskiwanego plonu technologicznego cukru, np. wpływ zawartości cukru w korzeniach oddaje współczynnik korelacji 0,27 (71). Przełomem w poprawianiu plenności buraka cukrowego w okresie powojennym było wyhodowanie odmian poliploidalnych. W uprawie wykorzystywane są głównie di-, tri- i tetraploidy. Od drugiej połowy lat osiemdziesiątych uprawiane są w Polsce prawie wyłącznie odmiany genetycznie jednonasienne, mieszańcowe w 100% (55, 71). Potrzeby mikroelementowe tych odmian nie były dotychczas kompleksowo badane.

W drugiej połowie lat dziewięćdziesiątych udział cukru buraczanego w produkcji globalnej na świecie wyniósł około 30% (35–42 mln ton). Największa koncentracja uprawy buraka cukrowego występuje w Europie – i stąd pochodzi około 80% światowej produkcji cukru z buraka. Pierwsze miejsce w produkcji cukru zajmuje Francja (ponad 5 mln ton rocznie, przy średnim plonie korzeni 64,3–72,0 t·ha⁻¹ i powierzchni zasiewów około 450 tys. ha). W latach 1996/97 Polska zajmowała 4. miejsce w Europie po Francji, Niemczech i Ukrainie – przypadało na nią około 2% światowej produkcji cukru, tj. blisko 2,5 mln ton, przy średnich plonach około 38,0 t·ha⁻¹ i powierzchni zasiewów 453–419 tys. ha (71). Pomimo znacznego zmniejszenia się powierzchni upraw w roku 2000 (311,5 tys. ha) optymistyczny jest dość duży wzrost plonowania buraka (42,0 t·ha⁻¹); (31).

Pomimo mniej sprzyjających warunków glebowo-klimatycznych Polski (w tym krótszego sezonu wegetacyjnego) w stosunku do Europy Zachodniej, możliwe jest uzyskanie plonów buraka cukrowego większych nawet o 50%, co potwierdzają badania COBORU (112). Wymaga to stosowania poprawnych technologii produkcji, w których kluczową rolę odgrywa właściwe nawożenie. Burak cukrowy jest rośliną o najwyższych wśród głównych roślin uprawnych wymaganiach pokarmowych, w tym również w odniesieniu do mikroelementów. W tradycyjnym systemie uprawy z udziałem obornika i nisko skoncentrowanych nawozów mineralnych niedobory mikroelementów stwierdzano stosunkowo rzadko, aczkolwiek występowały one często w postaci ukrytej.

Problem żywienia roślin mikroelementami nabiera znaczenia w miarę intensyfikacji produkcji roślinnej w nowoczesnych systemach rolniczych opartych na uprawie wysokowydajnych odmian i zbilansowanym nawożeniu, wymagającym zabezpieczenia optymalnej ilości wszystkich niezbędnych składników pokarmowych (27). Przykładem wskazującym na skalę problemu może być bilans mikroelementów sporządzony na podstawie perspektywicznych systemów nawożenia mineralnego. Według Czuby (27) w systemie stosowania nawozów zawieszinowych pokrycie potrzeb mikroelementowych przy średnich plonach krajowych wynosi tylko 51% i zaledwie 35% przy plonach większych o 50%, z małymi różnicami w obrębie pięciu głównych mikroskładników (B, Cu, Mn, Mo i Zn). Takie plony osiąga się już w licznych gospodarstwach, głównie w zachodniej części kraju.

Zadaniem nowoczesnej chemii rolnej w dążeniu do rolnictwa zbilansowanego jest opracowanie technologii nawożenia spełniającego nie tylko funkcje żywieniowe, lecz również zapewniającego równowagę jonową w glebie (52, 84, 85, 109, 127). Wymagania te uzasadniają podstawowe prawa nawozowe w tym jedno z najnowszych, oparte na zasadzie współdziałania składników pokarmowych – prawo maksimum Wallace’a (129, 130), który stwierdził, że jednoczesne wyeliminowanie kilku czynników ograniczających plony daje znacznie lepszy efekt plonotwórczy w porównaniu z sumą efektów wyeliminowania każdego z nich osobno. Takie podejście reprezentowane jest w najnowszych rozwiązaniach praktycznych zmierzających do precyzyjnego nawożenia zbilansowanego, w których zalecenia nawozowe uwzględniają również zmienność przestrzenną zasobności gleby w składniki pokarmowe roślin (42, 61, 63, 128).

Właściwe sprecyzowanie wymagań pokarmowych, a zatem i potrzeb nawożenia buraka cukrowego nie jest zadaniem łatwym ze względu na dużą różnorodność procesów warunkujących przyswajalność mikroelementów, zmienność ich zawartości w roślinach, a także nieprecyzyjność stosowanych metod i kryteriów oceny (82, 128).

Nawożenie buraka cukrowego mikroelementami było w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych obiektem wielu badań (54, 81, 86, 93, 97, 100, 122-124). Jednak poziom plonowania stosowanych wówczas odmian starej generacji był niski, inne były także potrzeby pokarmowe tych upraw. Również kryteria oceny zasobności gleb uległy od tej pory zasadniczym zmianom. Późniejsze badania w zakresie żywienia buraka cukrowego mikroelementami dotyczyły głównie nawożenia pojedynczymi składnikami (3, 4, 6, 10-12, 75-78).

W ramach prezentowanej pracy podjęto próbę rozwiązania szeregu problemów dotyczących potrzeb mikroelementowych mieszańcowych jednonasiennych odmian buraka cukrowego, w tym porównania efektów nawożenia pojedynczymi mikroelementami ze stosowanymi łącznie – wybiórczo na podstawie analizy gleby oraz kompleksowo (B + Cu + Mn + Mo + Zn), w odniesieniu do stosowanej aktualnie glebowej i roślinnej diagnostyki potrzeb.

Celem przeprowadzonych badań było:

- rozpoznanie stanu zaopatrzenia upraw buraka cukrowego w mikroelementy oraz zakresów i kierunków zmian ich zawartości w glebie i w roślinach w zależności od poziomu uzyskiwanych plonów,
- określenie wpływu nawożenia mikroelementami na plonowanie i skład chemiczny buraka cukrowego w celu ustalenia jego wymagań pokarmowych i potrzeb nawozowych,
- weryfikacja liczb granicznych zawartości w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$, stosowanych od roku 1986 w stacjach chemiczno-rolniczych, przy wykorzystaniu wyników analiz gleby i roślin buraka cukrowego jako rośliny wskaźnikowej.

W pracy oceniono przydatność stosowanych kryteriów zaopatrzenia gleb i roślin buraka cukrowego w mikroelementy. W doświadczeniach wazonowych i mikropoletkowych badano reakcję buraka cukrowego na nawożenie mikroelementami w zależności od warunków glebowych.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

Ze względu na specyficzne właściwości biologiczne wynikające z wyspecjalizowania w produkcji węglowodanów oraz duże potrzeby pokarmowe, burak cukrowy jest bardziej od innych roślin wrażliwy na nawożenie mineralne i silnie reaguje na wszelkie nieprawidłowości w tym zakresie (17, 18, 82). Dotyczy to zarówno makro-, jak i mikroelementów. Źródła krajowe i zagraniczne określają na ogół bor i mangan jako mikroelementy o pierwszorzędym znaczeniu dla buraka, podkreślając jednocześnie ważną rolę miedzi, molibdenu i cynku (21, 43, 51, 73, 74, 104, 109, 123, 127).

Wymagania pokarmowe buraka cukrowego w stosunku do mikroelementów są kilkakrotnie, a w przypadku boru nawet kilkunastokrotnie wyższe niż zbóż (27, 124). Stockfish i Koch (117) wykazali, że niedostatek boru w intensywnych uprawach buraka cukrowego obniża plon korzeni i zwiększa zawartość w nich substancji melasotwórczych, w wyniku czego plon cukru technologicznego może zmniejszać się nawet o 20%.

Liczne doświadczenia nad nawożeniem buraka cukrowego mikroelementami przeprowadzono w Polsce już w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych. Do ważniejszych z nich zaliczyć należy badania Miczyńskiego (93), Łachowskiego (86) oraz Nowickiego (97). W 109 doświadczeniach przeprowadzonych przez Zakład Buraka i Innych Roślin Korzeniowych IHAR pod wpływem nawożenia mikroelementami uzyskano średnie przyrosty plonów korzeni o 5,5–8,4% oraz zawartości cukru o 0,1–0,5%. Największe przyrosty plonów (ponad 10%) uzyskiwano pod wpływem stosowania boru i miedzi. Również doświadczalnictwo terenowe IUNG w latach 1968–1970 wykonało 27 podobnych doświadczeń na różnych ty-

pach gleb kompleksów pszennych. Średnia zwyżka plonu korzeni w tych doświadczeniach pod wpływem boru wyniosła 6,2 %, a przy łącznym stosowaniu pięciu mikroelementów – 9,7% (122). Podkreślić należy, że zwyżki te uzyskiwano w warunkach nawożenia obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹, co przy poziomie plonów ówczesnych odmian buraka całkowicie lub nawet z nadmiarem pokrywać powinno zapotrzebowanie na mikroelementy. Podobne wyniki uzyskiwano w badaniach niemieckich dotyczących nawożenia buraka mikroelementami (83, Bergmann – cyt. za 123).

Niektóre prace z tego okresu podejmowały problem zróżnicowanej reakcji odmian buraka na nawożenie mikroelementami (54). Gutmański (54) uszeregował pojedyncze mikroelementy pod względem ich wpływu na plony buraka cukrowego: B > Cu > Mn > Zn.

O dostępności mikroelementów dla roślin w znacznym stopniu decyduje odczyn, skład granulometryczny, substancja organiczna oraz struktura i uwilgotnienie gleby, co wykazano w licznych badaniach (43, 52, 79, 88, 116, 123, 127, 132, 135). Duże znaczenie praktyczne w pobieraniu mikroelementów przez rośliny mają antagonistyczne i synergistyczne wzajemne oddziaływania pierwiastków. Zależności te w powiązaniu z czynnikami glebowymi prowadzić mogą do powstawania niedoboru lub nadmiernej koncentracji składników w plonach (26, 38, 70, 90, 99, 115, 120, 123, 127).

Szukalski (123) w doświadczeniach polowych na glebie o pH 4,2 nie uzyskał zwyżki plonu buraka, podczas gdy na glebie o pH 6,7 już pod wpływem dawki 0,8 kg B·ha⁻¹ zwyżka plonów korzeni wyniosła 8,6 t z 1 ha, a dawka 3,2 kg B·ha⁻¹ spowodowała przyrost plonu aż o 14,8 t z 1 ha. Mayr i Frohner (88) nie uzyskali reakcji na nawożenie borem w doświadczeniach wazonowych, chociaż w warunkach polowych na tej samej glebie występowały objawy niedostatku boru na roślinach buraka, a nawożenie B powodowało oczekiwane efekty.

Pantović i in. (100) uzyskiwali pod wpływem stosowania mikroelementów znaczne zwiększenie zawartości cukru w korzeniach buraka. Na glebie aluwialnej nawożenie molibdenem spowodowało jej wzrost o 0,77%, a borem i molibdenem łącznie – o 0,8–1,25%. Natomiast na szarych ziemiach molibden przyczynił się do wzrostu cukrowości o 1,25%, a mangan o 1,02%. Odpowiednio wzrosły również plony cukru – o 12–25 %.

We wcześniejszych badaniach własnych nad dostępnością boru w różnych glebach w warunkach intensyfikacji nawożenia NPK autor wykazał ubytki boru z warstwy ornej gleby lekkiej. Natomiast w glebie ciężkiej o bogatszym kompleksie sorpcyjnym zaobserwowano częściowe uruchomienie boru nierozpuszczalnego (132).

Na złożoność procesu pobierania mikroelementów z gleby przez rośliny wskazują badania Gembarzewskiego i in. (50). Wynika z nich, że dostępność miedzi zależy od gatunku rośliny, a w przypadku buraka cukrowego przyswajalność Cu

modyfikowana jest udziałem w glebie frakcji ilastych. Badania Prośby-Białczyk i in. (101-103) wskazują także na różnice odmianowe buraka cukrowego w pobieraniu Cu, Mn i Zn.

Jak wynika z badań Henkensa (64), pobieranie molibdenu przez rośliny buraka z gleby ograniczane jest przez tlenki i wodorotlenki żelaza, przy czym istotną rolę odgrywa wielkość i rodzaj tych cząsteczek. Nawożenie siarczanem manganu istotnie zmniejsza pobieranie molibdenu. Autor ten wyróżnił także trzy rodzaje gleb o pozytywnym, negatywnym i obojętnym wpływie fosforu na pobieranie Mo przez burak. Następczy wpływ doglebowego nawożenia mikroelementami badali Szukalski i Sikora (125). Stwierdzono długotrwały efekt następczy miedzi i molibdenu (wyrażny po 14 latach), podczas gdy następcze działanie manganu, nawet w wysokich dawkach ($100 \text{ kg Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$) zaznaczało się tylko w początkowym okresie po zastosowaniu. Działanie wysokich dawek boru ($20,4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$) zależało od rodzaju gleby (7 lat na piasku luźnym a 4 lata na piasku gliniastym). Wyniki te są zgodne z wykazanim przez Benedycką i in. (6) oraz Krauze i in. (77) następczym działaniem boru na plony nasion bobiku w trzecim roku po zastosowaniu pod buraki.

Badania nad działaniem następczym nawożenia molibdenem w zmianowaniu czteropolowym przeprowadzone przez Krauze i in. (78) wykazały, że w drugim roku po zastosowaniu pod bobik $0,5$ i $1,0 \text{ kg Mo} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano istotną statystycznie wyższą plonowania korzeni buraka cukrowego odmiany AJ-Poli 1 w zakresie od $5,1$ do $10,1\%$.

Kerschberger i Marks (74) stwierdzili, że następcze działanie miedzi i molibdenu trwa przez 3–5 lat a boru i cynku przez 3–4 lata w zależności od żyzności gleby.

Faber (38) wykazał, że w doświadczeniu z nawożeniem B, Zn, Mo i Cu w trzyletnim zmianowaniu, burak cukrowy miał w przypadku każdego z tych mikroelementów największy udział w dochodzie czystym z nawożenia.

W 12-letnim doświadczeniu z nawożeniem borem, miedzią, manganem i cynkiem przeprowadzonym w zmianowaniu Rasp (104) uzyskał istotną wyższą plonów buraka cukrowego tylko w przypadku nawożenia borem w dawce $2,3 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Również Benedycka i in. (5) określiły $2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ jako najbardziej efektywną dawkę w typowym zmianowaniu czteropolowym ($10,2$ jednostki zbożowej/ 1 kg boru). Wyniki te potwierdziły kolejne badania Benedyckiej i Krauze (4), określające efektywność $1 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ na $4,4$ jednostki zbożowej w uprawie buraka oraz $14,0$ jednostek zbożowych w czteroletnim zmianowaniu. Badania Krauze i in. (75, 76) wykazały, że w czteroletnim zmianowaniu dawka $1 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ zastosowana przedsięwzię pod burak spowodowała istotny przyrost plonu cukru, jednak nawet dawka $4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie zapewniała właściwego poziomu odżywienia roślin buraka borem. Większe zapotrzebowanie buraka na ten mikroelement proponuje się uzupełniać poprzez dokarmianie dolistne.

Pozytywny wpływ nawożenia miedzią w zmianowaniu na plony buraka cukrowego wykazały Bobrzecka (10) oraz Bobrzecka i Krauze (11, 12). Autorki stwier-

dziły, że efekt następczy $10 \text{ kg Cu} \cdot \text{ha}^{-1}$ zastosowanej pod pszenicę na plon buraka cukrowego był większy niż nawożenia miedzią. Burak cukrowy pobierał również największe ilości Cu w porównaniu z innymi roślinami, proporcjonalne do zastosowanej dawki. Przy największych plonach zawartość miedzi w korzeniach buraka była jednak niska ($4,82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$).

W ostatnim dwudziestoleciu liczne badania dotyczyły oceny stanu zaopatrzenia buraka cukrowego w mikroelementy w zależności od warunków uprawy oraz cech odmianowych. Do ważniejszych zaliczyć należy badania przeprowadzone przez Dechnika i in. (32), Filipka i in. (40) oraz Chmielewską i in. (20) nad wpływem zwiększanych dawek N i K na kształtowanie się zawartości mikroelementów w buraku. W pracach tych wykazano szereg współzależności między składnikami mineralnymi w roślinach oddziałującymi na poziom plonowania i cukrowość buraka na tle warunków pogodowych. Wskazują one na możliwość wystąpienia jedynie okresowego deficytu boru i miedzi w roślinach buraka w zależności od uwilgotnienia gleby. Intensyfikacja nawożenia NK powodowała wzrost zawartości manganu i cynku w korzeniach buraka, natomiast nie wpływała na ogół na zawartość w nich boru i miedzi.

Wyniki te pochodzące ze ścisłych doświadczeń polowych nie są zgodne z uzyskanymi w badaniach Czuby i in. (29), przeprowadzonych w gospodarstwach kontrolnych z terenu całego kraju, gdzie wraz ze wzrostem poziomu nawożenia NPK następował spadek koncentracji B, Cu, Mn i Zn oraz wzrost zawartości Mo w korzeniach (dane z 352 pól buraka cukrowego).

We wcześniejszych badaniach własnych autor stwierdził spadek zawartości B i rozszerzanie się stosunku B : Ca w liściach buraka nawożonego zwiększającymi dawkami NPK w wieloletnich doświadczeniach polowych (132).

Badania Prośby-Białczyk i in. (101, 103) wskazują na związki między poziomem zawartości miedzi i manganu w roślinach a plonem technologicznym cukru. Zawartość obu tych mikroelementów, a także cynku okazała się cechą odmianową. Z badań wynika duża zmienność zawartości mikroskładników w roślinach buraka cukrowego, u podstaw której tkwi wzajemne oddziaływanie między glebą a rośliną. Przyczyną tych różnic może być także właściwość odmiany, stan zdrowotny, przebieg pogody oraz faza rozwoju roślin, na co wskazują również prace Wiśniewskiego (131) oraz Myszki i in. (94). Wiśniewski (131) w badaniach nad dynamiką pobierania mikroelementów wykazał, że okresy krytycznego zapotrzebowania na te składniki zależą zarówno od ich rodzaju, jak i fazy rozwojowej roślin. Wybór części wskaźnikowych buraka cukrowego do celów diagnostycznych właściwie odzwierciedlających stan zaopatrzenia roślin w składniki pokarmowe i terminu ich pobrania jest zatem zadaniem złożonym. Castelo-Branco i in. (19) stwierdzili, że w zależności od analizowanego składnika, przydatność do tego celu blaszek liściowych buraka zależy zarówno od ich wieku, jak i typu (miejsca na roślinie).

W badaniach nad odżywieniem buraka cukrowego w świetle testów glebowych i diagnostyki liściowej Myszką i in. (94) wykazali dużą zgodność między

oceną zaopatrzenia blaszek liściowych w miedź i cynk a kwalifikacją zasobności gleb, przy czym zawartość Cu w blaszkach była dwukrotnie większa niż w ogonkach (odpowiednio 10,2 i 4,7 mg·kg⁻¹).

Podobną tematykę reprezentują badania Gutmańskiego (56, 57) nad wpływem nawożenia azotem na zawartość składników mineralnych w buraku cukrowym w zależności od wapnowania, nawożenia obornikiem oraz terminu zbioru, a także nad wyczerpywaniem gleby z mikroelementów w płodozmianach z narastającym udziałem buraka (59). Potwierdziły one korzystne działanie obornika jako źródła mikroelementów oraz sezonową i siedliskową zmienność w zawartości tych pierwiastków w roślinach buraka. Zwiększanie dawek azotu w zakresie 0–180 kg N·kg⁻¹ powodowało na ogół wzrost zawartości mikroelementów (z wyjątkiem Cu) w tkankach liści buraka, zmieniała się ona jednak w poszczególnych miesiącach okresu wegetacyjnego.

Synteza wyników analiz gleb krajowych wykonywanych przez OSChR-y w latach 1987–1994 wykazała, że udział gleb o niskiej zasobności w poszczególne mikroelementy wynosi: B (75%) > Cu (37%) > Mo (23%) > Zn (14%) > Mn (11%). Liczba przeanalizowanych próbek wahała się od 11184 (Mo) do 78278 (B); (98). Kontynuacja tych badań w latach 1994–1999, na powierzchni ponad 4,6 miliona ha w skali kraju potwierdziła występowanie niedoboru mikroelementów w glebach: B (79%) > Cu (36%) > Fe (28%) > Zn (13%) > Mn (7%); (33).

Podobne wnioski wynikają z badań Gembarzewskiego (45) wskazujących, że 50–70% upraw roślin w skali kraju wykazuje niedobory boru, 15–60% miedzi, a 13–50% molibdenu.

Czuba (25) na podstawie analizy wyników badań zasobności gleb w kraju ocenił, że częstotliwość występowania gleb o niskiej zawartości boru wynosi 76%, miedzi – 39% i molibdenu – 30%. Ponieważ zasoby mikroelementów w glebie ulegają wyczerpywaniu, ich ubytki muszą być uzupełniane. Za rozwojowe kierunki nawożenia mikroelementami autor ten uważa dodawanie ich do makronawozów oraz aplikację dolistną i donasienną.

Donasienne nawożenie buraków cukrowych roztworami mikroelementów przeprowadzone przez Ziółek (137) powodowało istotne obniżenie zawartości substancji melasotwórczych, w tym popiołu węglanowego i azotu szkodliwego w korzeniach. Autorka stwierdziła również korzystne działanie molibdenu na wykształcenie i dorodność kłębków buraka cukrowego (138).

Nawożenie doglebowe roślin uprawnych mikroelementami nie wyklucza celowości dokarmiania dolistnego. Z punktu widzenia chemii rolnej oba systemy mogą funkcjonować komplementarnie, ze względu na konieczność zachowania równowagi jonowej w glebie nie powinny być jednak stosowane zamiennie. Funkcja dokarmiania dolistnego polega na interwencyjnym uzupełnianiu niedoboru mikroelementów w okresie wegetacji lub/oraz maksymalizacji plonowania poprzez doraźne dostarczenie roślinom właściwych zestawów mikroelementowych w niewielkich ilościach i zapewnienie tym samym ciągłości w dynamice pobierania skład-

ników. Intensyfikacja uprawy buraka cukrowego wyraźnie zwiększa zapotrzebowanie na mikroskładniki, a opryskiwanie powierzchni asymilacyjnej roślin w okresach krytycznych roztworami preparatów mikroelementowych przynosi zazwyczaj wymierne efekty. Problem dolistnej aplikacji mikroelementów w uprawach buraka cukrowego podejmowało w ostatnim okresie wielu badaczy. Prace te dotyczyły zarówno stosowania pojedynczych mikroelementów (1), boru i miedzi (34, 35), jak i oceny preparatów wieloskładnikowych (23, 67).

Allison i in. (1) oceniają, że na 15% upraw buraka cukrowego w Wielkiej Brytanii występują niedobory miedzi. Pozytywne efekty dolistnego stosowania tego mikroskładnika w uprawach buraka cukrowego na glebach z deficytem miedzi uzyskał on jednak tylko w przypadku mineralnych gleb lekkich. Domska (34) pod wpływem dolistnego stosowania boru łącznie z magnezem uzyskała nie tylko wyższy plon korzeni, lecz również biologicznego i technologicznego plonu cukru do $2,55 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Autorka ta stwierdziła również, że dolistne stosowanie boru ograniczało nagromadzenie azotanów w końcowym etapie wzrostu buraka, co umożliwiało wykorzystanie liści w żywieniu zwierząt. Dokarmianie dolistne miedzią przyczyniło się natomiast do nagromadzenia azotu azotanowego w liściach (35).

W warunkach bułgarskich na czarnoziemie wylugowanym największy plon korzeni uzyskiwano pod wpływem opryskiwania liści buraka borem i cynkiem w dawkach po $600 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ (118). Podobny rezultat, lecz w nawożeniu doglebowym w badaniach tureckich stwierdzili Gezgin i in. (51). Interakcja $B \times Zn$ wyrażała się w tym przypadku wzrostem udziału cukru w korzeniach z 18,6 do 19,9%.

We wcześniejszych badaniach własnych autora nad określeniem optymalnych dawek boru do stosowania dolistnego stwierdzono dużą tolerancję buraka cukrowego na stężenia H_3BO_3 w zakresie od 0,1 do 1,6%. Wyraźna reakcja buraka już na niskie stężenia boru wskazuje na wysoką efektywność jego umiarkowanych dawek w dolistnym dokarmianiu tej rośliny (121).

W opracowaniach Czuby (23, 30) o charakterze instruktażowym dotyczących zagadnienia łącznego stosowania dolistnego mocznika, magnezu i mikroelementów omówiono szczegółowo agrotechniczne i ekonomiczne aspekty tego zabiegu z uwzględnieniem wykazu stosowanych preparatów i dawek. Również Gutmański i Wiśniewski (60) porównując w doświadczeniach polowych dolistne stosowanie preparatów typu Florogama, uzyskiwali ekonomicznie uzasadnione przyrosty plonów buraka cukrowego. Niepożądanym efektem tych zabiegów był jednak wzrost udziału substancji melasotwórczych w korzeniach (N-amin, K, Na). Autorzy ci podkreślają jednak zasadę, iż podstawowa ilość składników musi być dostarczana przez system korzeniowy. Podobną opinię wyraża Czuba (27) wskazując, że w przypadku intensywnych upraw buraka cukrowego dolistne dokarmianie mikroelementami jest w stanie pokryć zaledwie 3–10% całkowitych potrzeb tej rośliny.

Obawy ekologów odnośnie możliwości spowodowania skażeń gleb metalami ciężkimi stają się nieuzasadnione w świetle wyników badań Terelaka i in. (126), którzy wykazali, że gleby użytkowane rolniczo w Polsce cechuje przeważnie niska

i umiarkowana zawartość Cu i Zn, przy czym tylko 1,2% tych gleb wykazuje słaby, a 0,2% średni stopień zanieczyszczenia cynkiem. Jeszcze mniej, bo zaledwie 0,3% użytków rolnych wykazuje zanieczyszczenie miedzią.

Opłacalność ekonomiczną dokarmiania dolistnego buraka cukrowego preparatami typu Wuxal wykazali Faber i Kęsik (39) już przy wzroście plonu korzeni o 5%.

Korzyści wynikające z łącznego stosowania agrochemikaliów w dolistnym nawożeniu buraka cukrowego omawiają Jaszczółt (66, 67) oraz Sadowski i Wiśniewski (108). Uzyskanie pożądaných efektów dolistnej aplikacji wymaga jednak dużej precyzji i optymalnych warunków wykonania zabiegu. Jeżeli składniki zastosowane w roztworze zostaną spłukane z deszczem na powierzchnię gleby, to wówczas zabieg nawożenia dolistnego nie przyniesie oczekiwanego efektu. Podobny skutek ma krystalizacja substancji czynnej na powierzchni liści w wyniku odparowania wody z roztworu.

W literaturze znajdujemy tylko nieliczne doniesienia o charakterze inwentaryzacyjnym umożliwiające ocenę stanu odżywienia mikroelementami upraw produkcyjnych buraka cukrowego oraz występowania ewentualnych deficytów pokarmowych. Z prac polskich wymienić tutaj można jedynie obszerne, jednak już nie najnowsze badania przeprowadzone przez IUNG we współpracy z OSChR w tzw. gospodarstwach kontrolnych na terenie całego kraju w latach 1975–1982. Oznaczenia zawartości mikroelementów wykonane na materiale glebowym i roślinnym z 552 pól buraka cukrowego (odmiany wielonasienne) wykazywały stopniowe wyczerpywanie gleb z miedzi i boru, w roślinach natomiast stwierdzano zwiększanie się zawartości potasu i manganu, co było skutkiem niedostatecznego wapnowania gleb (22, 28).

Myszka i in. (94) przeprowadzili w latach 1975 i 1976 ocenę zaopatrzenia w mangan, miedź i cynk 147 plantacji regionu lubelskiego stwierdzając dużą zgodność zaopatrzenia roślin buraka w te składniki z ich zawartością w glebie oznaczoną metodami specyficznymi.

Do tej grupy zaliczyć należy również badania Haneklausa i Schnuga (62), przeprowadzone na 558 uprawach buraka cukrowego z terenu północnych Niemiec (Schleswig-Holstein) i wschodniej Danii (Jutlandia). Przy zastosowaniu opracowanych przez tych autorów zakresów granicznych (tzw. systemu BOLIDES) wyznaczona została częstotliwość występowania niedoborów poszczególnych składników pokarmowych w glebie, ograniczających uzyskanie maksymalnych plonów. Okazało się, że spośród badanych mikroelementów na obu tych obszarach miedź i mangan były składnikami w największym zakresie limitującymi maksymalne plonowanie roślin. Częstotliwość występowania niedoborów tych mikroelementów na terenie Niemiec wynosiła odpowiednio 32% i 27%, a na obszarze Jutlandii: 13% i 58%. Autorzy ci stwierdzili również, że siarka i fosfor były najważniejszymi czynnikami „w minimum” w uprawach buraka cukrowego na tych terenach (63). W badaniach nie stwierdzono wykazywanych powszechnie w Polsce deficytów boru – rośliny tylko z 9% przebadanych pól cechowała niższa od optymalnej zawartość tego mikroskładnika.

Stały postęp biologiczny i organizacyjny w uprawie buraka cukrowego związany jest z doskonaleniem cech genetycznych odmian mieszańcowych oraz koncentracją i intensyfikacją uprawy. Wymaga to stosowania kompleksowych technologii, umożliwiających pełne wykorzystanie potencjalnej plenności genetycznie jednokielkowych odmian (71, 81). Nie przeprowadzono dotychczas badań nad rozpoznaniem kompleksowych potrzeb nawożenia tych odmian mikroelementami, aczkolwiek niektóre doniesienia wskazują na ich wysokie wymagania pokarmowe (53, 54, 131).

Gutmański (58) podkreśla, że koncentracja uprawy buraka cukrowego przy jednoczesnej likwidacji chowu bydła i ograniczeniu produkcji obornika sprzyja degradacji i ubytkowi substancji organicznej w glebie. Oznacza to spadek zaopatrzenia gleb w mikroelementy i potrzebę ich systematycznego uzupełniania w oparciu o diagnostykę analityczną. Poprawę zaopatrzenia w mikroelementy uznać należy za jeden z najważniejszych czynników plonotwórczych, uwzględniając poziom nawożenia NPK, który zbliża się do poziomu stosowanego w krajach zachodnich. Według Draycotta i in. (36), coraz dokładniejsze doradztwo nawozowe w krajach Unii Europejskiej pozwala na ograniczanie zużycia nawozów NPK przy zachowaniu wysokiego poziomu plonowania buraka cukrowego i stałym wzroście jakości surowca. Średnie zużycie $N + P_2O_5 + K_2O$ w tych krajach w uprawach buraka cukrowego zmniejszyło się z $458 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 1970 r. do $389 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ w 1996 r. W Polsce według notowań Instytutu Przemysłu Cukrowniczego pod burak cukrowy w kampanii 1998/99 zastosowano średnio na 1 ha $116,6 \text{ kg N}$, $77,6 \text{ kg } P_2O_5$ i $132,2 \text{ kg } K_2O$ (łącznie $326,4 \text{ kg}$), IHAR określił natomiast najbardziej efektywną dawkę $N + P_2O_5 + K_2O$ dla warunków polskich na poziomie $360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio 120 : 80 : 160); (58).

3. METODYKA BADAŃ

Badania nad określeniem potrzeb nawożenia mikroelementami buraka cukrowego realizowano w latach 1989–1999. Uwzględniając zakres merytoryczny przeprowadzonych badań w ich obrębie wydzielić można dwa etapy:

1. Badania nad zaopatrzeniem w mikroelementy upraw buraka cukrowego w warunkach produkcyjnych i doświadczalnych na tle poziomów plonowania – przeprowadzono je na 115 polach produkcyjnych z różnych rejonów kraju oraz w sześciu doświadczeniach ścisłych, polowych gdzie czynnikiem różnicującym poziom plonów buraka było nawożenie podstawowe NPK.

2. Badania nad określeniem wymagań pokarmowych i potrzeb nawożenia mikroelementami buraka cukrowego w doświadczeniach uwzględniających stosowanie najważniejszych mikroelementów (B, Cu, Mn, Mo i Zn) – przeprowadzone

w ośmiu doświadczeniach ścisłych polowych, w których stosowano nawożenie mikroelementami na tle nawożenia obornikiem oraz w czterech analogicznych doświadczeniach bez stosowania obornika. Niezależnie od tych badań przyjęty schemat nawożenia mikroelementami testowano również w doświadczeniach: wazonowym i mikropoletkowym, przy użyciu dwóch gleb zróżnicowanych pod względem składu granulometrycznego.

W oparciu o uzyskane w badaniach dane analityczne dotyczące gleby i buraka cukrowego jako rośliny wskaźnikowej dokonano weryfikacji liczb granicznych zawartości w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³ stosowanych od roku 1986 w Okręgowych Stacjach Chemiczno-Rolniczych.

3.1. BADANIA NA POLACH PRODUKCYJNYCH BURAKA CUKROWEGO

Celem badań na polach produkcyjnych było rozpoznanie zaopatrzenia gleb i roślin buraka cukrowego w mikroelementy w skali kraju na polach o wyższej niż przeciętna w danym rejonie produktywności. Na nich bowiem w pierwszej kolejności można spodziewać się niedostatków mikroelementów. Badania te przeprowadzono w latach 1989–1994 we współpracy z Okręgowymi Stacjami Chemiczno-Rolniczymi. Z ogółu objętych badaniami 148 produkcyjnych pól kontrolnych buraka cukrowego z terenu 35 byłych województw, rozmieszczonych głównie w rejonach kraju o największej koncentracji jego uprawy do opracowania wybrano 115 (rys. 1). Do badań wytypowano pola, na których nie stosowano nawożenia mikroelementami w okresie kilku poprzednich lat. Na wybranych polach uprawiano głównie odmiany jednonasienne. Badania rozpoczęto w roku gospodarczym 1988/89, gdy średni poziom nawożenia mineralnego NPK w Polsce wynosił 195,5 kg (N + P₂O₅ + K₂O)·ha⁻¹. Bezpośrednio po tym okresie nastąpił gwałtowny spadek zużycia nawozów mineralnych – do poziomu 62,1 kg N + P₂O₅ + K₂O·ha⁻¹ w roku gospodarczym 1991/92 (106). Sądzić więc można, że wieloletnia intensyfikacja nawożenia mineralnego NPK w okresie poprzedzającym badania mogła wpłynąć na wyczerpanie gleb z przyswajalnych form mikroskładników, nie dostarczanych rutynowo.

Z każdego pola pobierano próbki gleby z warstwy 0–20 cm oraz próbki roślin. Materiał roślinny do analiz chemicznych stanowiły części wskaźnikowe buraka (blaszki liściowe ze środkowych okółków pobierane w okresie 25.06.–15.07.) oraz korzenie pobierane w czasie sprzętu. Określano plon korzeni buraka. W glebie oznaczano odczyn, skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej oraz przyswajalnych form P, K, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn. W próbkach roślinnych oznaczono zawartość suchej masy, N, P, K, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn. Zmiany zawartości badanych mikroelementów w glebie i roślinach buraka rozpatrywano na tle poziomu plonowania korzeni. Wyniki opracowano statystycznie.



Rys. 1. Lokalizacja pól produkcyjnych buraka cukrowego objętych badaniami
Location of the sugar beet farm fields under investigation

3.2. DOŚWIADCZENIA POŁOWE Z RÓŻNICOWANYM POPRZEZ NAWOŻENIE NPK POZIOMEM PLONOWANIA BURAKA CUKROWEGO

Wyniki badań przeprowadzonych na 115 kontrolnych polach produkcyjnych buraka cukrowego wskazują na występowanie z różną częstotliwością niedoborów mikroelementów w glebach, skutkiem czego jest niedostateczne zaopatrzenie roślin w te składniki, powodujące spadki wartości biologicznej i masy plonów korzeni, a więc i cukru. Wyniki te świadczą również o istnieniu współzależności między plonowaniem a zawartością mikroelementów w glebie i w roślinach. Informacje te postanowiono zweryfikować w warunkach doświadczalnych. W tym celu przeprowadzono 6 ścisłych doświadczeń polowych w Stacjach Doświadczalnych IUNG (tab. 1). Czynnikiem różnicującym poziom plonów i ich jakość ocenianą poprzez zawartość mikro- i makroelementów oraz cukru był poziom nawożenia podstawowego NPK.

Tabela 1

Charakterystyka pól doświadczalnych (doświadczenia z różnicowanym plonowaniem)
 Characteristics of experimental fields (experiments with different yields)

Lokalizacja/nr/rok Locality/no./year	Typ, podtyp i gatunek gleby Type, subtype and species of soil	Kompleks ^{1/} i klasa bonitacyjna gleby Complex ^{1/} and quality class of soil	Odmiana buraka cukrowego Sugar beet variety	Przedplon Preceding crop
Grabów (1), 1995	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie średniej lessivé soil developed from heavy loamy sand on medium loam	żytni bardzo dobry rye very good IIIa	Kawejana	pszenica ozima winter wheat
Osiny (2), 1995	czarna ziemia zdegradowana, wytworzona z gliny lekkiej na ile degraded black earth developed from light loam on clay	pszeniczny dobry wheat good IIIa	PN Mono 1	pszenica ozima winter wheat
Grabów (3), 1996	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie średniej lessivé soil developed from heavy loamy sand on medium loam	żytni dobry rye good IVa	Kawejana	pszenica jara spring wheat
Baborówko (4), 1996	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie lekkiej lessivé soil developed from heavy loamy sand on light loam	żytni dobry rye good IVa	PN Mono 1	pszenica ozima winter wheat
Grabów (5), 1997	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie średniej lessivé soil developed from heavy loamy sand on medium loam	żytni bardzo dobry rye very good IIIa	Prisma	pszenica jara spring wheat
Baborówko (6), 1997	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego lekkiego na glinie lekkiej lessivé soil developed from loamy sand on light loam	żytni dobry rye good IVa	Polko	pszenica ozima winter wheat

^{1/} kompleks rolniczej przydatności gleb; complex of agricultural suitability of soils

Doświadczenia zakładano w układzie losowanych bloków w czterech powtórzeniach, jako jednoroczne, powtarzane przez okres 3 lat, według następującego schematu:

Obiekt 1. 0 NPK

Obiekt 2. $\frac{1}{2}$ N:P:K = 75 : 22 : 66 (75 : 50 : 80)^{1/}

Obiekt 3. 1 N:P:K = 150 : 44 : 133 (150 : 100 : 160)^{1/}

Obiekt 4. 2 N:P:K = 300 : 88 : 266 (300 : 200 : 320)^{1/}

^{1/} (N : P₂O₅ : K₂O) w kg·ha⁻¹

Do doświadczeń wybrano gleby o pH powyżej 5, na których w ciągu ostatnich trzech lat nie stosowano mikroelementów, nie wykazujące niedostatków magnezu. Burak nawożono obornikiem w dawce 30 t·ha⁻¹. Nie stosowano natomiast wapnowania. Pobierano średnie obiektowe próbki części wskaźnikowych roślin, liści i korzeni oraz gleby po zbiorze. W glebie oznaczano odczyn, skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej oraz form rozpuszczalnych P, K, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn. W próbkach roślinnych określano zawartość suchej masy, N, P, K, Mg, Na, B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn. W korzeniach buraka oznaczono zawartość cukru. Wyniki opracowano statystycznie. Charakterystykę gleb pól doświadczalnych oraz odmiany buraka uprawiane w doświadczeniach przedstawiono w tabeli 1.

Doświadczenia przeprowadzono głównie na glebach płowych wytworzonych z piasków gliniastych o zawartości frakcji spławialnej w warstwie ornej w zakresie 12–31%, zaliczanych do kategorii agronomicznej gleb lekkich oraz kompleksów przydatności rolniczej żytnej bardzo dobrego i żytnej dobrego. W SD Osiny doświadczenia prowadzono na czarnej ziemi zdegradowanej wytworzonej z gliny lekkiej (kompleks pszenny dobry). Odczyn gleb w zakresie pH 5,6–6,9 (klasy odczynu: III – lekko kwaśny i II – obojętny) był odpowiedni dla buraka cukrowego (55, 71).

W doświadczeniach uprawiano wyłącznie genetycznie jednonasienne odmiany buraka cukrowego, po przedplonach zbożowych.

3.3. DOŚWIADCZENIA WEGETACYJNE Z NAWOŻENIEM BURAKA CUKROWEGO MIKROELEMENTAMI

W celu wstępnej oceny wpływu nawożenia mikroelementami na burak cukrowy przeprowadzono w Stacji Doświadczalnej IUNG Baborówko jednoroczne doświadczenie wazonowe na dwóch różnych glebach. Jednostkami doświadczalnymi były wazon-y Wagnera o pojemności 6 kg gleby. W kolejnym roku test ten powtórzono, lecz w obetonowanych mikropoletkach o powierzchni 1 m² (1 m × 1 m).

Do obu tych doświadczeń użyto buraka cukrowego odmiany PN Mono 4. Doświadczenia przeprowadzono na czarnej ziemi zdegradowanej wytworzonej z gli-

ny średniej pylastej – (I) i na glebie brunatnej wyługowanej, wytworzonej z utworów zwałowych (głina lekka) – (II). Były to gleby znacznie zróżnicowane pod względem agrochemicznym (tab. 17).

Na podstawie wyników testu wazonowego oceniono kierunki zmian w początkowych fazach rozwojowych buraka, spowodowane stosowaniem mikroelementów. Doświadczenie mikropoletkowe w kolejnym roku badań, w którym zebrano plony korzeni umożliwiało pełniejszą ocenę działania mikroelementów w warunkach zbliżonych do polowych. Doświadczenia przeprowadzono w układzie bloków kompletnie zrandomizowanych, jako dwuczynnikowe w pięciu powtórzeniach o następującym schemacie:

Warianty czynnika 1 (rodzaj gleby): A1 – gleba I
 A2 – gleba II

Warianty czynnika 2 (nawożenie mikroelementami):

- [0] – B1 obiekt kontrolny bez mikroelementów;
- [B] – B2 – 12 mg B /wazon, (200 mg B/m²)^{1/} w formie H₃BO₃
- [Cu] – B3 – 60 mg Cu/wazon, (800 mg Cu/m²) w formie CuSO₄
- [Mo] – B4 – 3 mg Mo/wazon, (40 mg Mo/m²) w formie (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O
- [Zn] – B5 – 60 mg Zn/wazon, (800 mg Zn/m²) w formie ZnSO₄
- [Mn] – B6 – 12 mg Mn/wazon, (200 mg Mn/m²) w formie MnSO₄
- [Σ] – B7 – B, Cu, Mo, Zn i Mn łącznie w dawkach j.w.
- [D] – B8 – mikroelementy niedoborowe w danej glebie (zaznaczono je cieniowaniem w tabeli 17).

^{1/} w nawiasach podano dawki zastosowane w doświadczeniu mikropoletkowym

We wszystkich obiektach stosowano jednakowy poziom nawożenia makroelementami, w doświadczeniu wazonowym: 2 g N; 0,45 g P; 1g K i 0,3 g Mg na wazon, w mikropoletkowym: 80 kg N, 35 kg P, 108 kg K oraz 36 kg Mg w przeliczeniu na 1 ha. Nawożenie makro- i mikroelementami stosowano dogłębowo, przed-siewnie z wyjątkiem manganu, który zastosowano w formie oprysku dolistnego w fazie 4–5 liści. Rośliny (części nadziemne) z doświadczenia wazonowego zebrano w pełni rozwoju masy liściowej w połowie lipca. Po określeniu plonu analizowano średnie z obiektów próbki roślin i gleby pobranej po zbiorze doświadczeń. Z doświadczenia mikropoletkowego (drugi rok badań) do analiz chemicznych pobrano próbki części wskaźnikowych roślin (blaszki liściowe ze środkowych okółków), w fazie rozwoju roślin odpowiadającej okresowi zbioru w doświadczeniu wazonowym, uzyskując w ten sposób porównywalność wyników analiz z I i II roku doświadczeń. Określano plony korzeni i liści. Po zbiorze plonów pobrano średnie z obiektów próbki gleby. Oznaczono zawartość N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mo, Zn i Mn w roślinach oraz pH w 1 mol KCl·dm⁻³ i zawartość form przyswajalnych P, K, Mg, B, Cu, Mo, Zn i Mn w glebie. Wyniki opracowano statystycznie.

3.4. DOŚWIADCZENIA POŁOWE Z NAWOŻENIEM BURAKA CUKROWEGO MIKROELEMENTAMI

Prowadzone w przeszłości badania krajowe nad nawożeniem buraka cukrowego mikroelementami dotyczyły głównie stosowania pojedynczych mikroelementów. Nie prowadzono natomiast takich badań w oparciu o kompleksową diagnozę potrzeb. W prezentowanych badaniach przeprowadzone zostały doświadczenia ścisłe, w których testowano obiekty z nawożeniem mikroelementami kompleksowo (B, Cu, Mn, Mo i Zn – łącznie) oraz wybiórczo na podstawie analizy diagnostycznej gleby (mikroelementy deficytowe w danej glebie). Obiekty te porównywano z nawożonymi pojedynczymi mikroelementami. Taki schemat doświadczeń umożliwiał zarówno ocenę działania mikroelementów w poszczególnych obiektach, jak i ocenę przydatności obowiązujących liczb granicznych zawartości dostępnych form mikroelementów w glebie w odniesieniu do potrzeb pokarmowych buraka cukrowego. Z ogółu przeprowadzonych 14 doświadczeń ścisłych połowych, do opracowania wybrano 12–8 (seria 1, lata 1990–1992), w których stosowano nawożenie organiczne i 4 (seria 2, lata 1993–1994) z uprawą bezobornikową buraka cukrowego.

Doświadczenia zakładane w układzie jednoczynnikowym, metodą losowanych bloków prowadzono w cyklach jednorocznych, w czterech powtórzeniach. Niezależnie od tego czy stosowano obornik, czy też uprawę bezobornikową dawki mikroelementów były stałe we wszystkich doświadczeniach i wynosiły w poszczególnych obiektach:

- [0] – 0 – bez mikroelementów
- [B] – 2,0 kg B^{1/}·ha⁻¹
- [Cu] – 8,0 kg Cu·ha⁻¹
- [Mn] – 2,0 kg Mn·ha⁻¹
- [Mo] – 0,4 kg Mo·ha⁻¹
- [Zn] – 8,0 kg Zn·ha⁻¹
- [Σ] – B + Cu + Mn + Mo + Zn w dawkach j.w.
- [D] – kombinacja mikroelementów o niskiej zawartości w danej glebie w dawkach j.w. (zaznaczono je cieniowaniem w tabeli 20).

^{1/} stosowane sole mikroelementowe podano w schemacie doświadczenia wazonowego

Nawożenie mikroelementami wykonywano przewidzianie z wyjątkiem manganu, który z uwagi na małą skuteczność nawożenia doglebowego zastosowano do listnie. Wielkość nawożenia podstawowego azotem, fosforem, potasem i magnezem ustalano według zaleceń nawozowych IUNG (87). Wapnowania nie stosowano. Uwzględniając działanie nawozowe obornika w okresie około 3 lat, przychód mikroelementów w ciągu jednego roku (30% zawartości) należy określić na poziomie (w g·ha⁻¹): bor – 40, miedź – 35, mangan – 490, molibden – 3, cynk – 280 (dane wg Czuby, 27).

Badano wpływ nawożenia mikroelementami na plonowanie, cukrowość i zaopatrzenie roślin buraka w mikroelementy. Stosowano wyłącznie mieszańcowe, genetycznie jednonasienne odmiany buraka cukrowego (tab. 2). Określano plony korzeni i liści z poszczególnych obiektów doświadczeń. Do analiz chemicznych pobierano próbki części wskaźnikowych (blaszki liściowe ze środkowych okółków w okresie 25 VI–15 VII.) oraz korzeni i liści przy zbiorze. Analizowano także średnie z obiektów próbki gleby po zbiorze doświadczeń. Oznaczono zawartość N, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cu, Mo, Zn i Mn w roślinach oraz pH w 1 mol KCl·dm⁻³ i zawartość form rozpuszczalnych P, K, Mg, B, Cu, Mo, Zn i Mn w glebie. Wyniki opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji, korelacji prostej oraz regresji wielokrotnej.

Doświadczenia prowadzono w Stacjach Doświadczalnych IUNG w warunkach gleb odpowiednich dla buraka cukrowego, których ogólną charakterystykę podano w tabeli 2. Pod doświadczenia wytypowano gleby o pH > 5,5, na których przez co najmniej 3 lata nie stosowano mikroelementów lub środków ochrony roślin zawierających mikroelementy.

Stosowano jednolitą metodykę analityczną w całości badań. Próbkę gleb i roślin pobierano, preparowano i analizowano metodami stosowanymi w rutynowych badaniach Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych (91).

W glebie oznaczano zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu według Egnera i Riehma, magnezu według Schachtschabela, mikroelementów (B, Cu, Fe, Mn, Mo, i Zn) we wspólnym wyciągu (1 mol HCl·dm⁻³) na podstawie instrukcji opracowanej w IUNG (92), ponadto pH w 1 mol KCl·dm⁻³, zawartość węgla organicznego metodą Tiurina oraz skład granulometryczny według Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Wyniki analiz gleb wyceniano na podstawie obowiązujących liczb granicznych (136).

W materiale roślinnym po mineralizacji „na mokro” oznaczano zawartość azotu metodą Kjeldahla, fosforu metodą wanadomolibdenianową, potasu i wapnia i sodu – metodą fotometrii płomieniowej oraz magnezu – metodą ASA. Zawartość mikroelementów w roślinach zmineralizowanych „na sucho” oznaczono metodą ASA (miedź, żelazo, mangan i cynk) z wyjątkiem oznaczonych kolorymetrycznie boru – metodą z kurkumina oraz molibdenu – metodą rodankową. Oznaczono także zawartość cukru w burakach – metodą polarymetryczną i suchą masę roślin (w 105°C). Do wyceny zawartości składników w suchej masie części wskaźnikowych buraka zastosowano zakresy graniczne opracowane przez Bergmanna (7, 8).

W opracowaniu wyników badań stosowano metody statystyczne – analizę wariancji, korelacji i regresji prostej oraz wielokrotnej krokowej (stepwise), przy użyciu pakietu „Statgraphics” oraz programów „Awar” i „Anovan”. Istotność różnic międzyobiektowych w analizie wariancji dla doświadczeń ścisłych oceniano stosując test Tukeya ($\alpha = 0,05$). W pracy podano równania regresji o istotności nie

Tabela 2

Charakterystyka pól doświadczalnych (doświadczenia z nawożeniem mikroelementami)
 Characteristics of the experimental fields (experiments with micronutrient application)

Lokalizacja/nr/rok Locality/no./year	Typ, podtyp i gatunek gleby Type, subtype and species of soil	Kompleks ^{I/} i klasa bonitacyjna gleby Complex ^{I/} and quality class of soil	Odmiana buraka cukrowego Sugar beet variety	Przedplon Preceding crop
Nawożenie obornikiem; Farmyard manure application				
Dobrogostów (1), 1990	gleba płowa wytworzona z utworu pyłowego ilastego na piasku gliniastym lessivé soil developed from silt loam on loamy sand	pszenny wadliwy wheat defective IIIb	PN Mono 4	pszenica ozima winter wheat
Dobrogostów (2), 1990	czarna ziemia właściwa, wytworzona z ilu black earth developed from clay	pszenny dobry wheat good IIIa	PN Mono 4	pszenica ozima winter wheat
Antopol (3), 1991	gleba płowa wytworzona z pyłu ilastego lessivé soil developed from silt loam	pszenny bardzo dobry wheat very good II	PN Mono 1	owies oat
Dobrogostów (4), 1991	brunatna właściwa wytworzona z gliny średniej pylastej brown soil developed from medium silty clay	pszenny dobry wheat good IIIb	PN Mono 4	pszenica ozima winter wheat
Dobrogostów (5), 1991	czarna ziemia właściwa, wytworzona z utworu pyłowego ilastego black earth developed from silt loam	pszenny bardzo dobry wheat very good II	PN Mono 4	pszenica ozima winter wheat
Antopol (6), 1992	gleba płowa wytworzona z pyłu ilastego lessivé soil developed from silt loam	pszenny bardzo dobry wheat very good II	PN Mono 4	pszenica ozima winter wheat
Kępa (7), 1992	mada rzeczna brunatna średnia medium-heavy brown alluvial soil	pszenny dobry wheat good IIIa	Poly Mono 1	pszenica jara spring wheat
Błonie-Topola (8), 1992	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego lekkiego na piasku gliniastym mocnym lessivé soil developed from light loamy sand on heavy loamy sand	żytni dobry rye good IIIb	Kamaria	jęczmień jary spring barley

Uprawa bezobornikowa; No-manure				
Baborówko (9), 1993	czarna ziemia zdegradowana wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie lekkiej degraded black earth developed from heavy loamy sand on light loam	żytni bardzo dobry rye very good IIIb	PN Mono 1	jęczmień ozimy winter barley
Werbkowice (10), 1993	czarnoziem zdegradowany, wytworzony z pyłu ilastego degraded chernozem developed from silt loam	pszenny bardzo dobry wheat very good I	PN Mono 4	groch pea
Grabów (11), 1994	gleba płowa wytworzona z piasku gliniastego mocnego na glinie średniej lessivé soil developed from heavy loamy sand on medium loam	żytni bardzo dobry rye very good IIIb	PN Mono 4	groch pea
Sadłowice (12), 1994	plytka mada brunatna średnia shallow medium-heavy brown alluvial soil	pszenny wadliwy wheat defective IIIb	Danpol	bobik na nasiona faba bean for seeds

¹¹ kompleks rolniczej przydatności gleb; complex of agricultural suitability of soils

mniejszej niż $\alpha = 0,05$. Poziomy istotności oznaczano w pracy następująco: * $\alpha = 0,05$; ** $\alpha = 0,01$; *** $\alpha = 0,001$. Za pomocą programu „Soilfert” wyliczono również tzw. „indeksy zawartości składników pokarmowych” w glebie, wyrażające względny stan zaopatrzenia gleby w dany składnik w postaci jednej liczby. Indeks jest wyrażonym w procentach stosunkiem aktualnej zawartości składnika do wartości stanowiącej dolną (dla mikroelementów) lub górną (dla makroelementów) granicę zawartości średniej. Przyjęto, że w glebie występuje niedobór składnika, gdy indeks jest < 100 . Indeks < 50 wskazuje na ostry niedobór składnika w glebie.

4. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

4.1. OCENA ZAOPATRZENIA W MIKROELEMENTY UPRAW BURAKA CUKROWEGO W WARUNKACH PRODUKCYJNYCH I DOŚWIADCZALNYCH

4.1.1. Zaopatrzenie w mikroelementy gleb i roślin buraka cukrowego z kontrolnych pól produkcyjnych

Charakterystykę agrochemiczną gleb z pól produkcyjnych wytypowanych do badań przedstawiono w tabeli 3.

W celu pełniejszego scharakteryzowania badanych gleb w tabeli 4 dokonano ich podziału na kategorie z uwzględnieniem wybranych cech fizykochemicznych oraz uzyskanych plonów korzeni.

Przewaga gleb lekkich w kraju uwidoczniła się w postaci znacznego udziału tej kategorii gleb na polach buraka cukrowego wybranych do badań. Niemal 42% tych pól zlokalizowanych było na glebach lekkich o dość znacznej jednak zawartości frakcji pyłowej (0,02–0,1 mm) – średnio 22,6%. Kolejną, zbliżoną pod względem liczebności grupę stanowiły gleby średnie (gliny lekkie pylaste) – 38,3% pól. Gleby ciężkie reprezentowane były przez 20% pól, na których występowały przeważnie gliny średnie pylaste o przeciętnym udziale frakcji spławialnej wynoszącym 44%. Wraz ze wzrostem udziału frakcji spławialnej i pyłowej w glebach zwiększała się zawartość substancji organicznej oraz wartość pH. Średnie dla poszczególnych grup wartości pH mieściły się w III klasie odczynu (lekko kwaśny).

Niezależnie od składu granulometrycznego 21,7% gleb należy zaliczyć do klasy IV odczynu (pH 4,6–5,5), 54,8% – do klasy III (pH 5,6–6,5), a 23,5% do klasy II (pH 6,6–7,2).

Średnie plony korzeni buraka cukrowego uzyskane na glebach zaliczanych do różnych kategorii agronomicznych i klas odczynu były zbliżone, co wskazuje na podobną przydatność wytypowanych pól do uprawy buraka cukrowego.

Zakresy występowania niedoborów mikroelementów w glebie wyliczono na podstawie indeksów zawartości składników pokarmowych, a wyniki analiz części wskaźnikowych buraka wyceniono według zakresów Bergmanna (7, 8). Często-

Tabela 3

Agrochemiczne właściwości warstwy ornej gleb z pól produkcyjnych
buraka cukrowego
General agrochemical characteristics of the soil arable layer from sugar beet farm fields

Cechy gleby Properties of soil	Mediana Median	Średnia arytmetyczna Arithmetic mean	Odchylenie standardowe Standard deviation
pH (1 mol·dm ⁻³ KCl)	6,00	5,96	0,75
Frakcja (fraction) < 0,02mm,	23,00	25,96	11,26
Frakcja (fraction) 0,02–0,1 mm %	25,00	29,24	12,04
Materia organiczna; Organic matter	1,80	1,94	0,73
P	87,0	103,1	61,22
K	139,50	170,84	99,58
Mg	58,5	64,98	35,71
B	0,78	0,82	0,60
Cu mg·kg ⁻¹	2,60	2,75	2,03
Fe	1030,00	2087,2	2080,00
Mn	125,00	127,65	54,10
Mo	0,10	0,12	0,10
Zn	9,70	9,97	7,27

Tabela 4

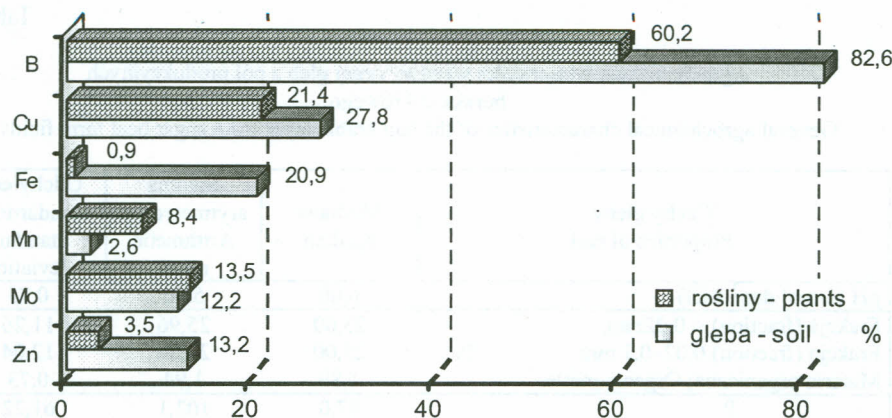
Charakterystyka gleb i plon buraka cukrowego w kategoriach agronomicznych gleb
Characteristics of soils in groups according to agronomic categories

Kategoria agronomiczna Agronomic category	Liczba pól Number of fields	Plon korzeni Root yield (t·ha ⁻¹)	Frakcja Fraction (< 0,02 mm)	Frakcja Fraction (0,02–0,1 mm)	Substancja organiczna Organic matter	pH (1 mol KCl·dm ⁻³)
			%			
Lekkie; Light	48 (41,7%)	42,5 ± 6,4	15,9 ± 2,9	22,6 ± 7,0	1,49 ± 0,6	5,8 ± 0,7
Średnie; Medium	44 (38,3%)	43,8 ± 4,8	27,5 ± 4,3	30,7 ± 12,5	2,06 ± 0,7	6,0 ± 0,8
Ciężkie; Heavy	23 (20,0%)	43,0 ± 5,4	44,0 ± 6,1	34,9 ± 12,6	2,25 ± 0,7	6,3 ± 0,7

± x – odchylenie standardowe; standard deviation

tliwość występowania niedoborów mikroelementów w glebie i roślinach ilustruje rysunek 2.

Skutkiem często stwierdzanych niedostatków boru (82,6% pól, w tym 36,2% pól z ostrym niedoborem – indeks < 50) i miedzi (27,8% pól, w tym 8,2% pól z ostrym niedoborem) w glebie było złe zaopatrzenie roślin w te składniki (odpowiednio 60,2% i 21,4%). W mniejszym zakresie dotyczyło to również molibdenu



Rys. 2. Procentowy udział próbek gleb i roślin o niskiej zawartości mikroelementów
Percentage of soil and plant samples of low micronutrient content

(12,2% pól, w tym 3,5% pól z ostrym niedoborem w glebie i 13,5% pól – w roślinach).

Takiej relacji nie odnotowano w przypadku żelaza i cynku, których wykazany deficyt w glebie rzadko był przyczyną niskiej ich koncentracji w liściach buraka. Wiazać to należy z małą wrażliwością buraka cukrowego na ich niedobór oraz wystarczającym dopływem tych składników z obornikiem.

Pomimo rzadko notowanych niedoborów manganu w glebie (2,6%) stwierdzano częstsze przypadki jego niskich zawartości w roślinach, wskazujące na duże potrzeby buraka w odniesieniu do tego mikroelementu.

Na podstawie uzyskanych informacji uformować można szeregi obrazujące zakresy (%) występowania deficytu mikroelementów w warstwie ornej badanych pól: B (82,6) > Cu (27,8) > Fe (20,9) > Zn (13,2) > Mo (12,2) > Mn (2,6) i w uprawianych na nich roślinach buraka cukrowego: B (60,2) > Cu (21,4) > Mo (13,5) > Mn (8,4) > Zn (3,5) > Fe (0,9).

Plony korzeni buraka wahały się w granicach 32–63 t·ha⁻¹ (średnio 42,9). Zgodnie z przyjętą metodyką, wyróżniono 3 grupy o zbliżonej liczebności pól, według wzrastającego poziomu plonów:

Grupa I – 32–40 (średnio – 36,9) t·ha⁻¹; n = 39

Grupa II – 41–45 (średnio – 43,8) t·ha⁻¹; n = 41

Grupa III – 46–63 (średnio – 49,2) t·ha⁻¹; n = 35

Średnie plony w grupie I (36,9 t·ha⁻¹), traktowane jako poziom odniesienia, były większe o 7% od średniej krajowej z lat, w których przeprowadzono badania (34,4 t·ha⁻¹). Plony w grupie II przewyższały średnią krajową o 27%, a w grupie III o 43% (106).

W tabeli 5 zestawiono średnie dla wydzielonych grup pól zawartości badanych mikroelementów w glebach.

Tabela 5

Średnia zawartość mikroelementów w glebie w grupach według poziomów plonowania
Mean soil micronutrient concentration in groups according to yield level

Poziom plonowania Yielding level		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	pH _{KCl}
grupa group	t·ha ⁻¹	mg·kg ⁻¹						
I (n = 39)	36,9 (32–40)	0,56 ± 0,48	2,30 ± 0,65	1124 ± 840	131 ± 42,7	0,08 ± 0,03	9,30 ± 8,10	5,8 ± 0,22
II (n = 41)	43,8 (41–45)	0,83 ± 0,62	2,93 ± 1,01	1208 ± 110	135 ± 45,6	0,07 ± 0,04	10,1 ± 7,38	5,8 ± 0,23
III (n = 35)	49,2 (46–63)	1,20 ± 0,93	3,01 ± 1,11	2248 ± 2078	100 ± 30,2	0,15 ± 0,08	10,5 ± 5,46	6,1 ± 0,42

± – odchylenie standardowe; standard deviation

Znaczna zmienność wyników analiz próbek pochodzących z wielu pól produkcyjnych jest powodem wahań zawartości mikroelementów w obrębie poszczególnych grup, jednak ogólny kierunek zmian stwierdzany pomiędzy grupami wskazuje dość jednoznacznie na dodatnią zależność między zasobnością gleb w bor, miedź i żelazo a poziomem plonów korzeni buraka. Korzystny odczyn gleb, na których uzyskiwano najwyższe plony wiązał się z wyraźnym wzrostem dostępności molibdenu oraz ograniczeniem dostępności manganu. Przypadki ostrego niedoboru B, Cu, i Mo (indeks < 50) stwierdzano głównie w I grupie pól. Wyniki te potwierdzają korelacje proste między poziomem plonowania buraka a zawartością w glebie: boru $r = 0,485^{**}$, manganu $r = -0,311^{**}$ oraz molibdenu $r = 0,539^{***}$, a także równania regresji wielokrotnej krokowej przedstawione w dalszej części pracy.

W tabeli 6 zestawiono zawartości mikroelementów oznaczone w częściach wskaźnikowych buraka a w tabeli 7 w korzeniach. Jako dane porównawcze stosowano kryteria Bergmanna (7, 8) i Fincka (41) oraz wyniki badań krajowych według IUNG (72). Interpretacja składu chemicznego roślin na tle poziomów plonowania jest zagadnieniem złożonym. Na ogół przyjmuje się, że udowodniony statystycznie wzrost zawartości składnika w roślinie wraz z masą uzyskiwanych plonów świadczy o jego plonotwórczym działaniu. Jednak brak zmian w koncentracji składnika pokarmowego, a nawet jej spadek stwierdzany w wysokich plonach nie są dowodem braku pozytywnego wpływu na plonowanie. W takim przypadku

Tabela 6

Zawartość mikroelementów w częściach wskaźnikowych buraka cukrowego
według poziomu plonowania
Micronutrient concentration of the sugar beet test parts according to yield level

Średni plon korzeni (t·ha ⁻¹) Mean root yields (t·ha ⁻¹)	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg·kg ⁻¹ suchej masy; mg·kg ⁻¹ of dry matter					
36,9 (32–40)	29,6 ± 6,0	9,4 ± 3,5	245 ± 103	81,5 ± 71,0	0,44 ± 0,36	54,7 ± 12,6
43,8 (41–45)	35,5 ± 11,7	9,4 ± 5,1	221 ± 102	95,0 ± 87,0	0,66 ± 0,53	53,0 ± 16,2
49,2 (46–63)	45,4 ± 12,2	8,4 ± 2,6	189 ± 82	161,7 ± 101	0,94 ± 0,87	57,9 ± 16,8
Optimum wg Bergmanna (7, 8) Optimum acc. to Bergmann (7, 8)	40–100	7–15	60–140	35–100	0,25–1,5	20–80
Dane krajowe wg IUNG (72) Domestic data acc. to IUNG (72)	34,5	11,7	613	90,9	0,66	67,1

± x – odchylenie standardowe; standard deviation

Tabela 7

Zawartość mikroelementów w korzeniach buraka cukrowego według poziomu plonowania
Micronutrient concentration of the sugar beet roots according to yield level

Średni plon korzeni (t·ha ⁻¹) Mean root yields (t·ha ⁻¹)	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
	mg·kg ⁻¹ suchej masy; mg·kg ⁻¹ of dry matter					
36,9 (32–40)	12,0 ± 1,4	3,8 ± 1,7	81 ± 78	35 ± 33,5	0,24 ± 0,17	22,8 ± 10,4
43,8 (41–45)	12,2 ± 1,2	3,8 ± 1,6	84 ± 81	36 ± 35,1	0,34 ± 0,31	23,4 ± 12,6
49,2 (46–63)	14,5 ± 1,3	3,6 ± 1,4	94 ± 77	37 ± 27,2	0,29 ± 0,20	23,9 ± 11,3
Dane wg Fincka (41) Data acc. to Finck (41)	25	4,0	40	30	0,20	15
Dane krajowe wg IUNG (72) Domestic data acc. to IUNG (72)	12,9	5,7	118	34,5	0,26	21,9

± x – odchylenie standardowe; standard deviation

występować może bowiem efekt „rozcieńczenia” składnika wskazujący na możliwość wystąpienia niedoborów.

Blaszki liściowe buraka z grupy pól o największych plonach charakteryzowały się największą zawartością boru, manganu, molibdenu i cynku. Współczynniki ko-

relacji między poziomem plonowania korzeni a koncentracją mikroelementów w tkankach blaszek liściowych buraka wynosiły dla: boru $r = 0,531^{**}$, manganu $r = 0,474^{**}$, molibdenu $r = 0,396^{**}$. Zawartość miedzi i żelaza wykazywała natomiast tendencję spadkową w grupie roślin najlepiej plonujących.

W świetle stosowanych kryteriów najgorsze było zaopatrzenie roślin w bor, którego średnia koncentracja w tkankach liści buraków z I i II grupy plonów wykazywała wartości niedoborowe.

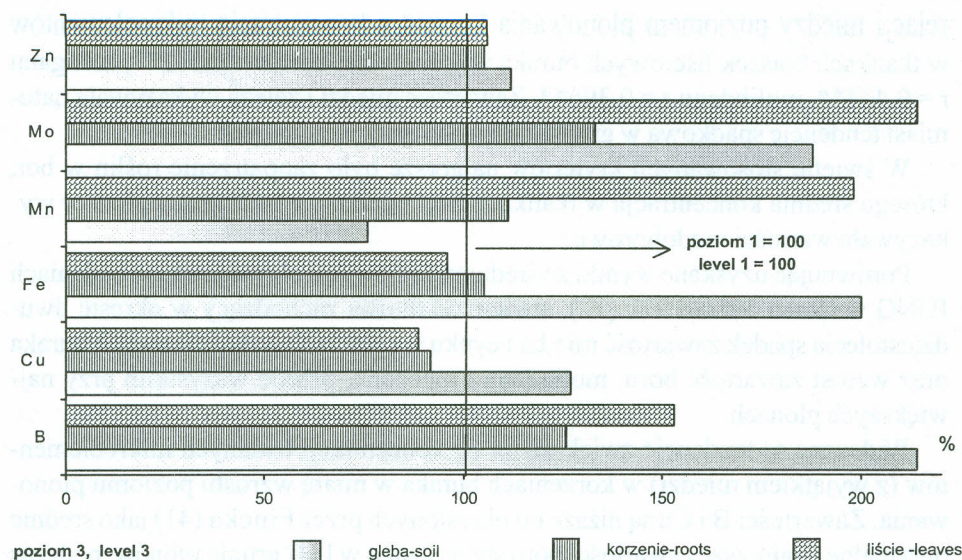
Porównując uzyskane wyniki ze średnimi krajowymi określonymi w badaniach IUNG w latach 1966–1971 (72), stwierdzić można zachodzący w okresie dwudziestolecia spadek zawartości miedzi i cynku w częściach wskaźnikowych buraka oraz wzrost zawartości boru, molibdenu i manganu, przede wszystkim przy największych plonach.

Widoczne są tendencje zwiększania się koncentracji badanych mikroelementów (z wyjątkiem miedzi) w korzeniach buraka w miarę wzrostu poziomu plonowania. Zawartości B i Cu są niższe od określonych przez Fincka (41) jako średnie optymalne. Najniższe zawartości boru stwierdzano w I i II grupie plonów, podczas gdy zawartość miedzi obniżała się w plonach największych. W zbiorze 115 danych 87% próbek korzeni wykazywało niższą od tej średniej zawartość boru, a 57% – miedzi. Obserwacje te potwierdzają wyniki badań dotyczących części wskaźnikowych roślin. W porównaniu do średnich krajowych z lat wcześniejszych zawartości mikroelementów w korzeniach nie ulegały większym zmianom z wyjątkiem miedzi, której zawartość obniżyła się średnio z 5,7 do 3,7 mg·kg⁻¹ suchej masy, oraz żelaza (tab. 7).

Zmiany koncentracji pięciu badanych mikroelementów w glebie, liściach i korzeniach buraka, w zależności od poziomu plonowania przedstawiono na rysunku 3 (porównano I i III grupę plonów w liczbach względnych, I grupa plonów = 100).

Wzrost plonów korzeni buraka związany był z wyższą zasobnością gleb w bor, molibden, żelazo, miedź i cynk. Gleby takie cechował jednak pewien niedostatek manganu wynikający, jak sądzić można, z dużego pobrania z plonami buraka oraz z przemian uwarunkowanych potencjałem oksydacyjno-redukcyjnym, jakim ulegał ten pierwiastek w warunkach wzrostu wartości pH.

W tych warunkach blaszki liściowe buraka pobierane do badań przeważnie w czerwcu były dobrze zaopatrzone w Mn. Wiązać to można z sezonową zmiennością dostępności (85) i koncentracji składników w liściach (131) oraz z wpływem nawożenia organicznego i spowolnionym działaniem wapnowania, ograniczającym dostępność Mn dopiero w okresie późniejszym. Wyniki dotyczące wzrostu pobrania Mn wraz ze wzrostem plonów roślin i wartości pH gleby na polach roślin zbożowych wyjaśniano również osłabieniem antagonizmu $Fe \leftrightarrow Mn$ (49). Przy dużych plonach buraka (grupa III) stwierdzono wzrost koncentracji boru, manganu i molibdenu oraz spadek udziału miedzi i żelaza w częściach wegetatywnych.



Rys. 3. Względna zawartość mikroelementów w glebie i w roślinach buraka na tle poziomów plonowania

Relative concentration of the micronutrients in soil and sugar beet plants against yield level

Dla oceny stopnia zaopatrzenia roślin w mikroelementy niezbędne jest rozpoznanie zawartości makroelementów, które stanowią istotne tło stanu odżywienia roślin mikroskładnikami. Stwierdzono wysoką i bardzo wysoką zawartość przyswajalnego fosforu, średnią i wysoką potasu oraz niską i średnią magnezu (136). Stopniowy wzrost poziomu plonowania korzeni buraka następował w miarę zwiększania się zawartości dostępnych form fosforu i potasu w glebie badanych pól. Taki kierunek zmian dotyczył również zawartości magnezu, przy czym obserwowano tendencje spadkowe jego zawartości w glebie pól o największych plonach (tab. 8).

Rośliny z grupy najlepiej plonujących charakteryzowały się największą zawartością potasu i magnezu w liściach, zawartość azotu i fosforu nie ulegała natomiast istotnym wahaniom w zależności od plonów korzeni buraka. W świetle kryteriów Bergmanna (7, 8) rośliny we wszystkich trzech grupach odznaczały się optymalną koncentracją P, K i Mg w tkankach liści. Zawartość N była w trzech grupach zbliżona do dolnej granicy wartości optymalnej. Wiązać to można z proporcjonalnym wzrostem plonów w miarę zwiększania się zaopatrzenia w azot. W rezultacie procentowa zawartość N w roślinach utrzymywała się na zbliżonym poziomie.

W wyniku przeprowadzonego rachunku regresji wielokrotnej krokowej, wobec poziomu plonów jako zmiennej zależnej w odniesieniu do najważniejszych cech

Tabela 8

Zawartość makroelementów w częściach wskaźnikowych buraka cukrowego i w glebie
Macronutrient concentration in the sugar beet sampling organs and in soil

Poziom plonowania (t·ha ⁻¹) Yielding level (t·ha ⁻¹)	Roślina; Crop				Gleba; Soil		
	% suchej masy; % of dry matter				mg·kg ⁻¹		
	N	P	K	Mg	P	K	Mg
36,7 (32–40)	3,86	0,46	4,47	0,53	76,7	127,3	50,9
43,8 (41–45)	4,05	0,43	4,11	0,55	86,7	147,6	62,1
49,2 (46–63)	3,70	0,44	5,12	0,66	105,6	165,3	56,1
Optimum wg Bergmanna (7, 8)							
Optimum acc. to Bergmann (7, 8)	4,0–6,0	0,35–0,6	3,5–6,0	0,3–0,7			

fizykochemicznych oraz zawartości rozpuszczalnych form makro- i mikroelementów w glebie uzyskano równanie opisujące 41% zmienności plonów:

$$y = 40,166 + 2,418 B + 15,359 Mo + 0,145 FP - 0,045 Mn; \quad R^2 = 0,412^{**} \quad [1]$$

gdzie: y – plon (t·ha⁻¹),

B, Mn, Mo – zawartość w glebie mikroelementów (w mg·kg⁻¹ gleby), oznaczonych przy zastosowaniu 1 mol HCl·dm⁻³ jako ekstraktora,

FP – procentowa zawartość frakcji pyłowej (0,02–0,1 mm).

Analogiczne równanie uwzględniające zawartości składników w częściach wskaźnikowych roślin ma postać:

$$y = 44,744 + 0,947 K + 7,109 Mg + 2,310 Mo - 0,0097 Fe; \quad R^2 = 0,275^{**} \quad [2]$$

gdzie: y – plon (t·ha⁻¹),

K, Mg – zawartość składników w blaszkach liści buraka, w % suchej masy,

Mo, Fe – zawartość składników w blaszkach liści buraka, w mg·kg⁻¹ suchej masy.

Porównanie współczynników determinacji uzyskanych równań wskazuje na lepszą przydatność analizy glebowej niż roślinnej w prognozowaniu plonów. Największe plony korzeni buraka uzyskiwano na glebach zasobnych w bor i molibden. Uwidocznił się również plonotwórczy wpływ frakcji pyłowej. Wpływa ona decydująco na właściwości fizyczne gleby, zwłaszcza na jej strukturę i pojemność wodną (114). Niewielka poprawka Mn ze znakiem ujemnym w równaniu oznacza zapewne naturalne ograniczenie dostępności tego mikroelementu w warunkach gleb obojętnych, na których uzyskiwano największe plony. Mniejsza w przypadku drugiego z równań wartość informacyjna analizy roślinnej związana jest prawdopodobnie ze znaczną różnorodnością warunków agrotechnicznych i pogodowych, w jakich przeprowadzono badania. Jak wynika z równania objaśniającego 28% zmienności plonów, w miarę wzrostu poziomu plonowania rośliny charakteryzowały się zwiększoną koncentracją magnezu, molibdenu, a także, w mniejszym stopniu, potasu.

Azot nie został uwzględniony w równaniu, co wyjaśnić można utrzymującą się na tym samym poziomie w trzech grupach zawartością tego składnika (tab. 5).

Bardzo duży deficyt boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³ stwierdzony w warstwie ornej gleb na polach produkcyjnych buraka cukrowego budzi niepokój wobec znaczenia, jakie ma ten mikroelement w uprawie buraka cukrowego. Nie można oczekiwać pełnego wyrównania istniejącego niedostatku boru glebowego jego ilością wnoszoną z obornikiem. Fakt ten potwierdzają wyniki analizy liści i korzeni buraka oraz wyniki innych badań wskazujące na duże potrzeby pokarmowe buraka względem boru (27).

Przeprowadzone (tą samą metodą) w zbliżonym okresie czasu analizy gleb krajowych pól produkcyjnych innych roślin potwierdzają skalę stwierdzanych niedoborów boru. Gembarzewski (45, 48, 49) w badaniach na polach ziemniaka (n = 156), pszenicy ozimej (n = 200) i pszenżyta (n = 60) wykazał udziały próbek o niskiej zawartości boru wynoszące odpowiednio 91%, 94% i 83%. Również Czuba (25) na podstawie wyników analiz gleb krajowych ocenił, że częstotliwość występowania gleb o niskiej zawartości boru wynosi 76%. Podobny wynik uzyskano w analizach inwentaryzacyjnych Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych przeprowadzonych w latach 1987–1993, według których z przebadanych 78278 próbek z terenu całego kraju 75% cechowała niska zawartość boru (98). Stwierdzony szerszy zakres niedoborów B w glebach badanych pól produkcyjnych buraka cukrowego niż występujący średnio w kraju wiązać można z wyższym odczynem tych gleb, ograniczającym rozpuszczalność boru, a także z wyczerpaniem glebowych zasobów B poprzez wysokie pobranie z plonami buraka (27, 90).

Coraz częściej jednak krytycznie ocenia się obowiązujące liczby graniczne zawartości w glebie mikroelementów rozpuszczalnych w 1 mol HCl·dm⁻³, w tym zwłaszcza boru (38, 45, 52, 134). Wynika to z faktu, że wykazywana zazwyczaj przy użyciu tych kryteriów bardzo duża częstotliwość niedoborów tego mikroelementu w glebach nie znajduje potwierdzenia w wynikach analizy uprawianych na nich roślin. Nie uzyskuje się również oczekiwanej w takiej sytuacji reakcji na nawożenie tym mikroelementem. Sugeruje to, że stwierdzane duże zakresy niedoborów B w glebach mogą być wynikiem zbyt rygorystycznej kalibracji stosowanego testu glebowego. Potwierdzeniem może być również brak korelacji pomiędzy zawartością boru przyswajalnego w glebie a jego koncentracją w buraku cukrowym. Taką sytuację stwierdzano również w badaniach na polach innych roślin uprawnych (45, 48, 134).

Przedstawione wyniki badań upoważniają do wnioskowania o potrzebie podjęcia badań nad korektą obowiązujących liczb granicznych zawartości w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³. Dysponując stosunkowo licznym zbiorem danych analitycznych w niniejszej pracy podjęto próbę weryfikacji tych liczb granicznych (rozdział 5).

Kolejnym mikroelementem, pod względem skali stwierdzanych niedoborów na polach produkcyjnych była miedź. Jej niska zawartość w glebie występowała w 27,8% pól, (w tym 8,2% pól wykazywało ostry niedobór). Efektem tego było złe zaopatrzenie roślin w Cu (21,4% pól). Stwierdzony udział pól o niskiej zawartości miedzi przyswajalnej w glebie jest w tym przypadku mniejszy od wykazanego w krajowych badaniach inwentaryzacyjnych – 37% pól (98). Wynika to z większej żyzności i bogatszego kompleksu sorpcyjnego gleby z pól przeznaczanych pod uprawę buraka cukrowego.

Większe plony buraka uzyskiwano na glebach bardziej zasobnych w miedź, jednak zarówno liście, jak i korzenie cechowała stosunkowo niska jej zawartość. Uzyskano niewysoką, aczkolwiek istotną, ujemną korelację pomiędzy zawartością miedzi w glebie i w korzeniach buraka ($r = -0,39^{**}$).

Wyniki stawiające zagadnienie deficytu boru i miedzi w pierwszej kolejności problematyki mikroelementowej znajdują potwierdzenie w wielu innych pracach z zakresu chemii rolnej (24, 33, 45, 107, 119). Okręgowe Stacje Chemiczno-Rolnicze po przebadaniu w latach 1987–1993 ponad 78 tysięcy próbek glebowych z terenu kraju, w 75% z nich stwierdziły niską zawartość boru a w 37% – miedzi (98).

Rzadziej stwierdzane niedobory Mo w glebie – 12,2% pól – miały odzwierciedlenie w udziale roślin niedostatecznie zaopatrzonych w ten mikroskładnik – 13,5%. Uwzględniając dodatnio skorelowaną z plonami korzeni koncentrację Mo w glebie i w roślinach przewidywać można, że pomimo dostatecznego na ogół zaopatrzenia gleb w molibden możliwe są przypadki wystąpienia deficytu tego składnika w wysoko plonujących uprawach buraka cukrowego. Podobne zależności odnieść można do cynku. Duże pobranie manganu z plonami buraka uprawianego na glebach żyznych, cechujących się uregulowanym odczynem powodowało spadki zawartości jego form dostępnych w glebie wykazywane w analizie glebowej.

Haneklaus i Schnug (62) w badaniach nad stanem zaopatrzenia w mikroelementy 558 plantacji buraka cukrowego z sąsiadujących terenów północnych Niemiec i wschodniej Danii uzyskali nieco odmienny obraz deficytu mikroelementów. Spośród niedoborów glebowych na czoło wysuwa się tam problem manganu (27% pól w Niemczech, 58% pól w Danii), związany niewątpliwie z uregulowanym odczynem gleb na polach buraka cukrowego, oraz miedzi (32% pól w Niemczech, 13% pól w Danii). Efektem niedoborów miedzi było niedostateczne zaopatrzenie w ten mikroskładnik roślin buraka (37% pól badanego obszaru łącznie, w tym 13% z ostrym niedoborem), podczas gdy deficyt Mn w roślinach występował stosunkowo rzadko (16% pól). W przeciwieństwie do wyników polskich tylko 9% próbek liści buraka cukrowego cechowała niższa od optymalnej zawartość boru (63). W konfrontacji z wynikami badań własnych, cytowane dane potwierdzają częstotliwość występowania niedoborów miedzi, która w obu przypadkach zależała od poziomu plonowania. Zakresy deficytów glebowych Cu były zbliżone – (28% pól –

badania własne, 32% pól – badania niemieckie), natomiast w Niemczech w warunkach większego plonowania częściej stwierdzano niskie zawartości miedzi (37% pól wobec 21% pól w badaniach własnych).

4.1.2. Zaopatrzenie buraka cukrowego w mikroelementy w warunkach plonowania zróżnicowanego poprzez nawożenie NPK

W tabeli 9 scharakteryzowano użyte do doświadczeń gleby pod względem agrochemicznym. Gleby wszystkich pól doświadczalnych cechowała niska zawartość potasu przyswajalnego (indeks < 100), a – z wyjątkiem SD Osiny – również boru. Część gleb była również niedostatecznie zaopatrzona w fosfor, magnez, miedź, żelazo i molibden. Stosunkowo najlepszą zasobność w przyswajalne formy składników pokarmowych wykazywała warstwa orna gleb w SD Osiny i Baborówko.

Tabela 9

Charakterystyka agrochemiczna gleb użytych w doświadczeniach
Agrochemical characteristics of soils used in experiments

Lokalizacja/rok Locality/year	pH	F _s	S _o	P	K	Mg	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
		%		indeksy; indexes								
Grabów, 1995	6,6	20	1,70	82	53	97	46	71	83	127	80	220
Osiny, 1995	5,6	31	3,40	117	79	126	165	580	141	261	51	301
Grabów, 1996	6,0	20	1,60	80	53	83	61	76	82	109	79	190
Baborówko, 1996	6,9	16	1,09	118	66	129	77	142	56	255	147	785
Grabów, 1997	6,8	19	1,79	71	41	99	21	72	107	184	50	232
Baborówko, 1997	6,7	12	1,57	115	67	155	60	168	93	337	117	1561

F_s – frakcja spławialna < 0,02 mm; fine fraction < 0.02 mm

S_o – substancja organiczna; organic matter

Warunki pogodowe w latach prowadzenia badań sprzyjały prawidłowemu rozwojowi roślin buraka cukrowego. Najmniej korzystne okresy odnotowano wiosną 1996 roku w SD Grabów i SD Osiny – zbyt mała ilość opadów oraz latem 1997 roku w SD Grabów, ze względu na nadmiar opadów związany z ograniczeniem nasłonecznienia, obniżającym zawartość sacharozy w korzeniach.

Wpływ nawożenia zwiększonymi dawkami NPK na plonowanie buraka cukrowego w doświadczeniach przedstawiono w tabeli 10. Plony korzeni buraka w obiektach kontrolnych wahały się od 27,2 t·ha⁻¹ w Baborówku do 59,8 t·ha⁻¹ w Grabowie w roku 1997, a plony liści od 16,1 t·ha⁻¹ w Baborówku w 1997 r. do 35,8 t·ha⁻¹ w Osinach w 1995 r.

Przyrosty plonów korzeni pod wpływem nawożenia wynosiły od 11% (Grabów 1995 r. – przy dawce $\frac{1}{2}$ NPK) do 82% (Baborówko w 1997 r. – przy dawce 1 NPK), a liści od 26,8% (Osiny 1995 r. – dawka $\frac{1}{2}$ NPK) do 153,4% (Baborówko 1997 r. – dawka 2 NPK) w stosunku do plonów z obiektów kontrolnych doświadczeń w tych miejscowościach. W rezultacie w doświadczeniach uzyskano plony korzeni równe, a nawet większe niż w najlepiej plonującej grupie w badaniach na polach produkcyjnych. Z reguły jednak plony korzeni stabilizowały się już przy dawce $\frac{1}{2}$ NPK, a przy dawce 2 NPK wykazywały tendencję spadkową. Tendencja taka nie dotyczyła natomiast plonów liści. Współczynnik korelacji pomiędzy plonami liści i korzeni w doświadczeniach wyniósł średnio $r = 0,65^{***}$.

Tabela 10

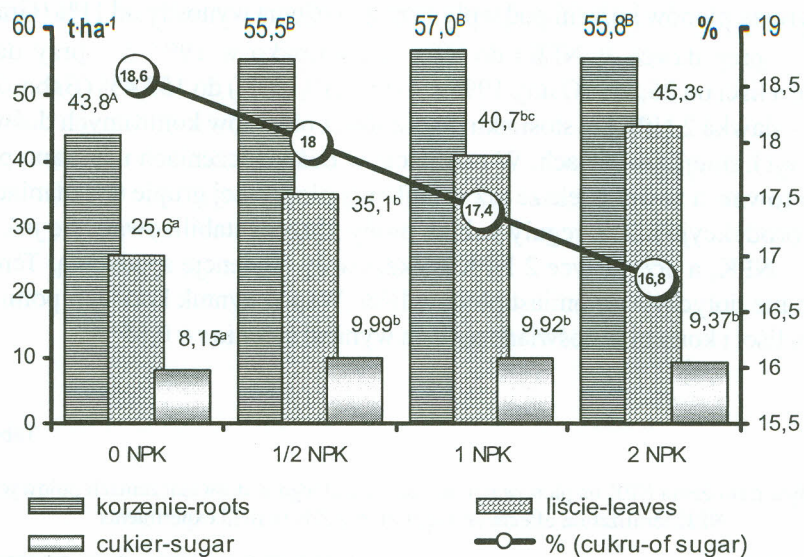
Wpływ nawożenia NPK na plonowanie buraka cukrowego w doświadczeniach polowych
NPK fertilization effects on sugar beet yields in field experiments

Lokalizacja/rok Locality/year	t·ha ⁻¹	Przyrost plonu Yield increase (%)				t·ha ⁻¹	Przyrost plonu Yield increase (%)			
		0 NPK	$\frac{1}{2}$ NPK	1 NPK	2 NPK		0 NPK	$\frac{1}{2}$ NPK	1 NPK	2 NPK
		korzenie; roots					liście; leaves			
Grabów, 1995	42,9		11,2*	11,3*	11,4*	22,9	17,5	28,8*	39,7*	
Osiny, 1995	48,0		23,3*	33,8*	31,0*	35,8	26,8*	42,7*	65,1*	
Grabów, 1996	52,6		19,0*	10,8	9,9	30,0	16,0	36,7*	68,3*	
Baborówko, 1996	32,6		38,3*	47,2*	44,2*	26,8	44,4*	48,1*	45,1*	
Grabów, 1997	59,8		18,7*	22,9*	15,7*	21,0	58,6*	123,8*	139,5*	
Baborówko, 1997	27,2		72,8*	82,0*	79,8*	16,1	93,2*	120,5*	153,4*	
Średnio; Average	43,8		26,6*	30,0*	27,3*	25,6	36,8*	58,9*	76,7*	

* przyrost plonu statystycznie istotny wg testu Tukeya przy $\alpha = 0,05$; yield increase statistically significant acc. to Tukey's test, $\alpha = 0,05$

Na rysunku 4 przedstawiono syntetyczne wyniki dotyczące plonowania buraka wraz z opracowaniem statystycznym.

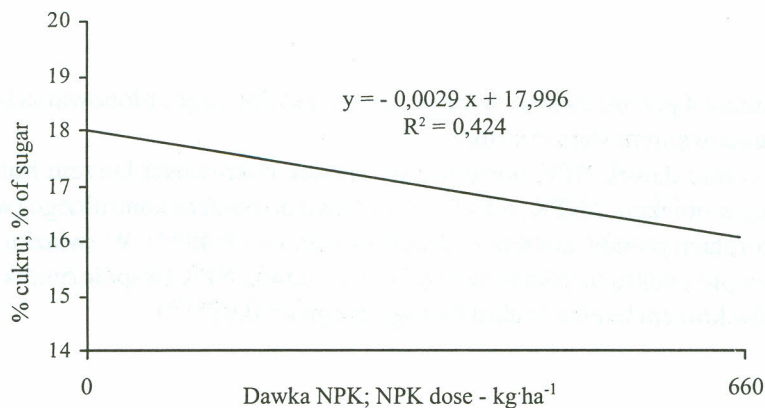
Zwiększanie dawek NPK powodowało spadek cukrowości korzeni buraka – największy w obiekcie 2 NPK, o 1,8% w stosunku do obiektu kontrolnego (współczynnik korelacji plonów korzeni i ich cukrowości $r = -0,48^{**}$). W związku z tym największy plon cukru uzyskano w obiekcie z $\frac{1}{2}$ dawki NPK (współczynnik korelacji plonów korzeni buraka i cukru biologicznego $r = 0,92^{***}$).



Plony oznaczone tymi samymi literami są statystycznie równorzędne według testu Tukeya przy $\alpha = 0,05$
 Yields marked with the same letter are statistically equal acc. to Tukey's test, $\alpha = 0.05$

Rys. 4. Plonowanie buraka cukrowego w doświadczeniach (synteza)
 Sugar beet yields from experiments (synthetic results)

Zależność funkcyjną pomiędzy nawożeniem NPK a cukrowością korzeni buraka z doświadczeń przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Zależność pomiędzy poziomem nawożenia NPK a zawartością cukru w korzeniach buraka
 Relationship between NPK fertilization level and sugar content in the sugar beet roots

Zgodnie z przewidywaniem, zwiększane nawożenie NPK kształtowało również zawartość mikroelementów w roślinach. Do oceny zaopatrzenia roślin buraka w mikroelementy posłużono się analizą próbek części wskaźnikowych. Rysunki 6–11 ilustrują zmiany zawartości badanych mikroelementów w częściach wskaźnikowych buraka z doświadczeń oraz z pól produkcyjnych (średnie geometryczne) w zależności od poziomu plonowania. Większym plonom z doświadczeń towarzyszyły zmiany koncentracji mikroelementów w tkankach liści. Zawartości manganu i cynku, optymalne i wysokie wykazywały wzrost wraz ze zwiększaniem dawek NPK. Odwrotny trend stwierdzono natomiast w przypadku boru, miedzi, molibdenu i żelaza – zawartość tych mikroelementów w tkankach liści zmniejszała się wraz z intensyfikacją nawożenia NPK. Najbardziej niekorzystna sytuacja dotyczyła miedzi, której zawartość w obiektach 3 i 4 często spadała do niskiej. Typowy przebieg tych zmian obrazują dane w tabeli 11. Wykonane porównanie graficzne (rys. 6–11) pokazuje dość wyraźnie, że obserwowane na polach produkcyjnych zmiany koncentracji badanych mikroskładników w blaszkach liściowych buraka są „kontynuowane” przy większych plonach z doświadczeń.

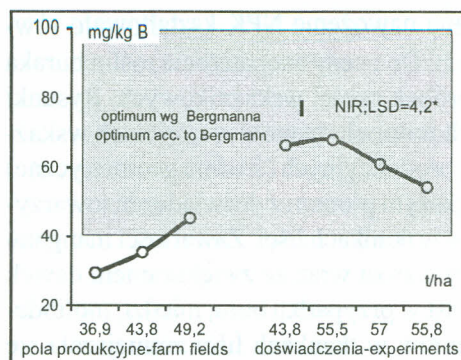
Tabela 11

Zawartość mikroelementów w częściach wskaźnikowych buraka cukrowego (przykład)
Micronutrient content of the sugar beet test parts (an example)

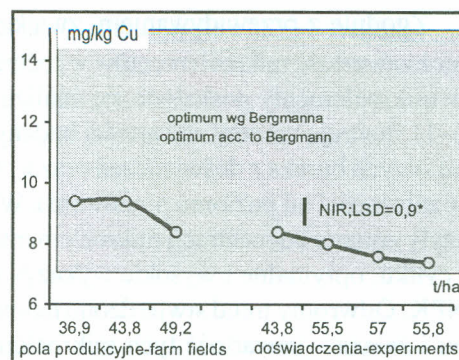
Doświadczenie Experiment	Dawka NPK Dose of NPK	mg·kg ⁻¹ suchej masy; mg·kg ⁻¹ of dry matter					
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Grabów, 1996	0	34,5	7,3	266	73,2	0,50	92,0
	½	32,5	6,9	192	60,2	0,55	94,5
	1	24,0*	6,6*	158*	136,1*	0,33*	80,5
	2	25,5*	6,0*	144*	138,8*	0,26*	93,0
Baborówko, 1997	0	45,8	7,7	476	44,1	1,00	60,0
	½	47,5	6,8*	286	56,1	1,50*	96,0
	1	44,5	6,6*	250*	69,0*	0,86	86,5
	2	40,1*	6,3*	234*	108,5*	0,50*	93,0
Optimum wg Bergmanna (7, 8); Optimum acc. to Bergmann (7, 8)							
		40–100	7–15	60–140	35–100	0,25–1,5	20–80

* różnice statystycznie istotne w odniesieniu do obiektu kontrolnego wg testu Tukeya, $\alpha = 0,05$; statistically significant differences with reference to control treatment acc. to Tukey's test, $\alpha = 0.05$

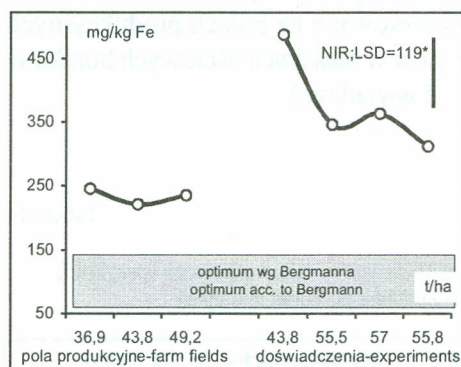
Zawartość boru w częściach wskaźnikowych roślin buraka z pól produkcyjnych w grupach plonowania I i II była niższa od dolnej granicy optimum Bergmanna (7, 8), podczas gdy rośliny z doświadczeń pomimo tendencji spadkowych były dostatecznie zaopatrzone w ten mikroskładnik, niezależnie od poziomu plonowa-



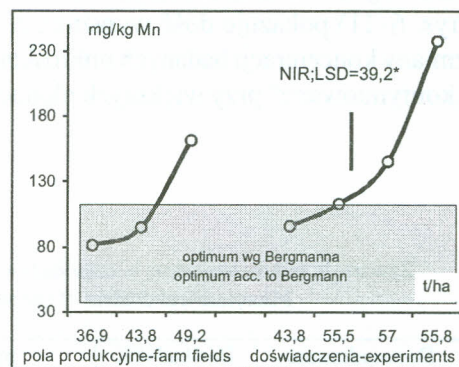
Rys. 6. Zawartość boru
Content of boron



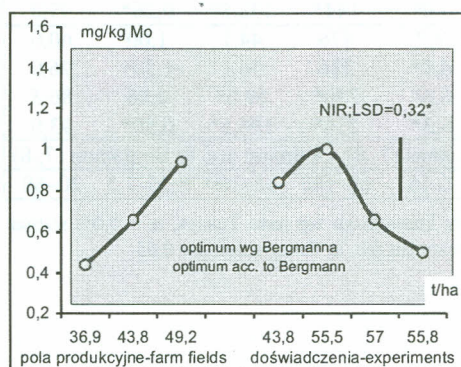
Rys. 7. Zawartość miedzi
Content of copper



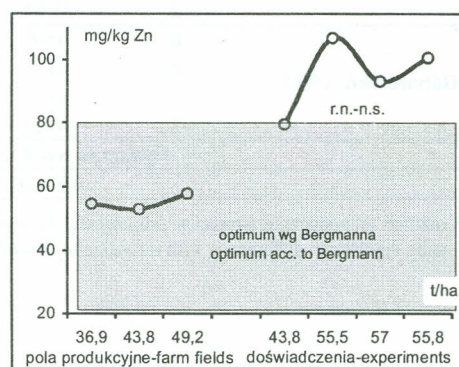
Rys. 8. Zawartość żelaza
Content of iron



Rys. 9. Zawartość manganu
Content of manganese



Rys. 10. Zawartość molibdenu
Content of molybdenum



Rys. 11. Zawartość cynku
Content of zinc

Rys. 6–11. Zawartość mikroelementów w częściach wskaźnikowych buraka cukrowego z doświadczeń oraz z pól produkcyjnych, w zależności od poziomu plonowania
Micronutrient concentration in the sugar beet sample organs from farm fields and experiments, according to yield level

nia. Wskazuje to na gorszą jakość biologiczną niskich plonów buraka, rzutującą na poziom uzyskiwanych plonów cukru. Przyczyną tego stanu była, między innymi, niedostateczna zawartość boru przyswajalnego w warstwie ornej gleb pól produkcyjnych. Z drugiej strony, spadki zawartości boru w roślinach przy dużych plonach z doświadczeń świadczą o możliwości wystąpienia jego niedoborów również w warunkach intensyfikacji uprawy buraka, na co wskazują także wyniki prac innych autorów. Gutmański (56) w doświadczeniach polowych ścisłych stwierdził wzrost zawartości boru w liściach w okresie wegetacji i w korzeniach przy zbiorze pod wpływem dawek N 60 i 120 kg·ha⁻¹, jednak zwiększenie dawki N do 180 kg·ha⁻¹ spowodowało spadek koncentracji B w roślinach. Również Czuba i in. (29), po przebadaniu 352 pól buraka cukrowego w gospodarstwach kontrolnych z terenu całego kraju odnotowali spadek koncentracji B w korzeniach wraz ze wzrostem poziomu nawożenia NPK i plonowania. Podobne wyniki przy zróżnicowanym nawożeniu N i K uzyskali Dechnik i in. (32).

Poglądy na temat wpływu podstawowego nawożenia mineralnego na kształtowanie koncentracji miedzi w roślinach nie są jednoznaczne. Na ogół uważa się, że nawożenie mineralne sprzyjające obniżaniu się wartości pH gleby decyduje o wzroście zawartości miedzi w roślinach (57, 69, 79, 85, 105), jednak część autorów wykazuje przeciwny kierunek tych zmian – spadek zawartości wraz ze wzrostem poziomu nawożenia makroskładnikami, czemu towarzyszy wzrost plonowania (29, 40, 107). Zdaniem Jurkowskiej (68) niedoboru miedzi należy spodziewać się u roślin intensywnie nawożonych azotem i fosforem, a także w warunkach nadmiaru cynku w glebie.

W badaniach własnych, średnie zawartości miedzi w częściach wskaźnikowych roślin z poszczególnych grup plonowania na polach produkcyjnych oraz w obiektach nawozowych doświadczeń z różnicowanym plonowaniem mieściły się wprawdzie w zakresie optimum Bergmanna (7, 8), jednak wraz ze wzrostem poziomu plonów wykazywały tendencje malejące, wskazujące na możliwość wystąpienia niedoborów. W przeciwieństwie do boru, którego niedostatek stwierdzano w roślinach plonujących na niskim poziomie, miedź była najbardziej deficytowym mikroelementem w plonach dużych (rys. 6, 7). W plonach końcowych (liście i korzenie) zawartość miedzi była również niższa od danych porównawczych (tab. 7, 13).

Wzrost zawartości manganu i cynku w roślinach wiązał się, jak sądzić można, z zakwaszającym działaniem zwiększanych dawek N i K, co wpływało na wzrost dostępności tych mikroelementów w glebie (32, 40, 85, 127). Zmiany te potwierdzają korelacje uzyskane pomiędzy zawartością Zn w glebie a średnim plonem korzeni $r = 0,62^{**}$ i cukru biologicznego $r = 0,68^{**}$, a także korelacja negatywna pomiędzy średnim plonem liści a wartością pH gleby $r = -0,59^{**}$. Pomimo tendencji do zwiększania się również udziału form przyswajalnych B i Cu w glebie obiektów z nawożeniem pełną pojedynczą i podwójną dawką NPK (tab. 12), zawartość tych składników w częściach wskaźnikowych buraka zmniejszyła się w związku

Tabela 12

Odczyn i zawartość składników pokarmowych w glebie po zakończeniu doświadczeń (synteza)
Reaction and content of nutrients in soil after experiments (synthetic data)

Dawka NPK NPK dose	pH _{KCl}	mg·kg ⁻¹ gleby; mg·kg ⁻¹ of soil								
		B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn	P	K	Mg
0	6,6	0,97	1,72	657	90,5	0,016	7,7	77	90	63
½	6,2	0,90	1,73	616	89,1	0,007	7,5	88	101	57
1	6,1	0,99	1,86	641	95,7	0,010	7,9	88	113	56
2	5,8	1,13	1,93	655	98,3	0,007	7,8	91	138	47

Tabela 13

Zawartość mikroelementów w plonach końcowych buraka cukrowego (synteza)
Content of micronutrients in the sugar beet final crops (synthetic data)

Dawka NPK Dose of NPK	mg·kg ⁻¹ suchej masy; mg·kg ⁻¹ of dry matter					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Liście przy zbiorze; Leaves at harvest						
0	42,2	6,1	413,3	80,4	0,77	60,8
½	40,3	6,8	439,2	86,9	0,87	57,7
1	44,8	6,9	394,4	92,6	0,86	60,1
2	39,6	6,6	391,2	118,6	0,55	65,3
Dane wg Fotymy i Mercika (43); Data acc. to Fotyma, Mercik (43)						
	36,0	10,0	bd; nda	114,0	0,66	62,9
Korzenie przy zbiorze; Roots at harvest						
0	35,1	2,6	123,9	20,0	0,14	20,0
½	32,7	2,9	126,7	23,7	0,14	25,4
1	28,8	2,9	146,6	25,1	0,13	25,9
2	28,1	2,6	150,5	30,1	0,13	33,4
Średnie z pól produkcyjnych; Average from farm fields						
	12,8	3,8	86,3	36,2	0,26	23,3
Dane wg Fincka (41); Data acc. to Finck (41)						
	25	4,0	40	30	0,20	15

bd – brak danych; nda – no data available

z nadal niedostateczną ich zawartością w glebie w warunkach intensywnego pobierania składników mineralnych przez rośliny (rys. 6, 7).

Wyniki badań dotyczące wpływu nawożenia NPK na zawartość mikroelementów w roślinach buraka są dość kontrowersyjne. Badania Chmielewskiej i in. (20) oraz Filipka i in. (40) wskazują na zwiększanie się zawartości manganu i cynku w korzeniach buraka pod wpływem nawożenia NK. Czuba i in. (29) wykazali natomiast spadek zawartości B, Cu, Mn i Zn w buraku w warunkach inten-

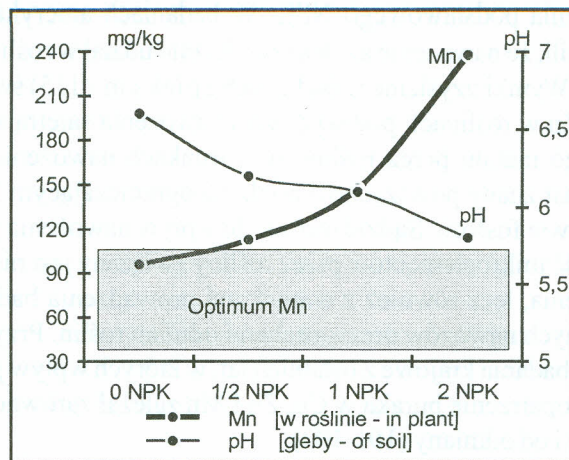
syfikacji nawożenia podstawowego NPK. W badaniach amerykańskich Bravo i in. (15) stwierdzili, że nawożenie azotem zwiększało udział w roślinach B i Zn, ale zmniejszało Mn. Wyniki uzyskane w badaniach Spiak i in. (115) świadczą o wzroście zawartości Zn w roślinach pod wpływem nawożenia saletrą amonową. Spadek pobrania tego metalu przez rośliny w warunkach nawożenia fosforem potwierdza natomiast znany powszechnie pogląd o ograniczającym fitoprzyswajalność cynku wpływie fosforu. Sądzić można, że wpływ nawożenia podstawowego na przyswajalność mikroelementów przez rośliny związany jest nie tylko z rodzajem tego nawożenia, lecz również z warunkami prowadzenia badań, formą chemiczną stosowanych nawozów oraz z cechami odmian roślin. Przypuszczenie takie potwierdzają badania krajowe z ostatnich lat, w których wpływ poziomu nawożenia NPK na zaopatrzenie buraka w Cu, Zn i Mn zależał zarówno od warunków pogodowych, jak i od odmiany (101-103).

Odmiernym prawidłowościom podlegał natomiast w glebie molibden (spadek dostępności w warunkach wzrostu nawożenia NPK), co wpływało również na zawartość tego składnika w roślinach i było prawdopodobnie jedną z przyczyn słabszego plonowania oraz spadku cukrowości korzeni buraka (rys. 4, 10). Dobrze obrazują to przykłady na rysunkach 12 i 13 przedstawiające przebieg zmian zawartości manganu i molibdenu w częściach wskaźnikowych buraka na tle zmian odczynu gleby z poszczególnych obiektów nawozowych (wyniki syntezy).

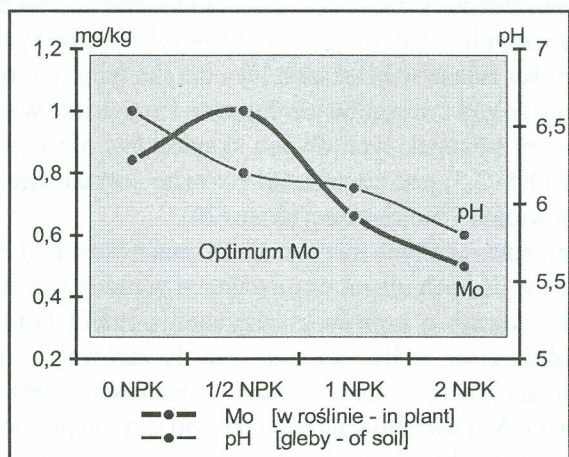
Spadek zawartości żelaza w blaszkach liści buraka wiązać można z antagonizmem w pobieraniu żelaza i manganu nasilającym się w miarę wzrostu kwasowości gleby. Wzajemny stosunek tych dwóch składników, nie wykraczający poza określone granice (1,5–2,5) jest warunkiem zarówno normalnego rozwoju roślin, jak i odpowiedniej wartości biologicznej plonu (20).

Jak wynika z przedstawionych na rysunku 14 zmian stosunku Fe:Mn, zarówno w korzeniach, jak i w liściach ulegał on zawężeniu w miarę wzrostu poziomu nawożenia NPK, świadcząc o poprawie odżywienia roślin buraka manganem. O zmianie stosunku Fe:Mn w liściach decydowały zarówno zmiany zawartości żelaza, jak i manganu. W korzeniach spadki zawartości żelaza były mniejsze, a zmianę stosunku Fe:Mn kształtowała w większym stopniu poprawa zaopatrzenia w mangan, a więc jego pobrania.

Dobrym wskaźnikiem zaopatrzenia roślin w bor i potrzeb nawożenia tym składnikiem jest stosunek ilościowy Ca : B oznaczony w młodych częściach roślin (32). Wyliczone wartości tego stosunku w częściach wskaźnikowych buraka z poszczególnych obiektów wskazują, że ulega on wyraźnemu rozszerzaniu w miarę zwiększania nawożenia NPK. Świadczy to o pogarszaniu się zaopatrzenia roślin w bor (rys. 15). Wyniki te są zgodne z uzyskanymi we wcześniejszych badaniach autora, wskazującymi że intensyfikacja nawożenia mineralnego na glebach zasobnych powodować może uruchamianie form zapasowych boru (132). Ilości te nie są jednak w stanie pokryć dużych wymagań pokarmowych intensywnych upraw buraka cukrowego.

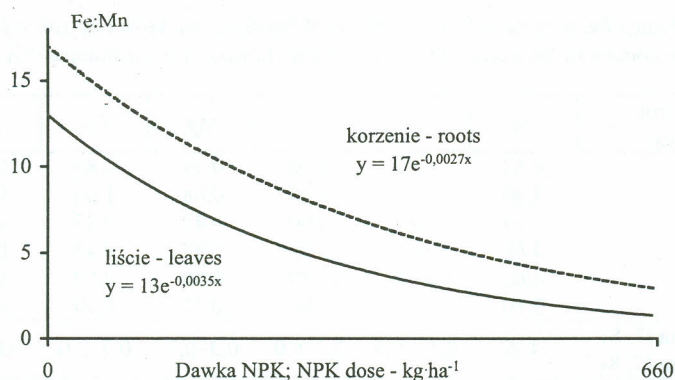


Rys. 12. Zawartość Mn w liściach w zależności od pH gleby
Mn content in leaves against soil pH



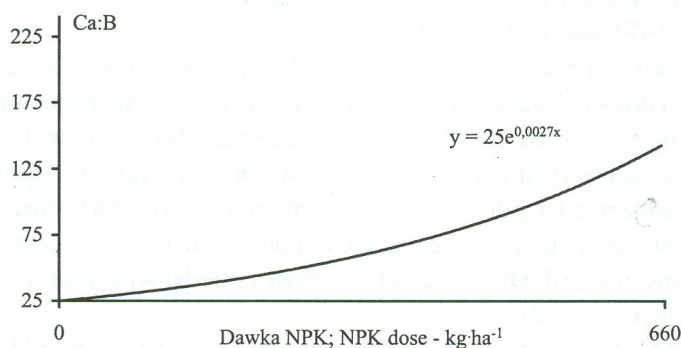
Rys. 13. Zawartość Mo w liściach w zależności od pH gleby
Mo content in leaves against soil pH

W zestawieniu średnich geometrycznych zawartości mikroelementów w plonach końcowych buraka (tab. 13) zauważyć można tendencje zwiększania się zawartości B, Cu i Mo w liściach z obiektów o największych plonach korzeni, co świadczy o plonotwórczym oddziaływaniu tych mikroelementów. Dotyczy to również miedzi w korzeniach buraka. Obserwacje te potwierdzają uzyskane w tej części pracy równania regresji wielokrotnej.



Rys. 14. Wpływ poziomu nawożenia NPK na wartość stosunku Fe:Mn w korzeniach i liściach buraka

Impact of NPK fertilization level on the value of Fe:Mn ratio in sugar beet roots and leaves



Rys. 15. Zależność między poziomem nawożenia NPK a stosunkiem Ca:B w liściach buraka

Relationship between NPK fertilization level and Ca:B ratio of the sugar beet leaves

Konfrontując wyniki analiz korzeni i liści z danymi z literatury (41, 43) oraz z wynikami badań własnych przeprowadzonych na polach produkcyjnych, stwierdzić można gorsze zaopatrzenie korzeni buraka z doświadczeń w miedź, molibden i mangan, oraz lepsze w bor i żelazo.

Poziom zaopatrzenia roślin buraka z doświadczeń w makroskładniki charakteryzując dane zestawione w tabeli 14, dotyczące obiektów kontrolnych. Rośliny bu-

Tabela 14

Zawartość makroelementów w częściach wskaźnikowych buraka z obiektów kontrolnych (%)
Macronutrient content of the sugar beet sample organs from control treatments (%)

Doświadczenie/rok Experiment/year	N	P	K	Mg	Ca	Na
Grabów, 1995	4,54	0,47	4,80	0,39	0,83	0,73
Osiny, 1995	3,80	0,53	6,20	0,68	1,00	0,88
Grabów, 1996	4,34	0,46	4,00	0,42	0,77	0,69
Baborówko, 1996	4,08	0,48	2,98	0,27	0,43	0,66
Grabów, 1997	4,03	0,41	5,89	0,30	0,80	0,79
Baborówko, 1997	3,80	0,51	5,02	0,32	0,29	0,77
Optimum Bergmanna (7, 8) Bergmann's optimum (7, 8)	4–6	0,35–0,6	3,5–6,0	0,3–0,7	0,7–2,0	bd; nda
Dane wg IUNG (72) Data acc. to IUNG (72)	3,30	0,32	4,96	0,66	1,55	0,74

Objaśnienia jak do tab. 13; For explanations see Table 13

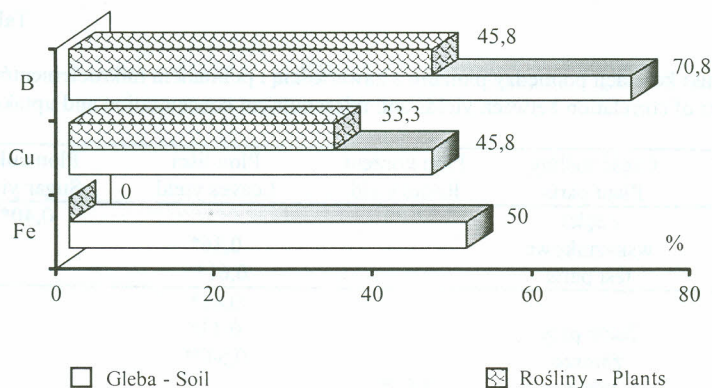
raka pomimo dostatecznego na ogół zaopatrzenia w makroelementy zawierały mniej niż w latach 1966–1971 wapnia i magnezu.

W celu wyodrębnienia zakresów niedoborowych zawartości mikroelementów w glebie i roślinach doświadczalnych dokonano wyceny ich zaopatrzenia wg stosowanych kryteriów (7, 8, 136), po czym stwierdzone niedobory w ujęciu syntetycznym przedstawiono na rysunku 16. Jak widać, w korzystniejszych z agrochemicznego punktu widzenia (w porównaniu z polami produkcyjnymi) warunkach doświadczalnych, stwierdzono głównie niedostatki boru i miedzi, przy czym częstotliwość występowania deficytu boru była mniejsza a miedzi większa niż w warunkach produkcyjnych (rys. 2).

Sytuację tę w znacznym stopniu wyjaśnić można antagonistycznym oddziaływaniem Mn i Zn na pobieranie miedzi przez rośliny, podczas gdy wzrost kwasowości gleby wpływał na poprawę dostępności boru. Podobnie jak w badaniach na polach produkcyjnych zwraca uwagę znaczna dysproporcja pomiędzy częstotliwością występowania deficytu boru w glebie i w blaszkach liściowych buraka.

Zgodnie ze stwierdzonymi kierunkami zmian w zawartości boru i miedzi w roślinach (rys. 6, 7) i w glebie (tab. 12) najczęściej przypadków niedoboru B i Cu w roślinach stwierdzono w obiektach doświadczeń 1 NPK i 2 NPK, podczas gdy w glebie przeważały one w obiektach bez NPK i z ½ NPK.

Znaczny zakres niedoborów żelaza w glebie nie został potwierdzony zawartością tego składnika w roślinach. Wynika to prawdopodobnie z niedoskonałości sto-



Rys. 16. Procentowy udział próbek gleb i roślin o niedoborowej zawartości mikroelementów
Percentage of the micronutrient-deficient soil and plant samples

sowanych testów oraz specyfiki przemian chemicznych Fe w glebie uwarunkowanych potencjałem oksydoredukcyjnym. Jednak, z uwagi na wykazywaną przez rośliny bardzo zróżnicowaną zdolność pobierania tego składnika, zagadnienie to wymaga dalszych badań (48).

W przeprowadzonej analizie korelacji badano zależności pomiędzy poziomem plonowania korzeni, liści i cukru a zawartością mikroelementów w roślinach i glebie oraz ich pobraniem z plonami (plon główny + uboczny), a także pomiędzy zawartością mikroelementów w roślinach a ich koncentracją w glebie. Oprócz zawartości mikroelementów uwzględniano inne właściwości gleby.

Jak wynika z zestawienia w tabeli 15 najczęściej istotnych zależności korelacyjnych zidentyfikowano w odniesieniu do plonów liści buraka, przy czym najmocniejsze związki dotyczyły pobrania boru, miedzi, cynku i manganu. Plon korzeni natomiast skorelowany był głównie z zawartością i pobraniem molibdenu i miedzi, co pośrednio wskazuje na znaczenie tych składników w kształtowaniu plonu cukru. Liczne korelacje negatywne z pH gleby w tabeli 16 wskazują na wzrost dostępności mikroelementów (z wyjątkiem Mo) dla roślin w miarę wzrostu zakwaszającego działania zwiększanych dawek N i K. Stwierdzono korelacje pomiędzy zawartością boru, miedzi i żelaza w glebie a ich koncentracją w roślinach i pobraniem z plonami buraka.

W rachunku regresji wielokrotnej krokowej posłużono się wynikami analizy roślinnej, w większym stopniu niż analiza gleby odzwierciedlającej zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe (41, 90).

Tabela 15

Współczynniki korelacji pomiędzy plonami a zawartością i pobraniem mikroelementów
Coefficients of correlation between yields and micronutrient concentration and uptake

Mikroelement Micronutrient	Część rośliny Plant parts	Plon korzeni Roots yield	Plon liści Leaves yield	Plon cukru Sugar yield
Cu	części			0,40*
Fe	wskaźnikowe		0,36*	
Mn	test parts		0,61**	
B			0,47*	
Fe	liście przy		0,43*	
Mn	zbiorze		0,54**	
Mo	leaves	0,59**		
Cu	at harvest	0,60**	0,56*	0,59**
Zn			0,55**	
Cu		0,35*	0,35*	
Mo	korzenie	0,64**		
Mn	roots		0,62**	
Zn			0,60**	
Pobranie	B	0,36*	0,73***	
Uptake of	Cu	0,65***	0,78***	
	Fe		0,55**	
	Mn		0,68***	
	Mo	0,79***		
	Zn		0,73***	

*, **, *** istotne statystycznie odpowiednio przy $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ i $\alpha = 0,001$; statistically significant at $\alpha = 0,05$, $\alpha = 0,01$ and $\alpha = 0,001$ respectively

W odniesieniu do poziomu plonowania korzeni (zmienna zależna „y”) uzyskano następujące równania:

$$y = 32,826 + 8,65 K - 2,26 Cu \quad R^2 = 0,475 \quad [1]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

K, Cu – zawartość tych składników w suchej masie części wskaźnikowych buraka – K (%), Cu ($mg \cdot kg^{-1}$).

$$y = 31,681 + 2,297 Cu + 7,475 Mo \quad R^2 = 0,456 \quad [2]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

Cu, Mo – zawartość tych składników $mg \cdot kg^{-1}$ suchej masy liści buraka pobranych przy zbiorze.

$$y = 63,724 - 183,52 Ca + 53,10 Mo \quad R^2 = 0,429 \quad [3]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

Ca, Mo – zawartość tych składników w suchej masie korzeni buraka – Ca (%), Mo ($mg \cdot kg^{-1}$).

Uzyskane modele równań opisują znaczną część badanej zmienności plonowania (43–48%) i wskazują, że rośliny najlepiej plonujące były dobrze zaopatrzone w potas w okresie wegetacji (równanie 1). Występujący w tym czasie „efekt roz-

Tabela 16

Współczynniki korelacji pomiędzy zawartością mikroelementów w roślinach buraka i w glebie
Coefficients of correlation between micronutrient content in sugar beet plants and in soil

Zawartość w roślinie Content in plants	Części rośliny Plant parts	Zawartość w glebie; Content in soil				
		B	Cu	Fe	Mn	pH
B	1	0,74**				-0,45*
	2	0,78***				-0,76***
Cu	1		0,49*			
	2		0,59**			
	3		0,67**			
Fe	1			0,64*		-0,63**
	2			0,85***		
	3			0,80***		-0,69**
Mn	1				0,44*	-0,83***
	2					-0,95***
	3				0,57**	-0,84***
Mo	1					0,65**
Zn	1					-0,57*
	2					-0,78***
	3					-0,68**
Pobranie Uptake of	B	0,49*				-0,88***
	Cu		0,67**			-0,55**
	Fe			0,76***		-0,76***
	Mn					-0,90***
	Zn					-0,83***

*, **, *** objaśnienia jak do tab. 15; explanation as for tab. 15

1 – części wskaźnikowe; sample organs, 2 – liście przy zbiorze; leaves at harvest, 3 – korzenie; roots

cieńczenia” miedzi w tkankach liści wskutek niedostatecznej jej dostępności w warunkach intensywnego przyrostu biomasy został wyrażony w równaniu współczynnikiem ze znakiem „-”. Sytuację tę obrazuje rysunek 7. Odpowiednie zaopatrzenie w Cu, jak również w Mo było jednym z warunków dobrego plonowania, czego wyrazem są równania nr 2 i 3. Pewien niedostatek wapnia w korzeniach (współczynnik ze znakiem ujemnym w równaniu 3) związany jest ze spadkiem przyswajalności Ca w warunkach zwiększającego się zakwaszenia gleby.

Gdy obliczenia wykonano w odniesieniu do uzyskanych w doświadczeniach plonów cukru biologicznego jako zmiennej zależnej „y” otrzymano równanie o następującej postaci:

$$y = 9,899 + 1,353 \text{ Mo} + 0,789 \text{ Cu} + 0,016 \text{ Mn} - 1,462 \text{ K} - 0,039 \text{ Zn};$$

$$R^2 = 0,575 \quad [4]$$

gdzie: y – plon cukru biologicznego ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$),

Mo, Cu, Mn, Zn, K – zawartość składnika w suchej masie korzeni buraka (Mo, Cu, Mn, Zn – $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, K – %).

Po wykonaniu rachunku regresji dla uzyskanych w poszczególnych obiektach doświadczeń zwyczaj plonów cukru jako zmiennej zależnej „y”, równanie przybrało następującą postać:

$$y = - 58,333 + 3,808 \text{ Cu} + 1,648 \text{ B} - 0,035 \text{ Fe}; \quad R^2 = 0,424 \quad [5]$$

gdzie: y – zwyczaj plonów cukru biologicznego (w liczbach względnych, plon w obiekcie 0 = 100),

Cu, B, Fe – zawartość składnika w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy korzeni buraka.

W interpretacji równań podkreślenia wymaga pozytywny wpływ na plony korzeni i plony cukru biologicznego nie tylko boru, miedzi i manganu, co udokumentowano w licznych badaniach (1, 5, 14, 51, 75, 117), lecz również rzadziej uwzględnianego molibdenu (3, 16, 99).

Negatywne oddziaływanie potasu (równanie nr 4) jest z pewnością odzwierciedleniem spadku plonów korzeni pod wpływem wyższych dawek NPK. W tych warunkach mogło zachodzić „luksusowe” pobieranie potasu. Niektórzy autorzy wskazują również na zjawisko ograniczania dostępności boru w warunkach wysokiej zawartości potasu w glebie, co niekorzystnie oddziałuje na poziom plonowania i zdrowotność buraka (32, 65).

Przedstawione wyniki badań potwierdzają wnioski sformułowane na podstawie analizy wyników z pól produkcyjnych, uznające bor, miedź i molibden za najważniejsze mikroskładniki w zakresie potrzeb pokarmowych buraka cukrowego. W przeprowadzonych badaniach wykazano, że uzyskiwanie dużych plonów poprzez intensyfikację nawożenia podstawowego NPK na glebach o niskiej i średniej zasobności w mikroelementy związane było ze stopniowym zubożeniem roślin buraka przede wszystkim w miedź, molibden i bor. Działanie pośrednie zwiększającego nawożenia azotem i potasem (poprzez zakwaszanie gleby) polegało wprawdzie na uruchamianiu trudno dostępnych form boru i miedzi, lecz w ilościach nie pokrywających potrzeb wysokoplonujących roślin buraka. Dostępność dla roślin molibdenu glebowego, podlegającego odmiennym prawidłowościom, była ograniczana wzrastającym zakwaszeniem. Toteż wraz ze zwiększaniem dawki NPK można było obserwować spadki zawartości B, Cu i Mo w roślinach do dolnej granicy zakresu optymalnego według Bergmanna (7), a nawet poniżej w przypadku Cu (tab. 11). Opisane zależności potwierdzone analizą statystyczną stanowią główną przyczynę obniżenia plonowania korzeni buraka w obiekcie (2 NPK); (rys. 4). Wyższa zasobność gleb w mangan i cynk w warunkach wzrastającej kwasowości roztworu glebowego zapewniała odpowiednie zaopatrzenie roślin w te składniki. Pomimo tendencji niżkowych, jakie wykazywała koncentracja Fe w plonach z kolejnych obiektów doświadczeń, zawartość tego składnika w roślinach pozostawała nadal wysoka.

Przy ocenie zaopatrzenia roślin buraka w mikroelementy, pamiętać należy o wpływie nawożenia organicznego, które łagodziło w pewnym stopniu niedobory w glebach składników nie stosowanych rutynowo w postaci nawozów mineralnych, a więc mikroelementów oraz magnezu, wapnia, sodu i siarki.

Wnioski wynikające z badań rozpoznawczych na polach produkcyjnych oraz w doświadczeniach ścisłych z różnicowanym poprzez nawożenie NPK plonowaniem buraka, wskazują na zależność pomiędzy zaopatrzeniem roślin w najważniejsze mikroelementy a poziomem uzyskiwanych plonów korzeni, liści i cukru biologicznego. Jakkolwiek wzrost plonowania na ogół nie pociąga za sobą niebezpieczeństwa powstawania głębszych niedoborów Fe, Mn i Zn, to możliwość taka istnieje w odniesieniu do B, Cu i Mo. Stwierdzany często deficyt boru oznaczonego w $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ w glebie, tylko częściowo potwierdzony analizą roślinną, wynika z pewnością z niedoskonałości kryteriów jego oceny. Potrzebę ich weryfikacji potwierdzają również pośrednio przytoczone wcześniej wyniki badań niemiecko-duńskich (62), w których rzadko stwierdzano niedostateczne zaopatrzenie buraka cukrowego w bor, chociaż można było tego oczekiwać jako „ubocznego” efektu uregulowanego odczynu gleb, podobnie jak wykrywanych tam często deficytów manganu w glebie i w roślinach. Z drugiej strony jednak wyniki niektórych badań wskazują, że systematyczne wapnowanie nie tylko nie pogarsza, lecz prowadzić może do poprawy zaopatrzenia gleby w bor dostępny (2).

Ujęte w równaniach regresji makroelementy to składniki pokarmowe o podstawowym znaczeniu w formowaniu plonów. Niezbędna jest zatem ocena stanu zaopatrzenia badanych upraw w te składniki, co stanowi istotne tło rozważań nad mikroelementami. Wskaźniki bonitacji negatywnej gleb badanych plantacji produkcyjnych buraka cukrowego wynosiły dla: fosforu – 30,2, potasu – 44,0, magnezu – 45,3. Analiza części wskaźnikowych wykazała natomiast 24,3% próbek o niskiej zawartości P, 27,0% o niskiej zawartości K i 12,2% o niedostatecznym zaopatrzeniu w magnez. Sądzić więc można, że stosowanie obornika oraz wapna magnezowego w największym stopniu pokrywało zapotrzebowanie buraka na magnez. Najważniejszy pod względem plonotwórczym makroskładnik – azot, nie został w równaniach ujęty w zależność funkcyjną z poziomem plonowania, z uwagi na nieistotne zmiany jego koncentracji w badanych grupach plonowania (133).

Uwzględniając lata prowadzenia badań przyczyn niedożywienia buraka makroskładnikami na polach produkcyjnych upatrywać można w spadkowej tendencji zużycia nawozów mineralnych NPK w tym okresie (106).

Określony przez IHAR poziom nawożenia podstawowego $\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O} - 360 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (odpowiednio 120:80:160), jako najbardziej efektywny w warunkach polskich (58), wydaje się niedostateczny, zwłaszcza w odniesieniu do fosforu i potasu. Potwierdzeniem mogą być zalecenia niemieckie (46): dla plonów korzeni buraka cukrowego $40\text{--}60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ przewiduje się dawki w zakresie $80\text{--}190 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P_2O_5 , $300\text{--}450 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K_2O oraz $60\text{--}150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ MgO , w zależności od zasobności gleby i przewidywanego poziomu plonowania. Dawki azotu, stosowanego jednorazowo na początku wegetacji roślin ustalane są na podstawie zawartości N mineralnego w glebie.

4.2. OKREŚLENIE WYMAGAŃ POKARMOWYCH I POTRZEB NAWOŻENIA MIKROELEMENTAMI BURAKA CUKROWEGO

4.2.1. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie mikroelementami w doświadczeniach wegetacyjnych

Charakterystykę agrochemiczną zastosowanych w doświadczeniach gleb podano w tabeli 17. Cieniowaniem zaznaczono niedoborowe zawartości mikroelementów (indeks <100). Nawożenie tymi mikroelementami stosowano w obiekcie [D].

Tabela 17

Niektóre właściwości gleb użytych do doświadczeń wegetacyjnych
Some properties of soils used in plant growth experiments

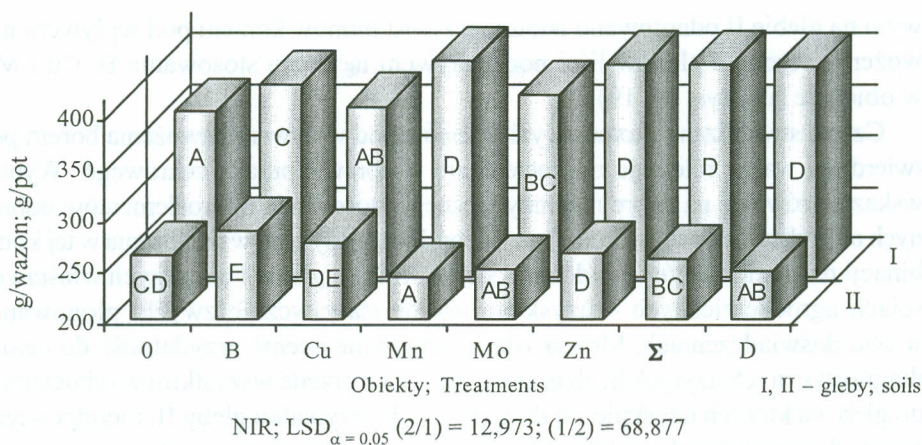
Gleba Soil	pH _{KCl}	F _S	S _O	Zasobność w składniki przyswajalne Supply available nutrients							
				P	K	Mg	B	Cu	Mo	Zn	Mn
				indeksy; indexes							
I	7,2	37	2,6	161	113	135	40	66	250	156	64
II	5,7	21	1,5	92	59	96	46	42	60	120	137

Objaśnienia jak do tab. 9; Explanation as for tab. 9

Zarówno w doświadczeniu wazonowym, jak i mikropoletkowym stwierdzono współdziałanie nawożenia mikroelementami (czynnik 2) i użytych do doświadczeń gleb (czynnik 1). Wyrażało się ono statystycznie istotnymi zwyżkami plonowania buraka pod wpływem nawożenia mikroelementami na glebie I o odczynie obojętnym, większej zwężłości i zasobności w makroelementy niż gleba II. Plony uzyskiwane na glebie I były we wszystkich przypadkach istotnie większe niż uzyskane w tych samych obiektach z glebą II (rys. 17, 18).

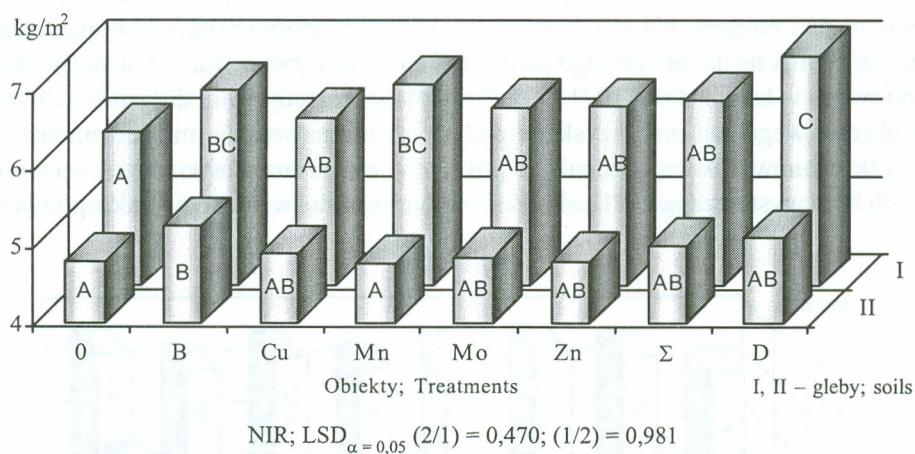
W doświadczeniu wazonowym istotne przyrosty plonów części nadziemnych buraka na glebie I dotyczyły obiektów z nawożeniem B, Mn, Mo i Zn osobno, obiektu [Σ] z nawożeniem B, Cu, Mn, Mo i Zn łącznie, oraz obiektu [D] z nawożeniem B, Cu, Mn. Na glebie II w tym doświadczeniu, przy ogólnie niższym poziomie plonowania, istotny przyrost plonu części nadziemnych buraka uzyskano tylko pod wpływem nawożenia borem, a w obiektach [Mo], [Mn] i [D] stwierdzano nawet spadki plonów.

W doświadczeniu mikropoletkowym istotne zwyżki plonów korzeni na glebie I dotyczyły obiektów z borem, manganem oraz obiektu [D] (rys. 18). Natomiast plony liści zwiększyły się istotnie w obiektach [Cu] i [D] (rys. 19).



Plony oznaczone tymi samymi literami w obrębie danej gleby są statystycznie równorzędne wg testu Tukeya $\alpha = 0,05$
 Yields marked with the same letter within a soil are statistically equal acc. to Tukey's test, $\alpha = 0,05$

Rys. 17. Plony części nadziemnych buraka cukrowego w doświadczeniu wazonowym
 Yields of sugar beet tops in pot experiment



Objaśnienia jak na rysunku 17; Explanation as in figure 17

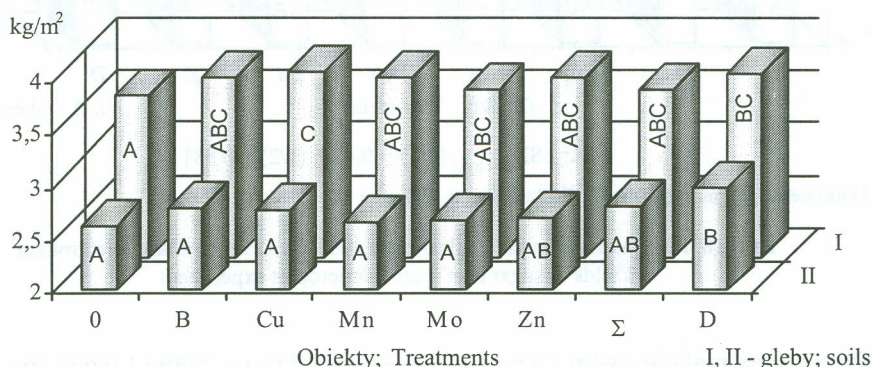
Rys. 18. Plony korzeni buraka cukrowego w doświadczeniu mikroplotkowym
 Yields of sugar beet roots in microplot experiment

Pozytywną reakcję roślin na nawożenie manganem na glebie I uzyskaną w obu doświadczeniach (wazonowym i mikroplotkowym) wiązać można z obojętnym odczynem gleb oraz wyższą zawartością substancji organicznej. Są to czynniki ograniczające dostępność Mn dla roślin, a efektem nawożenia tym pierwiastkiem są często zwwyżki plonowania (26, 37, 43, 127). W doświadczeniu mikroplotko-

wym na glebie II odnotowano istotny przyrost plonów korzeni pod wpływem nawożenia borem, a plonów liści pod wpływem łącznego stosowania B, Cu i Mo w obiekcie [D] (rys. 18, 19).

Często stwierdzone istotne zwwyżki plonów pod wpływem nawożenia borem potwierdzają ważną rolę tego mikroelementu w uprawie buraka cukrowego. Wyniki wskazują również na dobre rezultaty łącznego stosowania mikroelementów dobranych na podstawie analizy chemicznej gleby. Korzystny wpływ nawożenia w tej kombinacji mikroelementów uwidocznił się głównie na glebie I o lepszych właściwościach agrochemicznych – uzyskano istotne statystycznie zwwyżki plonowania w obu doświadczeniach. Można więc pozytywnie ocenić przydatność do celów diagnostycznych użytych liczb granicznych, lecz przede wszystkim w odniesieniu do gleb, na których uzyskuje się duże plony. W przypadku gleby II, nieodpowiedniej pod uprawę buraka cukrowego, stosowne kryteria gorzej spełniały swoje zadanie.

Gorsza z agrochemicznego punktu widzenia jakość gleby II znalazła odzwierciedlenie również w zawartości makroelementów (N, P, K, Ca i Mg) w roślinach buraka. Zawartość tych składników oznaczono w częściach wskaźnikowych buraka, aby ocenić ogólny stan odżywienia roślin, stanowiący tło, na którym badano zmiany zawartości mikroelementów (tab. 18). W świetle kryterium Bergmanna (7, 8), rośliny z doświadczeń wazonowych na obu glebach były optymalnie zaopatrzone w wapń i magnez, natomiast zawartości azotu, fosforu i potasu były niedostateczne i zbliżone do najniższego poziomu zawartości stwierdzanych w badaniach krajowych w latach 1966–1971 (72). Prawidłowy rozwój roślin doświadczalnych w okresie wegetacji oraz uzyskane pod wpływem nawożenia mikroelementami zwwyżki plonów wskazują jednak, że ilości te w warunkach doświadczeń wazonowych były wystarczające. Blaszki liściowe buraka z doświadczenia mikropoletko-



NIR; $LSD_{\alpha=0,05} (2/1) = 0,201; (1/2) = 0,675$

Objaśnienia jak na rysunku 17; Explanation as in figure 17

Rys. 19. Plony liści buraka cukrowego w doświadczeniu mikropoletkowym
Yields of sugar beet leaves in microplot experiment

Tabela 18

Zawartość makroelementów w roślinach buraka z obiektów kontrolnych (%)
Macronutrient concentration of the sugar beet plants from control treatments (%)

Doświadczenia Experiments	Gleby Soils	N	P	K	Ca	Mg
Wazonowe; Pot	I	2,63	0,25	2,97	1,92	0,95
	II	1,58	0,17	2,27	1,46	0,77
Mikroplotkowe Microplot ^{1/}	I	4,56	0,57	6,06	1,14	1,00
	II	3,85	0,37	5,20	1,26	0,60
Optimum wg Bergmanna (7, 8)		4–6	0,35–0,60	3,5–6,0	0,7–2,0	0,3–0,7
Optimum acc. to Bergmann (7, 8)						
Dane krajowe wg IUNG (72)		3,30	0,32	4,96	1,55	0,66
Domestic data acc. to IUNG (72)		1,86–5,19	0,22–0,41	2,4–6,4	1,0–1,47	0,52–0,79

^{1/} części wskaźnikowe; test parts

wego na obu glebach zawierały większe ilości podstawowych makroelementów niż z doświadczenia wazonowego. Widoczne były tu jednak różnice na korzyść gleby I. Najmniej korzystna sytuacja dotyczyła azotu i fosforu w roślinach uprawianych na glebie II, jednak nawet tam zawartości N i P były zbliżone do średnich krajowych z lat 1966–1971.

Zawartość mikroelementów w roślinach buraka zarówno z doświadczenia wazonowego, jak i mikroplotkowego wykazywała dość wyraźną zależność od rodzaju gleby. Wyższą koncentracją tych składników, z wyjątkiem molibdenu, charakteryzowały się rośliny uprawiane na glebie II. Zawartość Mo była natomiast wyższa w roślinach z doświadczeń prowadzonych na obojętnej i bardziej żyznej glebie I (rys. 20–24).

Nawożenie molibdenem na obu glebach spowodowało duży wzrost jego zawartości w roślinach. W doświadczeniu wazonowym przeciętnie wynosił on od 306% na glebie I do 1128% na glebie II w stosunku do obiektu kontrolnego (rys. 23, tab. 19). Znaczny wzrost koncentracji molibdenu w roślinach pod wpływem nawożenia tym składnikiem jest dość często notowany w warunkach doświadczalnych (16, 38, 78).

Niższe zawartości B, Cu, Zn i Mn w roślinach uprawianych na glebie I w stosunku do gleby II, jak również mniejsze zmiany ich zawartości pod wpływem nawożenia tymi mikroelementami wiązać należy z wyższym pH oraz z wyższą zasobnością tej gleby w składniki pokarmowe. W miarę wzrostu pH zmniejsza się dostępność B i Cu dla roślin wskutek powstawania związków trudniej rozpuszczalnych (43, 85). W warunkach dobrego zaopatrzenia roślin w azot i fosfor pogłębiają się również niedobory miedzi oraz nasila się antagonizm $Zn \leftrightarrow P$ (43, 70, 99, 115, 127).

Zależności te były prawdopodobnie przyczyną ograniczeń w pobieraniu niektórych mikroelementów przez rośliny buraka. Zawartości miedzi i cynku w roślinach z doświadczenia wazonowego I były niższe od dolnej granicy zakresu zawartości

Tabela 19

Przeciętne przyrosty zawartości mikroelementów w roślinach buraka i glebie
w wyniku nawożenia tymi pierwiastkami
Average increments of micronutrient concentration in beet plants and in soil as a result
of micronutrient application

Doświadczenia Experiments		B	Cu	Mo	Zn	Mn
		%				
Części wskaźnikowe roślin; Test parts of plants						
Wazonowe; Pot	I	12	38	306	6	10
	II	69	63	1128	41	24
Mikropoletkowe	I	10	10	153	43	14
Microplot	II	26	17	284	53	18
Średnio; Average		29	32	468	36	16
Gleba; Soil						
Wazonowe; Pot	I	34	224	210	10	stosowanie dolistne foliar application
	II	125	342	227	60	
Mikropoletkowe	I	42	90	80	18	
Microplot	II	48	133	74	35	
Średnio; Average		62	197	148	31	

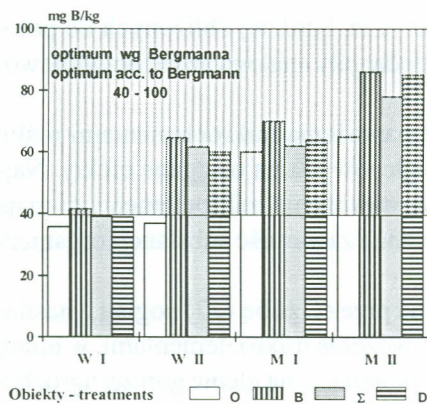
Zawartość w obiekcie kontrolnym = 100%; Control treatment concentration = 100%

I, II – gleba; soil

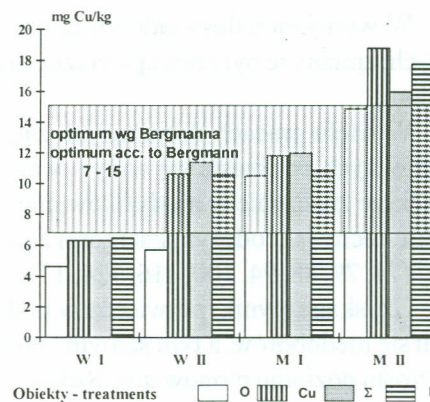
optymalnych, a zawartość boru zaledwie nieznacznie ją przekraczała. Zastosowane dawki boru, miedzi i cynku okazały się zatem zbyt niskie w warunkach gleby o odczynie obojętnym. W doświadczeniu mikroplotowym na tej glebie (I) kierunki zmian zawartości mikroelementów były takie same, jak w doświadczeniu wazonowym, lecz skala zmian była mniejsza, w związku z czym zawartość mikroelementów w roślinach (z wyjątkiem molibdenu) mieściła się w zakresie optymalnym (rys. 20–24).

Rośliny buraka wykazujące w początkowych stadiach rozwojowych szczególnie duże potrzeby pokarmowe rozwijały się intensywnie w korzystnych warunkach gleby I, czego wynikiem były dość wysokie plony. W stosunku do deficytowych mikroelementów (Cu, Zn, B) można więc mówić o powstającym efekcie rozcieńczenia.

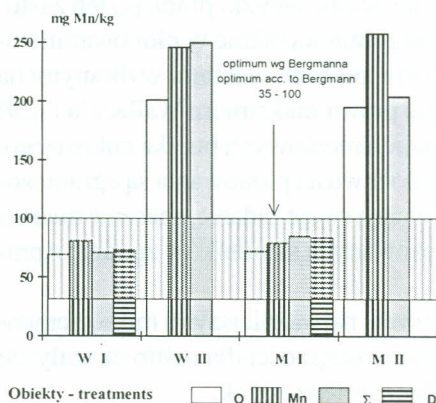
Wskutek lepszej dostępności molibdenu dla roślin na glebie o odczynie obojętnym, zasobnej w fosfor, jego zawartość w roślinach buraka w przeciwieństwie do pozostałych mikroelementów była wyższa w doświadczeniach na glebie I i dość wyraźnie obniżała się na glebie II. We wszystkich przypadkach jednak zawartość Mo w roślinach z obiektów z nawożeniem tym składnikiem przekraczała górną granicę zakresu koncentracji optymalnej. W warunkach gorszej z agrochemicznego punktu widzenia gleby II, o niższym pH, uzyskano mniejsze plony, ale o optymalnej i wysokiej zawartości mikroelementów, co wiązać należy z lepszą (z wyjątkiem Mo) ich dostępnością dla roślin (rys. 20–24). Podobne wyniki w badaniach z nawożeniem mikroelementami na glebach kwaśnych uzyskał Sikora (111).



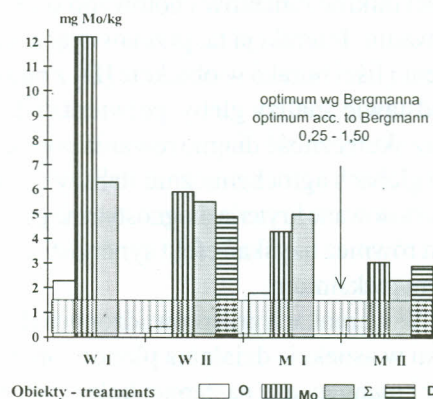
Rys. 20. Zawartość boru w liściach buraka
Boron content in beet top tissues



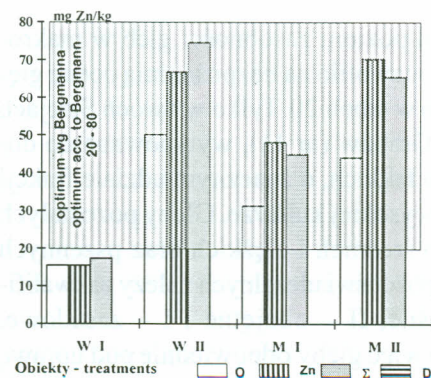
Rys. 21. Zawartość miedzi w liściach buraka
Copper content in beet top tissues



Rys. 22. Zawartość manganu w liściach buraka
Manganese content in beet top tissues



Rys. 23. Zawartość molibdenu w liściach buraka
Molybdenum content in beet top tissues



Rys. 24. Zawartość cynku w liściach buraka
Zinc content in beet top tissues

Objaśnienia; Explanation

W I – doświadczenie wazonowe, gleba I
pot experiment, soil I

W II – doświadczenie wazonowe, gleba II
pot experiment, soil II

M I – doświadczenie mikropoletkowe, gleba I
microplot experiment, soil I

M II – doświadczenie mikropoletkowe, gleba II
microplot experiment, soil II

W warunkach doświadczeń mikropoletkowych, bardziej zbliżonych do polowych, zmiany te były mniej wyraźne, jednak podlegały analogicznym prawidłowościom.

W wielu pracach dotyczących zagadnień nawożenia mikroelementami roślin uprawnych podkreśla się wpływ warunków glebowych na osiągane efekty. Największe znaczenie w modyfikowaniu wpływu nawożenia mikroelementami mają takie cechy jak: odczyn, kategoria agronomiczna i zawartość substancji organicznej (74, 79, 88, 94, 100, 116, 124, 125, 135).

Uzyskane wyniki potwierdziły podkreślany przez Czubę (27) pogląd o nasilaniu się niedoborów, a tym samym i potrzeb nawożenia mikroelementami, w miarę wzrostu poziomu plonowania. Rośliny gorzej plonujące, na glebie gorszej agrochemicznie były na ogół dostatecznie zaopatrzone w podstawowe mikroelementy i rzadko reagowały wzrostem plonu, podczas gdy w przypadku roślin uprawianych na glebie żyzniejszej, lepiej plonujących, występowały często niedoborowe zawartości mikroelementów i notowano statystycznie istotne zwwyżki plonu po ich zastosowaniu. Interakcja ta, przejawiająca się szczególnie wyraźnie w plonowaniu korzeni i liści buraka w obiekcie [D] z nawożeniem mikroelementami wybranymi na podstawie analizy gleby, potwierdza działanie prawa maksimum Wallace'a (129) oraz skuteczność diagnozowania potrzeb mikroelementowych buraka cukrowego. Na glebach agrochemicznie słabszych, gdzie możliwości plonowania są ograniczone, stosowane kryteria diagnostyczne gorzej spełniają swoje zadanie, znacznie trudniej jest również uzyskać efekt synergistyczny stosowanych składników zgodnie z prawem maksimum.

W warunkach przeprowadzonych doświadczeń, najważniejszymi mikroelementami w aspekcie działania plonotwórczego oraz dostępności dla roślin okazały się bor i mangan, a w następnej kolejności molibden, miedź i cynk.

4.2.2. Reakcja buraka cukrowego na nawożenie mikroelementami w ścisłych doświadczeniach polowych

Ważniejsze cechy agrochemiczne, w tym poziom zasobności gleb w makro- i mikroelementy wyrażony w indeksach (co pozwoliło na bezpośrednią ocenę głębokości występujących niedoborów), podano w tabeli 20. Tylko w dwóch Stacjach Doświadczalnych – Błonie-Topola (nr 8) i Grabów (nr 11), wytypowane do doświadczeń gleby reprezentują kategorię gleb lekkich, o znacznym udziale frakcji pyłowych (odpowiednio 21% i 24%) oraz o wysokiej kulturze. Gleby pozostałych punktów doświadczalnych należały do gleb średnich i ciężkich oraz pszennych kompleksów przydatności rolniczej. Gleby z pól doświadczalnych należy zakwalifikować do klas odczynu: III – lekko kwaśne, II – obojętne i I – zasadowe. Z agrochemicznego punktu widzenia były to więc gleby odpowiednie pod uprawę buraka cukrowego.

Tabela 20

Charakterystyka agrochemiczna gleb użytych w ścisłych doświadczeniach polowych
 Agrochemical characteristics of soils used in the replicated field experiments

Lokalizacja (Nr) Location (№)	pH	F _s	S _O	P	K	Mg	B	Cu	Mn	Mo	Zn
		%		Indeksy; Indexes							
Seria 1 – nawożenie obornikiem; Series 1 – farmyard manure application											
Dobrogostów (1)	6,5	42	2,11	118	94	114	41	90	138	80	152
Dobrogostów (2)	7,2	47	2,60	282	137	37	87	138	139	69	259
Antopol (3)	7,4	37	1,81	218	203	48	47	81	261	411	91
Dobrogostów (4)	7,0	39	2,02	391	193	43	45	84	155	235	266
Dobrogostów (5)	6,2	60	3,91	139	101	79	98	157	70	205	96
Antopol (6)	6,2	35	1,88	179	172	33	66	79	247	88	98
Kępa (7)	7,2	34	2,85	103	77	153	92	245	258	100	346
Blonie-Topola (8)	5,8	17	1,10	126	117	78	69	656	177	71	485
Średnia geometryczna Geometric mean	6,7	37	2,15	176	130	64	65	142	167	127	187
Mediana; Median	6,8	38	2,05	159	127	63	68	114	166	94	206
Seria 2 – uprawa bezobornikowa; Series 2 – no-manure											
Baborówko (9)	6,5	27	1,68	165	126	74	15	136	169	93	865
Werbkowice (10)	7,3	27	1,97	159	75	88	31	235	261	80	964
Grabów (11)	6,7	20	1,80	136	111	90	25	78	54	203	238
Sadłowice (12)	7,3	35	3,10	100	49	144	54	344	97	216	204
Średnia geometryczna Geometric mean	6,9	27	2,09	137	85	96	28	171	123	134	448
Mediana; Median	7,0	27	1,90	148	93	89	28	186	133	148	551

Objaśnienia jak do tab. 9; Explanation as for tab. 9

Przyjmując medianę za miernik dobrze charakteryzujący zbiór, można uformować szeregi obrazujące zaopatrzenie gleb doświadczalnych w składniki pokarmowe (w nawiasach podano indeksy – wartości poniżej 100 oznaczają niedobór składnika):

Seria 1: makroelementy – P(159) > K(127) > Mg(63)

mikroelementy – Zn(206) > Mn(166) > Cu(114) > Mo(94) > B(68)

Seria 2: makroelementy – P(148) > K(93) > Mg(89)

mikroelementy – Zn(551) > Cu(186) > Mo(148) > Mn(133) > B(28).

Podobne szeregi wyrażające liczbę doświadczeń z niedoborami poszczególnych składników (indeks < 100) mają następującą postać:

Seria 1 (8 doświadczeń): makroelementy – Mg(6) > P(0) = K(0)

mikroelementy – B(8) > Mo(5) > Cu(4) > Zn(3) > Mn(1)

Seria 2 (4 doświadczenia): makroelementy – Mg(3) > K(2) > P(0)

mikroelementy – B(4) > Mo(2) = Mn(2) > Cu(1) > Zn(0).

Zidentyfikowane w danej glebie doświadczalnej niedobory mikroelementów były podstawą do ustalenia zestawu składników w obiekcie [D] (zaznaczono je cieniowaniem w tabeli 20).

W okresie prowadzenia badań warunki meteorologiczne na ogół sprzyjały wegetacji buraka cukrowego. Do najbardziej niekorzystnych czynników pogodowych zaliczyć należy susze wiosenne (kwiecień–maj) występujące prawie we wszystkich latach prowadzenia doświadczeń. Brak wody w tych okresach nie przekraczał jednak granic tolerancji roślin. Największe niedobory wodne w skali roku stwierdzono w SD Błonie-Topola w 1992 r. i w SD Dobrogostów w latach 1990 i 1991, nieco mniejsze w Antopolu w 1991 r. i w Werbkowicach w 1993 r. Sumy temperatur w okresach wegetacyjnych lat badań były zbliżone lub wyższe od średnich z wielolecia, potęgujące niedobory wilgoci wiosną i wczesnym latem, lecz korzystne w okresie późnego lata i wczesnej jesieni. Najkorzystniejsze układy warunków pogodowych wystąpiły w Antopolu w 1990 r., na Kępie w 1992 r., w Baborówku w 1993 r. oraz w Sadłowicach w 1994 r. Miało to niewątpliwie wpływ na duże plony buraka uzyskane w doświadczeniach z tych miejscowości (tab. 21).

Plony korzeni buraka w obiektach kontrolnych serii 1 (na oborniku) wahały się od 31,8 do 85,3, a w serii 2 (uprawa bezobornikowa) od 49,3 do 75,3 t·ha⁻¹. W 30% testowanych obiektów nawozowych wystąpiły istotne statystycznie zwiększenia plonowania korzeni w zakresie 5,7–9,0% pod wpływem nawożenia mikroelementami, najczęściej stwierdzono je w obiektach [B] nawożonych wyłącznie borem oraz w obiektach [D], gdzie stosowano zestaw mikroelementów deficytowych w glebie. W serii 2 istotna reakcja plonów korzeni wystąpiła w 39% przypadków, przy czym przyrosty plonów wahały się od 6,4 do 20,0% w stosunku do obiektu kontrolnego. Najczęściej reakcje udowodnione statystycznie uzyskiwano w obiektach [B] z nawożeniem borem oraz w obiektach [Mn] – z nawożeniem wyłącznie manganem (tab. 21).

Plony liści z obiektów kontrolnych serii 1 mieściły się w przedziale 17,2–59,2, a serii 2 – 49,1–81,1 t·ha⁻¹. W 12 na 56 testowanych wariantów nawozowych (21%) serii 1 stosowanie mikroelementów powodowało istotne statystycznie przyrosty plonów wynoszące od 5,6% do 15,2% w stosunku do plonów z obiektów kontrolnych. Najwięcej istotnych zwiększeń stwierdzono w tej serii pod wpływem nawożenia wyłącznie miedzią. W odpowiedzi 29% obiektów nawozowych serii 2 (bez obornika) stwierdzono istotną zwiększoną plonów liści w zakresie 7,4–16,5% jako skutek nawożenia mikroelementami – najczęściej tylko manganem (tab. 21).

Większą częstotliwość występowania dodatnich reakcji na nawożenie mikroelementami stwierdzoną w drugiej serii doświadczeń wiązać można z brakiem nawożenia organicznego. Przemawia za tym również istotna reakcja plonów korzeni i liści (synteza) na nawożenie manganem (rys. 25, 26).

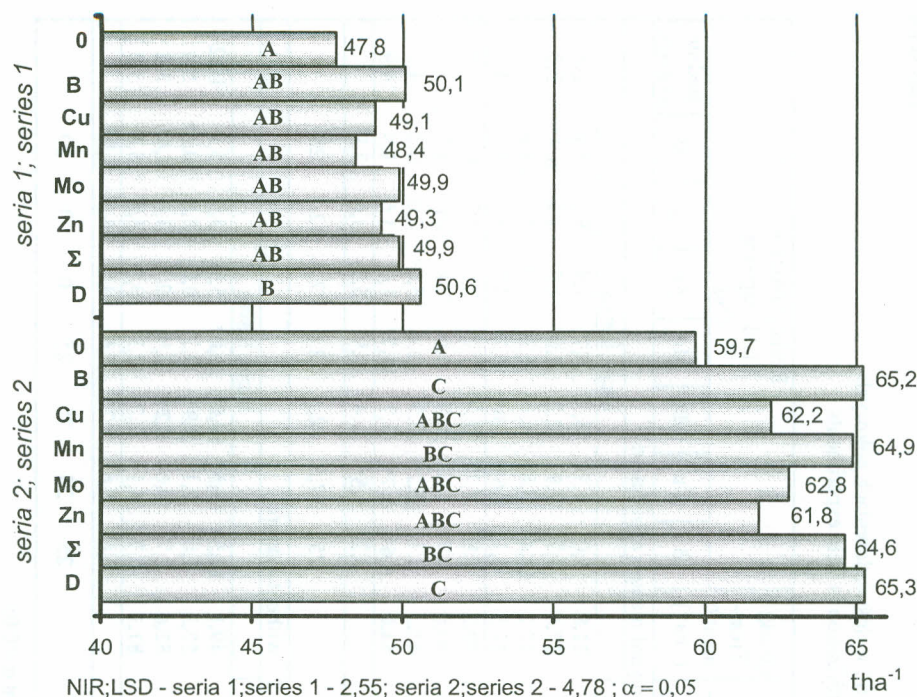
Porównanie średnich dla serii wyników nawożenia mikroelementami w poszczególnych obiektach nawozowych wskazuje, że w warunkach przeprowadzonych doświadczeń w obu seriach największe średnie zwiększenia plonów korzeni uzyskiwano pod wpływem mikroelementów niedoborowych w danej glebie zastosowanych łącznie (obiekt [D]). Spośród mikroelementów stosowanych pojedynczo do najbardziej skutecznych w działaniu plonotwórczym w uprawie buraka na oborniku

Tabela 21

Reakcja plonów buraka na nawożenie mikroelementami w doświadczeniach polowych
Response of sugar beet yields to micronutrient fertilization in field experiments

Lokalizacja (nr) Locality (no.)		Obiekt 0 Treat- ment 0 (t·ha ⁻¹)	Reakcja plonów Yield response (%)								Obiekt 0 Treat- ment 0 (t·ha ⁻¹)	Reakcja plonów Yield response (%)							
			B	Cu	Mn	Mo	Zn	Σ	D	średnio average		B	Cu	Mn	Mo	Zn	Σ	D	średnio average
Seria 1 – nawożenie obornikiem; Series 1 – farmyard manure application																			
Yields ≤ 40 t			korzenie; roots									liście; leaves							
	Dobrogostów (1)	33,6	8,3*	6,0*	0,0	7,4*	2,1	6,5*	4,2	4,9	21,8	5,0	3,7	-3,7	3,7	1,8	5,0	4,1	2,8
	Dobrogostów (2)	35,2	6,5*	5,7*	-2,0	2,6	0,9	0,3	8,2*	2,7	27,4	4,7	2,9	-2,2	1,0	1,5	4,4	6,9*	2,2
	Dobrogostów (4)	33,7	1,9	4,2	-0,1	1,5	4,5	3,9	7,1*	3,3	17,2	13,4*	5,8	4,1	5,2	9,9*	4,1	11,6*	7,7
	Błonie-Topola (8)	31,8	3,8	2,2	2,8	2,8	2,8	2,5	3,5	2,9	21,5	5,1	5,6*	5,6*	4,7	4,7	3,3	4,2	4,7
Plony ≥ 40 t	Antopol (3)	65,6	6,1*	2,1	0,0	3,1	-0,1	3,4	8,5*	3,3	59,2	0,8	4,1	-1,7	2,0	2,0	1,3	0,3	1,3
	Dobrogostów (5)	48,3	2,7	1,0	-0,1	2,7	1,7	3,1	2,3	1,9	30,0	4,7	0,3	2,0	4,0	7,0*	7,1*	1,7	3,8
	Antopol (6)	48,7	5,7*	1,4	1,2	6,8*	7,4*	9,0*	2,5	4,9	43,3	2,1	15,2*	0,5	-1,4	15,0*	0,0	0,2	4,5
	Kępa (7)	85,3	4,6	2,3	6,3*	6,2*	5,8	5,3	7,6*	5,1	54,0	5,6*	6,7*	3,7	11,7*	1,0	3,6	1,9	4,9
Średnio; Average			5,0	3,1	1,0	4,1	3,1	4,3	5,5*			5,2	5,5*	1,4	3,9	5,3	3,6	3,9	
Reakcje udowodnione (%) Proved response (%)			50	25	12,5	37,5	12,5	25	50			25	37,5	12,5	12,5	37,5	12,5	25	
Seria 2 – uprawa bezobornikowa; Series 2 – without manure																			
			korzenie; roots									liście; leaves							
Baborówko (9)		59,8	15,8*	4,7	14,6*	9,0*	5,7	20,0*	19,0*	12,7	49,1	16,5*	15,5*	10,0*	12,0*	5,9	5,9	5,9	10,2
Werbkowice (10)		54,9	8,6*	1,2	7,0*	0,5	2,8	3,4	5,2	4,1	57,3	1,6	2,1	9,9*	5,2	0,0	5,8	10,6*	5,0
Grabów (11)		49,3	6,4*	6,5*	9,1*	4,6	4,1	3,4	9,8*	6,3	52,6	2,7	0,6	8,2*	2,9	-2,7	3,6	7,4*	3,2
Sadłowice (12)		75,3	5,8	4,1	4,9	4,8	1,0	4,6	3,5	4,1	81,1	5,7	4,1	2,7	2,3	0,0	3,8	3,8	3,2
Średnio; Average			9,2*	4,1	8,9*	4,7	3,4	7,9*	9,4*			6,6	5,6	7,7*	5,6	0,8	4,8	6,9*	
Reakcje udowodnione (%) Statistically valid responses (%)			75	25	75	25	0	25	50			25	25	75	25	0	0	50	

* statystycznie udowodnione wg testu Tukeya przy $\alpha = 0,05$; statistically proved acc. to Tukey's test at $\alpha = 0.05$



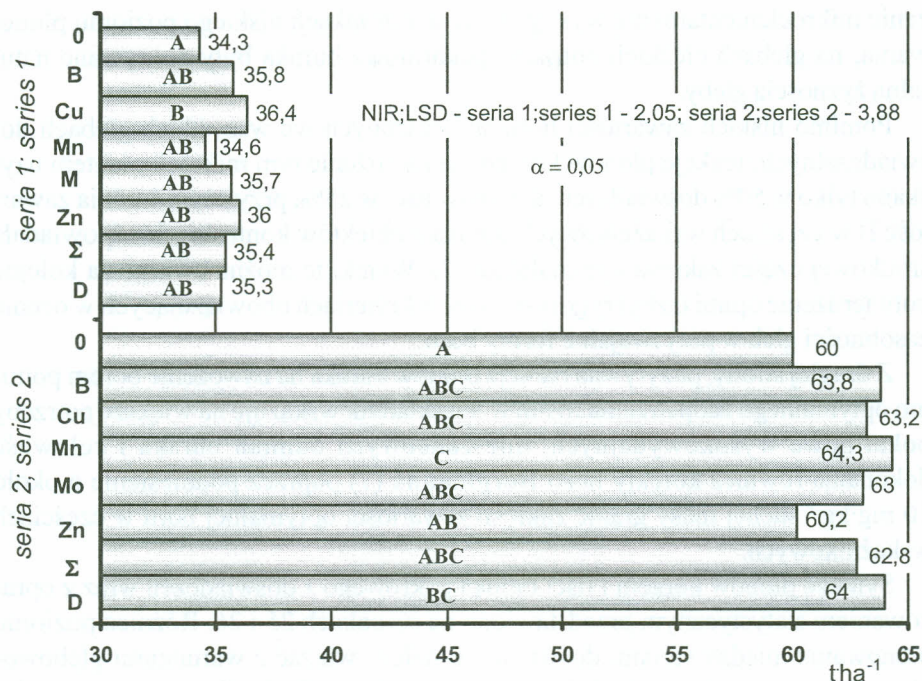
Plony oznaczone tą samą literą w obrębie serii są statystycznie równorzędne wg testu Tukeya, $\alpha = 0,05$
 Yields marked with the same letter within series are statistically equal acc. to Tukey's test, $\alpha = 0,05$

Rys. 25. Plony korzeni buraka (synteza)
 Yield of sugar beet roots in experiments (synthetic results)

(seria 1) zaliczyć należy bor i molibden (korzenie) oraz miedź i cynk (liście), a przy braku nawożenia organicznego (seria 2) – bor i mangan.

Średnie zwwyżki plonów uzyskane pod wpływem nawożenia mikroelementami w poszczególnych doświadczeniach z obu serii wahały się od 1,9% w przypadku korzeni (Dobrogostów nr 5, na oborniku, czarna ziemia właściwa) i 1,3% w przypadku liści (Antopol nr 3 – gleba płowa) do odpowiednio 12,7% i 10,2% (w Baborówku nr 9 – uprawa bezobornikowa na czarnej ziemi zdegradowanej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego); (tab. 21).

Brak reakcji lub też niewielkie tendencje spadkowe plonów z części doświadczeń serii 1 z dolistnym stosowaniem manganu mogły być związane z ujawniającymi się w tym przypadku antagonizmami w warunkach dobrego zaopatrzenia gleb w Mn przyswajalny (tab. 20) oraz nawożenia obornikiem zawierającym z reguły dość znaczne jego ilości (27). W takiej sytuacji dochodzić może do blokowania dostępności Fe, Cu i Zn (20, 44, 73, 99), a nawet B (70). W uprawie bezoborniko-



Objaśnienia jak na rysunku 25; For explanation see Fig. 25

Rys. 26. Plony liści buraka (synteza)
Yield of sugar beet leaves in experiments (synthetic results)

wej (seria 2), na glebach mniej zasobnych w mangan nawożenie tym mikrośkładnikiem powodowało oczekiwane zwwyżki plonów (tab. 21).

W licznych przypadkach plonotwórcze działanie mikroelementów widoczne było również w postaci wyraźnych tendencji, nie udowodnionych jednak statystycznie. Brak istotnych statystycznie reakcji plonów buraka na nawożenie mikroelementami we wszystkich obiektach stwierdzony w kilku doświadczeniach, wiązał się na ogół ze skrajnymi warunkami glebowymi (gleby najlżejsze lub najcięższe). Jako przykład wskazać można tutaj doświadczenie w SD Błonie-Topola (nr 8) na glebie lekkiej o pH 5,8 oraz doświadczenia w SD Dobrogostów (nr 5) i Sadłowice (nr 12), na glebach ciężkich, zasobnych w materię organiczną, o wysokim pH. Prawdopodobnie te nie zostały wprawdzie udowodnione statystycznie (brak interakcji: miejscowość × nawożenie mikroelementami), są jednak potwierdzeniem wnioskowania z badań w doświadczeniach wazonowych i mikropoletkowych na różnych glebach. Na glebie lekkiej, mniej odpowiedniej pod uprawę buraka, reakcja na nawo-

żenie mikroelementami nie występowała w warunkach niskiego poziomu plonowania, na glebach ciężkich potrzeby pokarmowe buraka były pokrywane naturalną żyznością gleby.

Pomimo niskich zawartości boru stwierdzonych we wszystkich glebach doświadczalnych, reakcję plonów korzeni na nawożenie tym mikroelementem uzyskano tylko w 50% doświadczeń, a plonów liści w 25%, przy czym średnia zawartość B w częściach wskaźnikowych buraka z obiektów kontrolnych odpowiadała środkowej części zakresu optymalnego (7). Wyniki te można uważać za kolejne potwierdzenie opinii o zbyt rygorystycznych kryteriach obowiązujących w ocenie zasobności gleb w przyswajalne formy boru.

Z drugiej strony, pozytywna reakcja plonów buraka na nawożenie borem pomimo optymalnego zaopatrzenia roślin w ten składnik wskazuje na większe potrzeby pokarmowe wysokowydajnych, mieszańcowych odmian buraka i celowość dokonania również korekty liczb Bergmanna (7) poprzez podniesienie o około $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy granic zakresu zawartości optymalnej boru w częściach wskaźnikowych.

Syntezę plonów korzeni i liści buraka cukrowego z doświadczeń wraz z opracowaniem statystycznym przedstawiono na rysunkach 25 i 26. Różnice poziomu plonowania między seriami doświadczeń należy wiązać z warunkami glebowo-klimatycznymi punktów i lat doświadczalnych. W wyniku braku statystycznie udowodnionej reakcji plonów korzeni na nawożenie borem w 50% doświadczeń serii 1 nie uzyskano również takiej reakcji w odniesieniu do syntezy. W tej serii istotną statystycznie średnią wyższą plonów korzeni ($2,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} - 5,9\%$) w stosunku do obiektu kontrolnego uzyskano tylko w obiekcie [D], gdzie stosowano mikroelementy deficytowe w glebie. Na uwagę zasługują również nie udowodnione statystycznie, aczkolwiek wyraźne tendencje wyżkowe w obiektach: [B] – $2,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (4,8%) oraz w obiektach [Σ] i [Mo] – po $2,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (4,4%); (rys. 25).

Przy ogólnie wyższych średnich plonach, w serii 2 częściej uzyskiwano pozytywną reakcję plonów korzeni buraka na nawożenie mikroelementami, przy czym wyżki te były większe niż w serii 1. Wynosiły one: 9,4% w obiekcie [D], 9,2% w obiekcie [B], 8,7% w obiekcie [Mn] i 8,2% w obiekcie [Σ] (rys. 25).

Istotna w ocenie syntetycznej wyżka plonów liści w serii 1 doświadczeń ($2,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} - 6,1\%$), odnosiła się jedynie do obiektu [Cu], w którym stosowano nawożenie samą miedzią. Słabszą reakcję plonów liści z tej grupy na nawożenie kompleksowe mikroelementami w obiektach [Σ] i [D] wiązać należy ze zmianą współczynnika ulistnienia w warunkach intensywnego przyrostu masy korzeni (55, 71, 131); (rys. 26). W serii 2 udowodnione wyżki plonu uzyskano pod wpływem nawożenia manganem (obiekt [Mn]) oraz mikroelementami wybranymi na podstawie analizy diagnostycznej gleby (obiekt [D]). Wynosiły one odpowiednio $4,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (7,2%) i $4,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (6,7%). Dość znaczny średni przyrost plonów liści pod wpływem nawożenia borem (obiekt [B]) – $3,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (6,3%) – mieścił się w granicach półprzedziału ufności Tukeya (rys. 26).

Przedstawione wyniki syntetyczne pozwalają na pozytywną ocenę koncepcji łącznego stosowania mikroelementów w uprawie buraka cukrowego. Z uzyskanych istotnych statystycznie zwyczajek plonów korzeni buraka w pięciu obiektach dwie dotyczyły obiektu [D] oraz jedna obiektu [Σ], przy bardzo wyraźnych, jednak nie udowodnionych tendencjach w obiekcie [Σ] w serii 1. Uwzględniając również zwyczajkę plonów liści w obiekcie [D] serii 2 podkreślić należy najbardziej efektywne działanie plonotwórcze kombinacji mikroelementów ustalonej diagnostycznie.

Biomasa liści buraka podlega w okresie wegetacji znacznie większym wahaniom powodowanym zarówno przez czynniki genetyczne, jak i pogodowe oraz agrotechniczne (np. nawożenie azotowe) niż plony korzeni (18, 71, 113, 131). W warunkach sprzyjających przyrostowi masy korzeni w końcowych stadiach wegetacji może zostać ograniczony rozwój nowych liści. Taka sytuacja miała miejsce w obiektach [D] i [Σ] w serii 1 doświadczeń, gdzie w warunkach nawożenia organicznego analiza wariancji dla syntezy potwierdziła istotną zwyczajkę plonowania jedynie w obiekcie z nawożeniem miedzią (rys. 26). 50% gleb użytych do doświadczeń w tej serii cechowała niska zawartość miedzi przyswajalnej. Wykorzystanie mikroelementów z obornika, wynoszące około 30% w pierwszym roku, również nie pokrywało wysokich potrzeb pokarmowych buraka cukrowego w stosunku do miedzi. W rezultacie pod wpływem nawożenia Cu uzyskano najwyższy średni efekt w plonowaniu liści w tej serii (5,5%); (tab. 21). Z uwagi na ważne funkcje miedzi jako składnika oksydaz w metabolizmie białek i węglowodanów, lignifikacji tkanek i przemianach witaminy C, jej niedobory mogą ograniczać plonowanie roślin (120).

Bobrzecka (10) oraz Bobrzecka i Krauze (11, 12) wykazały w doświadczeniach polowych prowadzonych w płodozmianie największe pobranie Cu z plonami buraka cukrowego w porównaniu z innymi roślinami, proporcjonalne do zastosowanej dawki. W największych plonach korzeni buraka stwierdzano pomimo to efekt rozcieńczenia.

Wyniki badań własnych potwierdzają dane z literatury, a wykazany spadek koncentracji Cu w roślinach w warunkach intensyfikacji nawożenia podstawowego wskazuje na potrzebę kontrolowania stanu zaopatrzenia gleb w ten składnik w uprawach buraka cukrowego. Celowość ewentualnego nawożenia miedzią wynika nie tylko z jej oddziaływania plonotwórczego. Ze względu na bardzo ważne funkcje Cu w organizmach zwierząt, spadki zawartości tego pierwiastka w przeznaczanych na paszę liściach buraka powodować mogą niepożądane konsekwencje (70, 90, 127). Odpowiednio zaopatrzone w miedź liście buraka w wypadku przyorania stanowić mogą również źródło tego składnika dla roślin następczych (71). Warto w tym miejscu podkreślić niesłuszność obaw przed łatwym doprowadzeniem do nadmiaru Cu jako tzw. metalu ciężkiego i wynikającej stąd niechęci do nawożenia tym składnikiem. W świetle wyników badań Terelaka i in. (126), gleby o nadmiernej zawartości Cu występują jedynie w rejonie Legnicy i stanowią zaledwie 0,2–0,4% użytków rolnych w kraju. Według najnowszych badań inwentary-

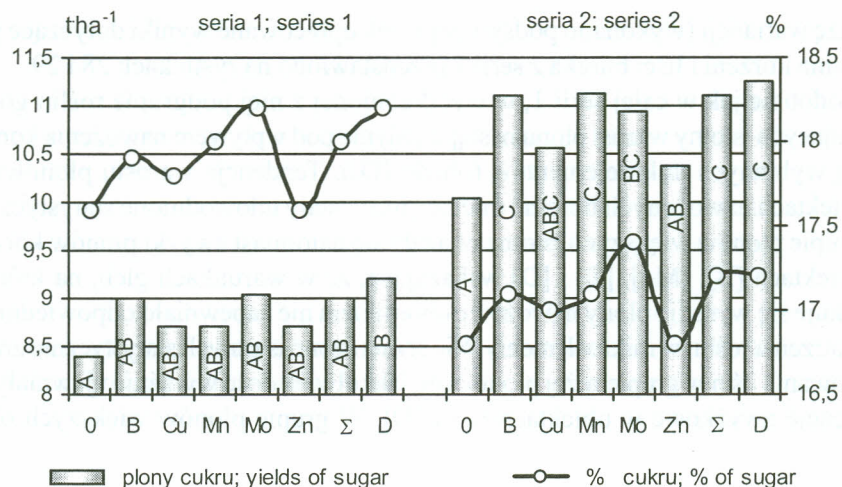
zacyjnych stacji chemiczno-rolniczych 36% gleb w skali kraju cechuje niedoborowa, a 53% – zaledwie średnia zawartość miedzi rozpuszczalnej (33).

Wzrost plonów korzeni i liści w doświadczeniach serii 2 przy nawożeniu manganem wynika z pewnością z niedostatków tego składnika w glebie w warunkach uprawy bezobornikowej buraka na glebach o uregulowanym odczynie i znacznej zawartości materii organicznej. Czynniki te ograniczają dostępność Mn dla roślin, a efektem nawożenia manganem są często zwwyżki plonowania (37, 127). Znacznie niższa koncentracja tego składnika w glebie po zakończeniu doświadczeń serii 2 niż serii 1 potwierdza takie wnioskowanie. Zawartość Mn w glebie z obiektów kontrolnych po zakończeniu doświadczeń była średnio o 77% wyższa w serii 1 niż w serii 2. Wyższa była również zawartość Mn w roślinach z tej serii (rys. 33). Różnice te wiązać można z wpływem nawożenia organicznego zaspokajającego wymagania roślin buraka cukrowego w odniesieniu do tego mikroelementu (27, 52). W takiej sytuacji dodatkowe nawożenie Mn sprzyja ujawnianiu się antagonizmów, w tym zmniejszaniu dostępności Fe a także Cu, Zn i B (44, 70, 73). Toteż nawożenie Mn w serii 1 w większości przypadków nie wpływało na wzrost plonowania korzeni i liści, w kilku odnotowano nawet niewielkie tendencje spadkowe. W serii 2, na glebach mniej zasobnych w mangan nawożenie tym mikroskładnikiem powodowało oczekiwane efekty plonotwórcze.

W warunkach ogólnie słabszego zaopatrzenia w mikroelementy doświadczeń serii 2 (brak nawożenia organicznego i wyższe plony buraka), skuteczne okazało się również nawożenie wyłącznie borem a także nawożenie kompleksowe – obiekty [D] i [Σ]; nawożenie mikroelementami deficytowymi (obiekt [D]) miało jednak wyraźną przewagę, zarówno w odniesieniu do plonowania korzeni, jak i liści (tab. 21).

Plonotwórcze znaczenie badanych mikroelementów potwierdzają korelacje stwierdzone pomiędzy plonami buraka cukrowego a pobraniem tych składników na jednostkę masy plonów. W odniesieniu do plonów korzeni dotyczyły one boru ($r = 0,68^{***}$), miedzi ($r = 0,85^{***}$), molibdenu ($r = 0,33^{**}$) i cynku ($r = 0,75^{**}$), a w odniesieniu do plonów liści boru ($r = 0,81^{***}$), miedzi ($r = 0,90^{***}$), manganu ($r = 0,24^{**}$) i molibdenu ($r = 0,25^{**}$).

Na rysunku 27 przedstawiono uzyskane w dwóch seriach doświadczeń średnie plony cukru biologicznego w poszczególnych obiektach nawozowych oraz zmiany procentowej zawartości cukru w korzeniach. Wyższe średnie zawartości cukru w korzeniach buraka, przy ogólnie mniejszych plonach stwierdzono w serii 1 doświadczeń (na oborniku). Zwraca uwagę podobny przebieg zmian zawartości cukru w korzeniach w testowanych obiektach obu serii. W serii 1 zawartość cukru wzrosła z 17,6% w obiekcie [0] do 18,2% w obiektach [Mo] i [D]. Taką samą zwwyżkę uzyskano w serii 2 w obiekcie [Mo] – z poziomu 16,8% do 17,4% cukru. W obiekcie [Cu] wzrost zawartości cukru w korzeniach był najmniejszy, a w obiekcie [Zn] zmiany cukrowości korzeni nie wystąpiły.



Objaśnienia jak na rysunku 25; For explanations see Fig. 25

Rys. 27. Cukrowość korzeni buraka na tle plonów cukru biologicznego
Percentage of sugar in beet roots from experiments against biological sugar yield

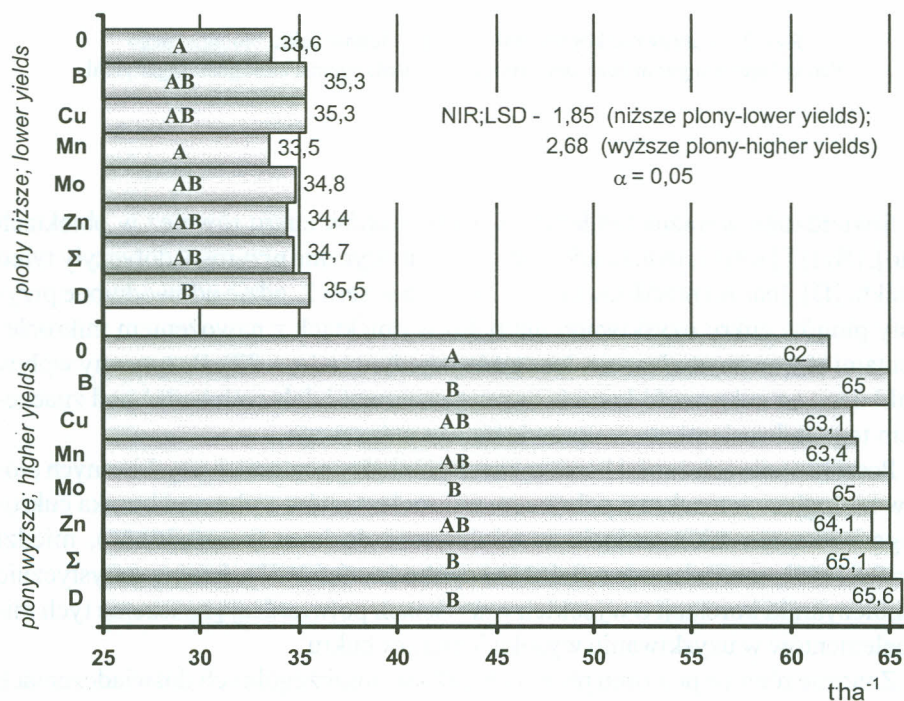
Stwierdzono wyraźną tendencję wzrostu plonów cukru również w obiektach [Mo], [B] i [Σ] serii 1, jednak udowodnione statystycznie przyrosty dotyczyły tylko obiektu [D]. Inaczej przedstawiała się sytuacja w serii 2, gdzie udowodnione przyrosty plonów cukru uzyskiwano nie tylko w obiektach z nawożeniem mikroelementami stosowanymi łącznie, lecz także pojedynczo (rys. 27). Pozytywny wpływ molibdenu na cukrowość korzeni sugeruje celowość dalszych badań nad znaczeniem tego mikroelementu w uprawie buraka cukrowego.

Poszukiwanie zależności korelacyjnych pomiędzy poziomem uzyskiwanych plonów biologicznych cukru a pobraniem mikroelementów z plonami buraka cukrowego wykazało takie związki w odniesieniu do boru ($r = 0,74^{***}$), miedzi ($r = 0,81^{***}$), molibdenu ($r = 0,65^{**}$) i cynku ($r = 0,69^{***}$). Istotne statystycznie współczynniki korelacji o wysokich wartościach potwierdzają znaczenie tych mikroelementów w uzyskiwaniu wysokich plonów cukru.

Znaczne różnice poziomu plonów buraka w poszczególnych doświadczeniach serii 1 (korzenie w obiektach kontrolnych 31,8 do 85,3; liście 17,2 do 59,2 t·ha⁻¹) sugerowały celowość prześledzenia reakcji roślin na nawożenie mikroelementami na tle poziomu plonowania. W tym celu doświadczenia serii 1 podzielono na dwie grupy – o plonach korzeni z obiektów kontrolnych [0] mniejszych oraz większych od 40 t·ha⁻¹ (tab. 21). Osobno dla każdej z tych grup przeprowadzono ponownie

analizę wariancji (wykonano podsyntezę). Tak opracowane wyniki dotyczące plonowania korzeni i liści buraka z serii 1 przedstawiono na rysunkach 28 i 29.

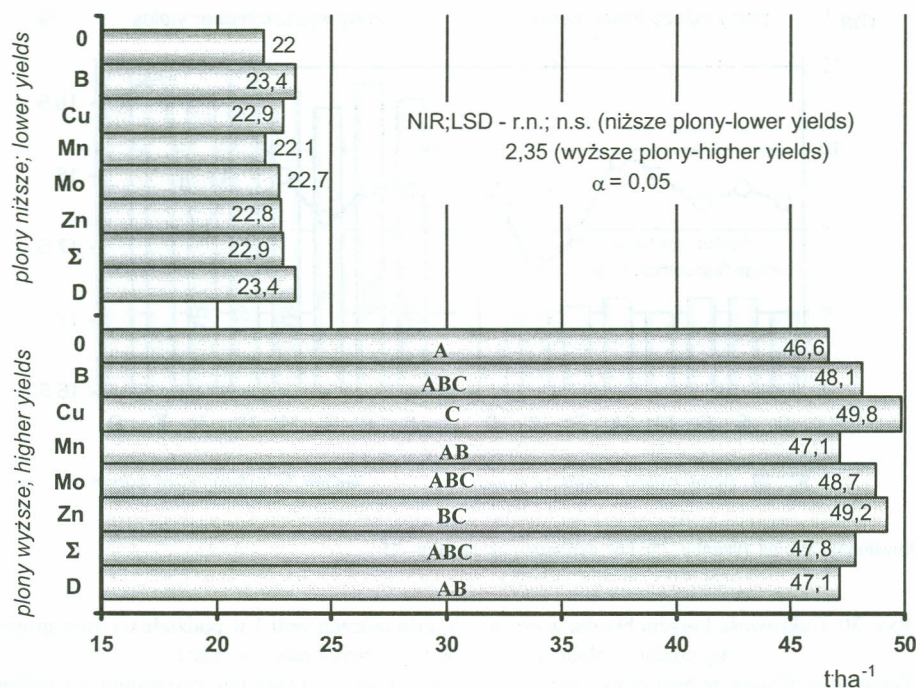
Podobnie jak w całej serii 1, w wyodrębnionej z niej podgrupie roślin gorzej plonujących istotny wzrost plonu nastąpił jedynie pod wpływem nawożenia kombinacją wybranych mikroelementów (obiekt [D]). Tendencje wzrostu plonowania w obiektach nawożonych borem i miedzią nie zostały udowodnione statystycznie. W grupie plonów większych istotne okazały się natomiast wyższe plony korzeni w obiektach [B], [Mo], [Σ] i [D] wskazujące, że w warunkach gleb, na których uzyskuje się wysokie plony nawożenie obornikiem nie zapewniało odpowiedniego zaopatrzenia roślin w mikroelementy. Nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian plonowania liści w grupie niżej plonującej, jakkolwiek dość wyraźnie ujawniały się tendencje zwyżkowe w obiektach [B] i [D]. W grupie plonów większych obok



Objaśnienia jak na rysunku 25; For explanations see Fig. 25

Rys. 28. Plony korzeni buraka z serii 1 doświadczeń w podziale na dwie grupy według poziomu plonowania

Yields of sugar beet roots from the first series split into two groups according to yield level



Objaśnienia jak na rysunku 25; For explanations see Fig. 25

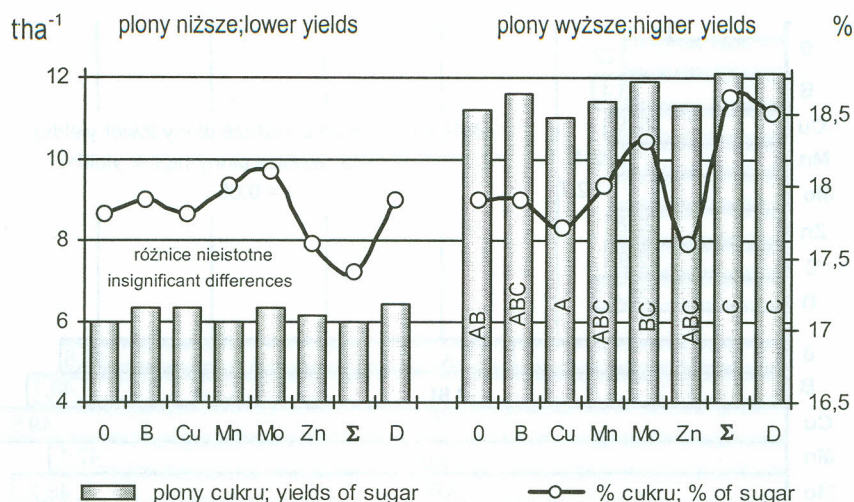
Rys. 29. Plony liści buraka z serii 1 doświadczeń w podziale na dwie grupy według poziomu plonowania

Yields of sugar beet leaves from the first series split into two groups according to yield level

udowodnionego statystycznie działania miedzi uwidocznili się również istotny wpływ cynku, w syntezie dla całej serii 1 występujący tylko w postaci tendencji. Słabszą reakcję plonów liści w tej grupie na kompleksowe nawożenie mikroelementami w obiektach [Σ] i [D], podobnie jak w syntezie dla całej serii 1, wiązać należy z występującą w warunkach intensywnego przyrostu masy korzeni zmianą współczynnika ulistnienia.

W układzie zawartości (%) i plonów cukru w obiektach doświadczeń serii 1 podzielonych na grupy plonowania potwierdzone zostało korzystne oddziaływanie molibdenu oraz łącznego stosowania mikroelementów niedoborowych. Prawidłowość ta widoczna w postaci tendencji w grupie plonów mniejszych znalazła potwierdzenie statystyczne w grupie plonów większych, w odniesieniu do plonu cukru biologicznego w obiektach [Mo], [Σ] i [D] (rys. 30).

Podział doświadczeń serii 1 (uprawa na oborniku) na dwie grupy wg poziomu plonowania (podsintezy) potwierdził silniejszą reakcję buraka na nawożenie mi-



Objaśnienia jak na rysunku 25; For explanations see Fig. 25

Rys. 30. Cukrowość korzeni buraka w obiektach doświadczeń serii 1 w podziale na dwie grupy wg poziomu plonowania na tle uzyskanych plonów cukru

Percentage of sugar in beet roots from series 1 of the experiment split into two groups according to yielding level against sugar yields

kroelementami przy plonach większych (zauważalną wcześniej w serii 2). Zależność ta dotyczyła również plonów cukru. Wynika stąd, że brak istotnej reakcji plonu korzeni wykazany analizą wariancji dla syntezy serii 1 (z wyjątkiem obiektu [D]) powodowany był przede wszystkim wpływem grupy plonów mniejszych, oraz że nawożenie obornikiem nie pokrywało potrzeb pokarmowych wysokoplonujących odmian mieszańcowych buraka cukrowego w odniesieniu do mikroelementów.

Plonotwórcze działanie nawożenia mikroelementami może być w znacznym stopniu determinowane przez zaopatrzenie roślin w najważniejsze makroelementy. Wejściową zasobność gleb doświadczalnych w fosfor, potas, magnez i wapń przedstawiono w tabeli 20. Gleby użyte do doświadczeń cechowały się odczynem w zakresie pH 5,8–7,4 oraz dobrym zaopatrzeniem w przyswajalny fosfor i nieco słabszym w potas. Najmniej korzystnie przedstawiało się zaopatrzenie w magnez (indeks < 100).

Do oceny poziomu zaopatrzenia w makroskładniki po zakończeniu doświadczeń posłużono się analizą roślinną. W tabeli 22 podano zawartość tych składników w roślinach doświadczalnych – średnio z doświadczeń każdej z serii. Części wskaźnikowe (blaszki liści) buraka były dostatecznie zaopatrzone w podstawowe

Tabela 22

Średnia zawartość makroelementów w roślinach buraka cukrowego z doświadczeń (%)
Average macronutrient concentration in the sugar beet plants from experiments (%)

Dane; Data	N	P	K	Mg	Ca	Na
Części wskaźnikowe; Test parts						
Seria 1 – nawożenie obornikiem; Series 1 – farmyard manure application						
Średnia arytmetyczna; Average	4,24	0,36	4,51	0,51	1,10	0,79
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,60	0,09	1,13	0,27	0,52	0,18
Mediana; Median	4,30	0,39	4,20	0,50	1,07	0,77
Seria 2 – uprawa bezobornikowa; Series 2 – without manure						
Średnia arytmetyczna; Average	4,44	0,40	4,40	0,44	0,73	0,71
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,40	0,10	0,28	0,14	0,42	0,10
Mediana; Median	4,45	0,41	4,15	0,41	0,57	0,69
Optimum wg Bergmanna (7) Optimum acc. to Bergmann (7)	4–6	0,35–0,6	3,5–6,0	0,3–0,7	0,7–2,0	0,2–3,7
Dane wg IUNG (72) Data acc. to IUNG (72)	3,30	0,32	4,96	0,66	1,55	0,74
Korzenie; Roots						
Seria 1 – nawożenie obornikiem; Series 1 – farmyard manure application						
Średnia arytmetyczna; Average	0,89	0,13	0,83	0,11	0,12	0,07
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,18	0,04	0,19	0,02	0,04	0,01
Mediana; Median	0,87	0,12	0,83	0,12	0,11	0,06
Seria 2 – uprawa bezobornikowa; Series 2 – without manure						
Średnia arytmetyczna; Average	0,82	0,09	0,63	0,12	0,10	0,08
Odchylenie standardowe Standard deviation	0,14	0,02	0,12	0,03	0,02	0,02
Mediana; Median	0,86	0,08	0,58	0,12	0,09	0,08
Dane wg Mazura (89) Data acc. to Mazur (89)	0,81	0,15	0,79	0,15	0,30	0,10

makroelementy, aczkolwiek ich zawartości układały się przeważnie w dolnej części zakresów optymalnych według Bergmanna (7). Średnie zawartości makroelementów w korzeniach buraka były na ogół zbliżone do odpowiednich przeciętnych podawanych przez Mazura (89).

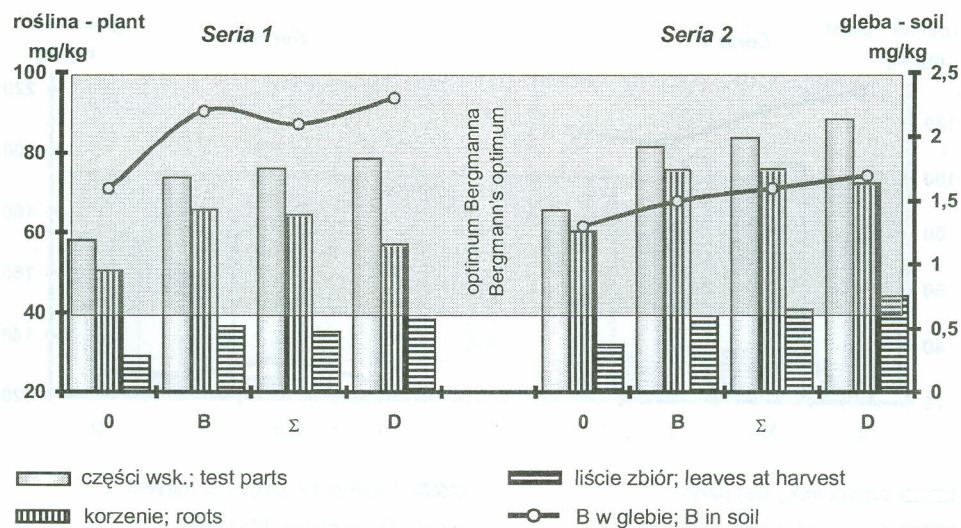
Najbardziej niekorzystna sytuacja dotyczyła wapnia, co można próbować wyjaśnić antagonistycznym oddziaływaniem innych kationów, jak również występującymi w latach badań okresami suszy utrudniającymi pobieranie wapnia – przy braku reutilizacji Ca w roślinach mogło to ograniczyć jego zawartość w korzeniach (96, 99, 131).

W wyniku nawożenia mikroelementami zwiększała się ich koncentracja w tkankach roślin buraka. Zmiany te w odniesieniu do zakresu optimum wg Bergmanna (7) przedstawiono na rysunkach 31–35.

Pomimo niedoborowych zawartości boru przyswajalnego w glebie pól doświadczalnych, przeciętna jego zawartość w częściach wskaźnikowych buraka w obiektach kontrolnych obu serii odpowiadała środkowej części zakresu optimum. Pod wpływem stosowania boru jego zawartość w roślinach zwiększała się – najbardziej w obiekcie [D] – bor stosowano w tym obiekcie we wszystkich doświadczeniach. W stosunku do obiektu kontrolnego [0] w serii 2, uzyskano tam średni wzrost zawartości boru w blaszkach liści buraka o 36%, a w korzeniach o 38%. Zawartość boru w glebie po zakończeniu doświadczeń nadal utrzymywała się w zakresie wartości niskich i średnich, wskazującym na możliwość łatwego powstania niedoborów tego składnika w przypadku zmiany warunków decydujących o jego przyswajalności np. odczynu lub uwilgotnienia gleby (43, 52, 109). Jednak po uwzględnieniu stosunkowo wysokiej zawartości w roślinach i pobrania B z plonami buraka w obiektach kontrolnych, po raz kolejny nasuwa się wniosek o potrzebie sprawdzenia stosowanych kryteriów oceny zasobności gleb w bor przyswajalny (rys. 31, tab. 23). Analiza korelacji wykazała słabą, lecz istotną statystycznie zależność pomiędzy zawartością boru w glebie i w korzeniach buraka, $r = 0,22^{**}$.

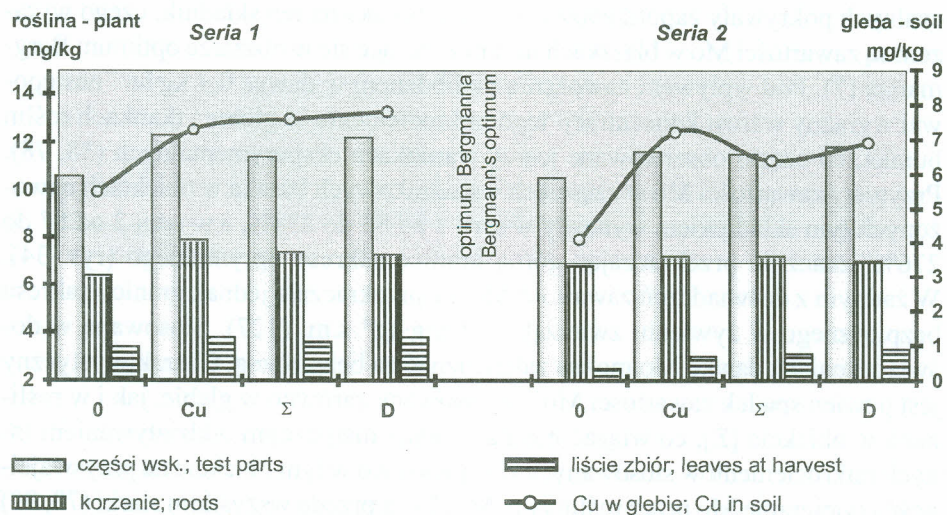
Również zawartość miedzi w blaszkach liściowych buraka w obiektach kontrolnych utrzymywała się w zakresie optymalnym. Nawożenie Cu powodowało kilkunastoprocentowe przyrosty jej zawartości zarówno w liściach, jak i w korzeniach buraka w serii 1. W serii 2, podobnie jak w przypadku boru, największy przyrost zawartości miedzi w korzeniach (o 32%) uzyskano w obiekcie [D]. Z uwagi na gorsze zaopatrzenie wejściowe w miedź gleb serii 2 doświadczeń, nawożenie tym składnikiem w większym stopniu podnosiło zawartość rozpuszczalnej w 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ miedzi również w warstwie ornej gleby (najbardziej w obiekcie z nawożeniem wyłącznie miedzią – o 76%); (rys. 32). Jakkolwiek dość trudno jest uzyskać pozytywne korelacje pomiędzy zawartościami mikroelementów w glebie i w roślinach przy zróżnicowanych warunkach glebowych, to jednak najczęściej dotyczą one Cu i Mn (48). Spośród nielicznych uzyskanych w niniejszych badaniach, korelacje dotyczące miedzi cechowały się najwyższymi współczynnikami (w odniesieniu do części wskaźnikowych $r = 0,53^{***}$, liści $r = 0,41^{**}$, korzeni $r = 0,39^{***}$).

Optymalne zaopatrzenie gleb serii 1 w mangan wpływało na dobre zaopatrzenie roślin buraka w ten składnik, przekraczające w częściach wskaźnikowych górną granicę zakresu optimum. Dolistne stosowanie roztworu manganu w formie siarczanowej w niewielkim stopniu zmieniało jego zawartość w roślinach z tej serii. Odmierna sytuacja ukształtowała się w serii 2, gdzie w warunkach gorszego zaopatrzenia roślin w ten pierwiastek, nawożenie dolistne niezależnie od wpływu na plonowanie powodowało zwiększenie koncentracji Mn w blaszkach liści o 12–42% w stosunku do roślin nie nawożonych (rys. 33). Dolistne stosowanie manganu było prawdopodobnie przyczyną negatywnie skorelowanych zawartości Mn w glebie i roślinach (w odniesieniu do części wskaźnikowych $r = -0,31^{**}$, liści $r = -0,32^{**}$, korzeni $r = -0,29^{**}$).



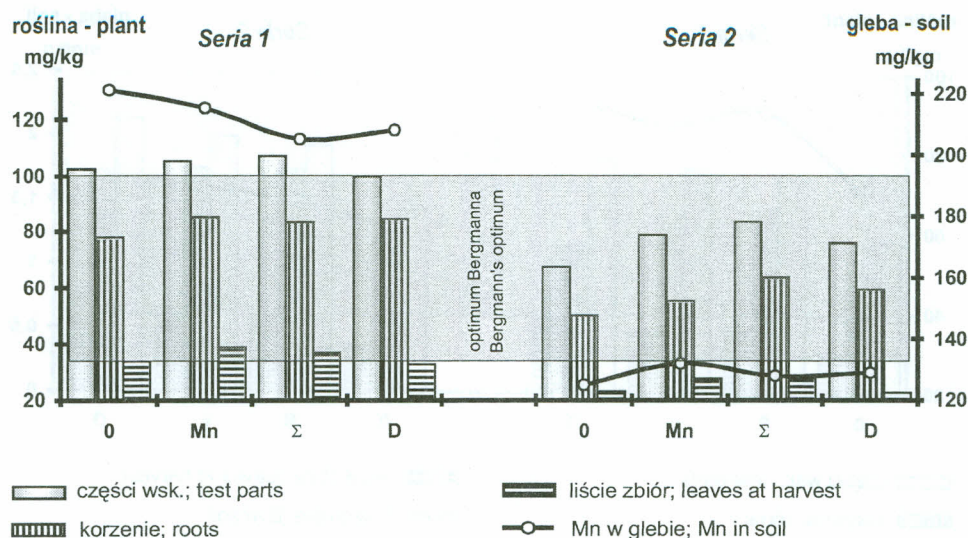
Rys. 31. Zmiany zawartości boru w roślinach buraka i w glebie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem

Changes of boron concentration in sugar beet and in soil under boron fertilization



Rys. 32. Zmiany zawartości miedzi w roślinach buraka i w glebie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem

Changes of copper concentration in sugar beet and in soil under copper fertilization

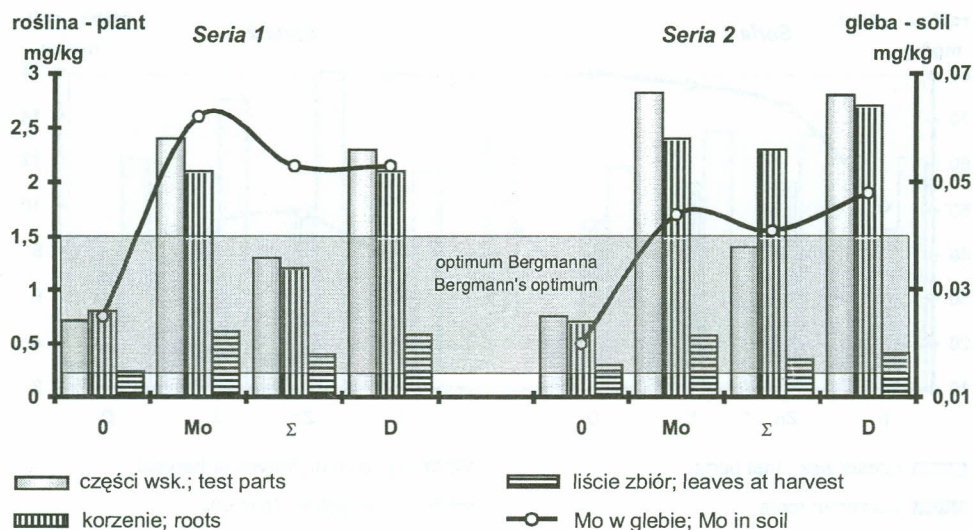


Rys. 33. Zmiany zawartości manganu w roślinach buraka i w glebie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem

Changes of manganese concentration in sugar beet and in soil under manganese fertilization

Wycenione jako niskie i średnie zawartości molibdenu w glebie pól doświadczalnych pokrywały zapotrzebowanie roślin buraka na ten składnik, czego wyrazem są zawartości Mo w blaszkach liści mieszczące się w obszarze optimum Bergmanna (7). Pod wpływem nawożenia molibdenem w dawce $0,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ następował wyraźny wzrost koncentracji tego mikroelementu w glebie i tkankach roślin buraka, co często obserwowane jest w warunkach eksperymentalnych (38, 78). Przyrosty zawartości Mo w częściach wskaźnikowych buraka w obiektach nawożonych tym składnikiem wynosiły w serii 1 od 83 do 238%, a w serii 2 od 87 do 276%, znacznie przekraczając górną granicę zakresu optymalnego (rys. 34). W żadnym z doświadczeń zawartość Mo nie przekraczała jednak granicy zakresu bezpiecznego w żywieniu zwierząt, tj. $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ (127). Stosowaną w doświadczeniach dawkę Mo można zatem uznać za bezpieczną. Charakterystyczny jest pewien spadek zawartości Mo obserwowany zarówno w glebie, jak i w roślinach w obiekcie [Σ], co wiązać można z antagonistycznym oddziaływaniem innych mikroelementów stosowanych kompleksowo w tym obiekcie na przyswajalność i pobieranie Mo przez rośliny np. Mn, Cu, a przede wszystkim siarki (70, 99) – Cu, Mn i Zn stosowano w formie siarczanowej. Antagonistyczne oddziaływanie siarczanów w odniesieniu do molibdenu stwierdzili w doświadczeniach polowych Sikora (111) oraz Gupta i MacLeod (cyt. za 123).

Z uwagi na znaczną skalę zmian zawartości molibdenu, korelacja Mo gleba/Mo roślina dotyczyła tylko części wskaźnikowych ($r = 0,28^*$).

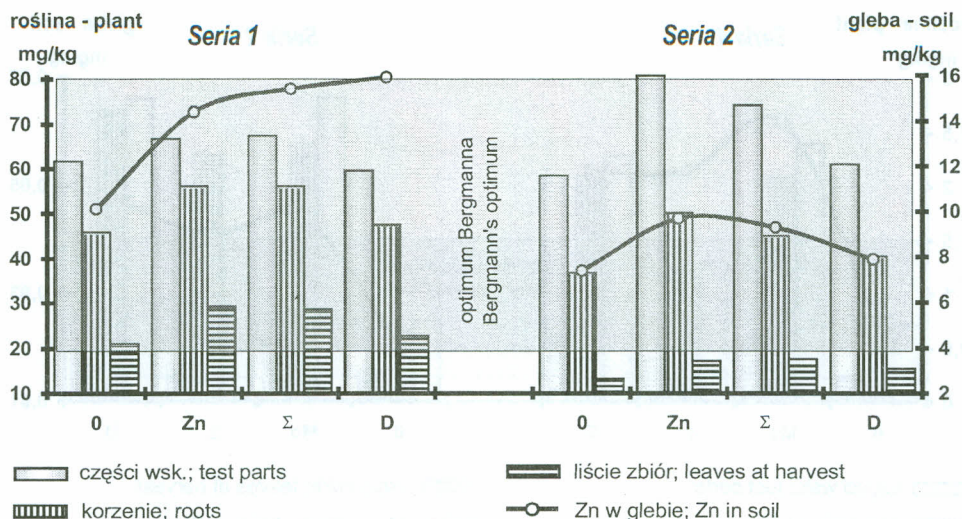


Rys. 34. Zmiany zawartości molibdenu w roślinach buraka i w glebie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem
Changes of molybdenum concentration in sugar beet and in soil under molybdenum fertilization

Tylko nieliczni autorzy donoszą o plonotwórczym działaniu cynku w uprawach buraka cukrowego. Według Szukalskiego (122) średni (z 27 doświadczeń) efekt plonotwórczy cynku był podobny do działania miedzi i molibdenu i wynosił około 4,4%. Znacznie większe zwwyżki plonów korzeni buraka odmiany PN Mono 1 (w zakresie 8,8–12,8%) pod wpływem działania następczego cynku zastosowanego pod kukurydzę w zmianowaniu otrzymał Faber (38). Wyniki badań Gezgina i in. (51) oraz Stojanova i in. (118) wskazują na dobre rezultaty łącznego stosowania Zn i B pod buraki.

W badaniach własnych, wobec dostatecznego zaopatrzenia gleb doświadczalnych z obu serii w cynk rozpuszczalny, rachunek analizy wariancji nie wykazał istotnej reakcji plonów buraka na nawożenie tym mikroskładnikiem (rys. 35, tab. 21). Nawożenie obornikiem (seria 1) zaspokajało potrzeby roślin buraka cukrowego odnośnie Zn, a skutkiem nawożenia tym mikroelementem był dalszy wzrost jego udziału w glebie i w roślinach (rys. 35). Wyjątek stanowiły przypadki głębszego niedostatku tego składnika w glebie, nawet gdy stosowano obornik (Antopol 2 – zwwyżka plonów korzeni o 7,4%, liści o 15,0%; Dobrogostów 4 – zwwyżka plonów liści o 7,0%).

Brak nawożenia organicznego oraz wzrost pobrania z większymi plonami w serii 2 stworzyły mniej korzystną sytuację pod tym względem. Nawożenie cynkiem wprawdzie zwiększyło jego zawartość w tkankach blaszek liściowych w okre-



Rys. 35. Zmiany zawartości cynku w roślinach buraka i w glebie pod wpływem nawożenia tym pierwiastkiem
 Changes of zinc concentration in sugar beet and in soil under zinc fertilization

sie wegetacji w większym stopniu niż w serii 1, jednak zaopatrzenie plonów końcowych było już słabsze (rys. 35). Niższe niż w serii 1 zawartości Zn w plonach końcowych buraka w serii 2 wiązać można z wyższym pH oraz lepszym zaopatrzeniem w fosfor gleb serii 2. Czynniki te obniżają fitoprzyswajalność cynku (43, 90, 115, 127). Potwierdzają to tendencje spadkowe zawartości Zn w największych plonach (obiekt [D]), gdzie cynku nie stosowano.

Zależności te były niewątpliwie przyczyną braku pozytywnych korelacji pomiędzy zawartością rozpuszczalnego Zn w glebie a jego koncentracją w buraku w badaniach Spiak i Walla (116) przeprowadzonych w nieco odmiennych warunkach pól produkcyjnych Dolnego Śląska. Stwierdzone negatywne zależności korelacyjne dotyczące zawartości Zn w glebie i w częściach wskaźnikowych ($r = -0,32^{**}$) oraz w glebie i liściach przy zbiorze ($r = -0,30^{**}$) świadczą o roli innych czynników w pobieraniu Zn przez rośliny.

Tendencje spadkowe zawartości Zn w największych plonach w obiekcie [D], w którym cynk nie był stosowany, wskazują na pewne niedostatki tego mikroelementu i występujący tam efekt „rozcieńczenia”. Potrzeby nawożenia cynkiem należy spodziewać się w pierwszej kolejności w warunkach upraw wysoko plonujących, na glebach zasobnych w fosfor i o wysokim pH. Decyzję o nawożeniu tym mikroelementem uzależnić należy od wyników diagnostyki glebowo-roślinnej.

W tabeli 23 porównano pobranie pięciu badanych mikroskładników przez plony buraka cukrowego (liście + korzenie) w obiektach, w których stosowano pojedyn-

Tabela 23

Pobranie z plonami buraka cukrowego i wykorzystanie mikroelementów z nawozów
Micronutrient uptake and utilization by sugar beet yields

Obiekt Treatment	B	Cu	Mn	Mo	Zn
	g·ha ⁻¹				
Seria 1 – nawożenie obornikiem; Series 1 – farmyard manure application					
0	605	74	817	6,7	492
P ^{1/}	810 (10,2) ^{2/}	91 (0,2)	921 (5,2)	19,3 (3,2)	668 (2,2)
Σ	790 (9,2)	86 (0,15)	922 (5,2)	11,6 (1,2)	667 (2,2)
D	781	87	873	19,1	543
Seria 2 – uprawa bezobornikowa; Series 2 – without manure					
0	1033	101	809	11,0	541
P ^{1/}	1320 (14,4)	117 (0,2)	1014 (10,2)	32,9 (5,5)	732 (2,4)
Σ	1367 (16,7)	119 (0,23)	1074 (13,2)	28,4 (4,4)	729 (2,4)
D	1429	123	965	34,0	658
Serie 1 i 2 – średnio; Series 1 and 2 – average					
0	819	87	813	8,8	516
P ^{1/}	1065 (12,3)	104 (0,2)	968 (7,8)	26,1 (4,3)	700 (2,3)
Σ	1070 (12,9)	102 (0,19)	998 (7,8)	20,0 (2,8)	699 (2,3)
D	1105	105	919	26,6	601

^{1/} obiekty z nawożeniem pojedynczymi mikroelementami; treatments with single micronutrient fertilization

^{2/} w nawiasach podano wykorzystanie składnika (%); nutrient utilisation in parentheses (%)

cze mikroelementy z ich pobraniem w obiekcie nawożonym kompleksowo [Σ] oraz w obiekcie, gdzie uzupełniano stwierdzone niedobory tych składników [D]. Dla obiektów nawożonych pojedynczymi mikroskładnikami (P) oraz dla obiektu [Σ] wyliczono również współczynniki wykorzystania mikroelementów z zastosowanych nawozów, oddzielnie dla każdej z serii oraz w ujęciu syntetycznym dla obu serii, tj. dla 12 doświadczeń łącznie.

We wszystkich przypadkach zastosowane nawożenie powodowało wzrost pobrania mikroelementów z plonami buraka. W warunkach niższej produktywności oraz nawożenia organicznego (seria 1) przeważały tendencje wyższego pobrania i wykorzystania w obiektach z pojedynczymi mikroelementami, natomiast w serii 2 (wyższa produktywność i brak nawożenia organicznego) wzrost zawartości (z wyjątkiem cynku) występował w większości w obiektach z nawożeniem kompleksowym [Σ] i/lub diagnozowanym [D]. W serii 2 najwyższe pobranie mikroelementów o kluczowym znaczeniu w uprawie buraka cukrowego (B, Cu i Mo) stwierdzono w obiekcie [D].

Pozwala to wnioskować o przewadze sposobu nawożenia tylko mikroelementami deficytowymi w glebie, w stosunku do ich stosowania kompleksowego (obiekt $[\Sigma]$), przy którym istnieje większe prawdopodobieństwo oddziaływania antagonizmów lub występowania nadmiernych ilości niektórych składników. Brak takich zależności w odniesieniu do Mn i Zn wynika zapewne z faktu, że nawożenie tymi składnikami w obiekcie [D] stosowano tylko w 3 z 12 doświadczeń (tab. 20). Opisane zależności potwierdza wyliczenie pobrania średniego dla dwu serii doświadczeń. Poziom pobrania mikroelementów w doświadczeniach koresponduje z podawanymi przez innych autorów (43, 89, 124).

Możliwość uzyskania lepszych efektów plonotwórczych pod wpływem kompleksowego nawożenia mikroelementami sygnalizowana była na podstawie doświadczeń krajowych przez Gutmańskiego (54) oraz Szukalskiego (122). Amerykański uczony Wallace (129, 130) na podstawie wyników licznych doświadczeń nad współdziałaniem składników pokarmowych sformułował prawo maksimum wskazujące na lepszy efekt plonotwórczy jednoczesnej, kompleksowej eliminacji czynników występujących w glebie w minimum w porównaniu do sumy efektów wyeliminowania każdego z tych czynników osobno.

Wyniki doświadczeń polowych dotyczące działania łącznego nawożenia wybranymi mikroelementami (w obiektach [D]) potwierdziły wnioski wynikające z doświadczeń vegetacyjnych opisanych w rozdziale 4.2.1. Zarówno w uprawie wg tradycyjnej technologii z udziałem obornika, jak również w uprawie bezobornikowej, największe plony korzeni uzyskiwano w obiektach z kombinacją mikroelementów wytypowanych na podstawie analizy gleby [D]. Przewaga koncepcji nawożenia diagnozowanego mikroelementami w tym obiekcie w stosunku do obiektu $[\Sigma]$ związana jest ze zdolnością zaopatrywania roślin buraka w te składniki. Depresje koncentracji B, Cu, Mn i Mo w roślinach buraka w obiektach z kompleksowym nawożeniem pięcioma mikroelementami $[\Sigma]$ widoczne na rysunkach 31–34 wiązać należy z ujawniającymi się w tych warunkach antagonizmami. Potwierdzają to wyliczenia ilości mikroelementów pobranych z plonami buraka z poszczególnych obiektów nawozowych, które wskazują, że przy uprawie bezobornikowej i stosunkowo wysokich plonach buraka rośliny pobierały najwięcej boru, miedzi i molibdenu w obiekcie [D]. Ważny jest również aspekt ekonomiczny – tańsze jest stosowanie tylko składników niedoborowych, a więc niezbędnych i najlepiej wykorzystywanych. Pomimo sygnalizowanej w literaturze i potwierdzonej w pracy niedoskonałości glebowych kryteriów diagnostycznych, zwłaszcza w odniesieniu do zawartości w glebie boru rozpuszczalnego, możliwe okazało się konstruowanie na ich podstawie skutecznych pod względem plonotwórczym kombinacji mikroelementów w wariantach [D]. Pozytywną reakcję plonów buraka na mikroelementy wyznaczone jako niedoborowe poprzez analizę glebową można również wiązać z faktem, że był on (obok pszenicy i koniczyny), jedną z roślin wskaźnikowych przy opracowaniu aktualnych (stosowanych w prezentowanych badaniach) liczb granicznych do oceny zaopatrzenia gleb w mikroelementy (47).

W wyniku poszukiwania zależności funkcyjnych pomiędzy poziomem plonowania buraka a zaopatrzeniem gleby i roślin w mikroelementy w warunkach przeprowadzonych doświadczeń uzyskano następujące równania regresji wielokrotnej:

– uwzględniając zawartość składników mineralnych i niektóre właściwości fizykochemiczne gleby wobec plonów korzeni buraka jako zmiennej zależnej „y”:

$$y = 31,221 + 0,194 F_s + 0,755 B - 0,028 Mn; \quad R^2 = 0,67 \quad [1]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

B, Mn – zawartość składnika ($mg \cdot kg^{-1}$ gleby),

F_s – udział frakcji $< 0,02$ mm (%),

– uwzględniając zawartość składników mineralnych w częściach wskaźnikowych buraka wobec plonów korzeni jako zmiennej zależnej „y”:

$$y = 21,072 + 59,994 Mg + 0,043 B + 0,469 Zn - 0,384 Mn; \quad R^2 = 0,68 \quad [2]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

B, Zn, Mn, Mg – zawartość składnika w suchej masie części wskaźnikowych buraka

(B, Zn, Mn – $mg \cdot kg^{-1}$, Mg – %),

– uwzględniając zawartość składników mineralnych w korzeniach wobec plonów korzeni buraka jako zmiennej zależnej „y”:

$$y = 33,794 + 0,051 N + 0,494 Cu + 6,348 Mo - 0,041 Mn; \quad R^2 = 0,63 \quad [3]$$

gdzie: y – plon korzeni ($t \cdot ha^{-1}$),

Cu, Mo, B, Mn, N – zawartość składnika w suchej masie korzeni (Cu, Mo, B, Mn – $mg \cdot kg^{-1}$, N – %);

– uwzględniając zawartość składników w liściach (zbiór), wobec plonów liści buraka jako zmiennej zależnej „y”:

$$y = -3,904 + 0,218 B + 7,579 K; \quad R^2 = 0,63 \quad [4]$$

gdzie: y – plon liści ($t \cdot ha^{-1}$),

B, K – zawartość składnika w suchej masie liści buraka (B – $mg \cdot kg^{-1}$, K – %).

Wartości współczynników determinacji (R^2) równań nr 1–4 w zakresie 0,63–0,68 świadczą o dobrym dopasowaniu uzyskanych modeli regresji. Mogą one więc mieć znaczenie praktyczne w prognozowaniu plonów na podstawie analizy gleby i roślin. O poziomie uzyskiwanych plonów korzeni w dużym stopniu decydował skład granulometryczny gleby (udział frakcji spławialnej) oraz zawartość w niej boru przyswajalnego. Gleby, na których uzyskiwano największe plony cechował jednak pewien niedobór manganu związany z dość wysoką wartością pH. Warunkiem uzyskania dużych plonów było dobre zaopatrzenie liści buraka w okresie wegetacji w magnez, bor i cynk. Plony końcowe buraka zwiększały się wraz z poprawą zaopatrzenia w makroelementy – azot (korzenie) i potas (liście), a także w miedź, molibden i bor, co wskazuje na znaczenie tych składników w osiąganiu wysokich plonów buraka cukrowego. Mniej istotne statystycznie poprawki w uzyskanych równaniach – Mn ze znakiem ujemnym – świadczą zapewne o ujawnia-

jącym się w niektórych doświadczeniach efekcie rozcieńczenia tego składnika w dużej masie plonu, w warunkach odczynu gleby zbliżonego do obojętnego.

Przyjmując cukrowość korzeni jako zmienną zależną „y”, wobec zawartości składników w korzeniach buraka uzyskano następujący model równania:

$$y = 13,930 + 0,011 B + 1,573 Mo + 16,567 Ca; \quad R^2 = 0,70 \quad [5]$$

gdzie: y – zawartość cukru w korzeniach (%),

B, Mo, Ca – zawartość składnika w suchej masie korzeni buraka (B, Mo – $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, Ca – %).

Z równania [5] wynika, że zmienność cukrowości korzeni buraka w doświadczeniach w 70% zależała od zaopatrzenia korzeni w bor, molibden oraz wapń. Potwierdza to przedstawione wcześniej wyniki świadczące, że najwyższa zawartość cukru w korzeniach buraka występowała w obiektach doświadczeń z nawożeniem borem i molibdenem (rys. 27, 30).

Potwierdzone rachunkiem regresji znaczenie plonotwórcze boru, manganu i miedzi w żywieniu buraka cukrowego jest stosunkowo dobrze rozpoznane i udokumentowane wynikami licznych prac (1, 5, 14, 32, 80, 86, 97, 131). Mniej jednoznaczne są natomiast poglądy na temat wpływu molibdenu, którego zawartość w roślinach buraka występowała dość często w uzyskanych równaniach jako zmienna niezależna ze znakiem dodatnim na wysokim poziomie istotności. Pozytywne działanie tego pierwiastka dotyczyło nie tylko plonów korzeni, lecz zwłaszcza ich cukrowości, a więc i plonów cukru. Potwierdzają to wyniki badań Krauze i in. (78) oraz Fabera (38), którzy w doświadczeniach ścisłych uzyskiwali przyrosty plonu buraka pod wpływem nawożenia tym mikroskładnikiem.

W obu seriach doświadczeń odnotowano duży (o 0,6%) wzrost cukrowości korzeni w obiektach [Mo], w wyniku czego uzyskano wysokie plony cukru biologicznego w tych obiektach, w serii 2 dorównujące plonom cukru z obiektów [B], [Mn], [Σ] i [D] o najwyższych plonach korzeni. W świetle tych wyników wydaje się, że zagadnienie znaczenia molibdenu w formowaniu plonów i cukrowości mieszańcowych odmian jednonasiennych buraka nie jest właściwie rozpoznane i celowe byłoby jego wyjaśnienie w oddzielnych badaniach.

Opisane zmiany zawartości cukru i poziomu jego plonów pod wpływem nawożenia Mo zachodziły przy zawartości molibdenu w roślinach buraka znacznie przekraczającej górną granicę optimum, tj. $1,5 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy części wskaźnikowych i zbliżały się do wartości $3,0 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$. Była to więc według stosowanego testu, strefa luksusowego odżywienia molibdenem. Jednak korzystne zmiany ilościowo-jakościowe w plonach buraka oraz brak niebezpieczeństwa przekroczenia stężenia $5,0\text{--}10 \text{ mg Mo} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. określanego jako dopuszczalne w żywieniu była i owiec (127) stwarzają podstawy do oceny zakresu optimum Bergmanna (7) jako zbyt ostrożnego. W oparciu o przedstawione wyniki badań własnych wnioskować można o celowości skorygowania górnego pułapu przyjętego zakresu zawartości optymalnej w częściach wskaźnikowych. Jako bardziej miarodajny należałoby przyjąć przedział wyznaczony przez Neuberta (cyt. za 9) – od 0,20 do

2,00 mg Mo·kg⁻¹. Zmiana taka wymagać będzie jednak zmodyfikowania kalibracji testu glebowego w oparciu o potrzeby pokarmowe buraka cukrowego w odniesieniu do tego składnika. Podobny wniosek w stosunku do metody Grigga zgłaszała już wcześniej Benedycka (3). W świetle powyższych wyników stosowaną w doświadczeniach dawkę molibdenu (0,4 kg·ha⁻¹) ocenić należy jako bezpieczną i ekonomicznie uzasadnioną.

Według Szkolnika (120) rola molibdenu w roślinie polega nie tylko na jego udziale w metabolizmie azotowym jako składnika reduktazy azotanowej i nitrogenazy, lecz z uwagi na zdolność tworzenia jonów o różnej wartościowości i łączenia się z różnymi substancjami jest doskonałym katalizatorem i może uczestniczyć w licznych procesach metabolicznych. Niedostatek tego mikroelementu może więc negatywnie oddziaływać również na syntezę cukrów. Wpływ molibdenu na syntezę cukrów może mieć również charakter pośredni poprzez interakcje z innymi pierwiastkami, np. z borem, na co wskazują Bonilla i in. (13).

W nielicznych badaniach polskich nad potrzebami nawożenia buraka cukrowego molibdenem uzyskiwano niekiedy istotne przyrosty plonów korzeni pod wpływem tego mikroelementu (38, 78). W doświadczeniach ścisłych polowych Wiśniewski (131) wykazał, że pobranie Mo przez rośliny buraka było istotnie skorelowane z zawartością cukru w korzeniach, przy czym silniejszą korelację tych cech stwierdzano dla odmian triploidalnych w porównaniu z diploidalnymi.

W doświadczeniach przeprowadzonych w Jugosławii Pantović i in. (100) pod wpływem nawożenia doglebowego Mo uzyskali przyrosty zawartości cukru w korzeniach buraka w zakresie od 0,77% do 1,25%, w zależności od typu gleby. Według Burkina (16) molibden można zaliczyć do ważniejszych czynników wpływających na zawartość cukru w korzeniach buraka. Autor ten przytacza wyniki wcześniejszych prac: Jensena i Andersona, którzy nawożąc molibdenem, niezależnie od wzrostu plonów, uzyskali przyrost cukru z 15,2 do 16,8%, oraz Kiedrowa-Zichmana i Rozenberga, którzy na glebach darniowo-bielicowych stwierdzili wzrost plonu korzeni w zakresie 14–16% oraz cukrowości o 0,9% pod wpływem tego czynnika.

Zgodnie z hipotezą roboczą prezentowanych badań, wyniki uzyskane w 1. etapie (rozdział 4.1) poddano w etapie 2. (rozdział 4.2) weryfikacji i szczegółowo przeanalizowano wpływ każdego z badanych mikroelementów oraz ich kombinacji dobranej według analizy diagnostycznej gleby (obiekt [D]) i stosowanych kompleksowo (obiekt [Σ]), w doświadczeniach ścisłych z nawożeniem mikroelementami. Celem takiego układu obiektów nawozowych była próba oceny obowiązujących liczb granicznych zawartości w glebie mikroelementów oraz potwierdzenia prawa maksimum. Wykonany podział (podsyntezy) doświadczeń serii 1 (uprawa na oborniku), na dwie grupy wg poziomu plonowania potwierdził notowaną między seriami lepszą reakcję plonów na nawożenie mikroelementami w grupie plonów większych. Wyniki te dotyczyły również plonów cukru biologicznego. Wskazują one, że brak istotnych reakcji plonów korzeni w serii 1, wykazany w analizie wa-

riancji dla syntezy, powodowany był przede wszystkim przez doświadczenia o niskich plonach oraz że nawożenie obornikiem nie pokrywało potrzeb mikroelementowych wysokoplonujących upraw buraka cukrowego.

Część opisanych zależności z doświadczeń ścisłych, które udało się ująć w zależność funkcyjną w postaci równań regresji wielokrotnej krokowej potwierdza plonotwórcze znaczenie mikroelementów. Modele tych równań o wysokich współczynnikach determinacji (R^2) w zakresie 0,63–0,70, pozwalają wnioskować, że o poziomie uzyskiwanych plonów korzeni w dużym stopniu decydował udział frakcji spławialnej w glebie i dostateczna zawartość boru rozpuszczalnego. Warunkiem uzyskania dużych plonów było dobre zaopatrzenie liści buraka w okresie wegetacji w magnez, bor i cynk. Plony końcowe buraka zwiększały się wraz z poprawą zaopatrzenia w najbardziej plonotwórcze składniki mineralne – azot (korzenie) i potas (liście), a także w miedź, molibden i bor, wskazujące na ich znaczenie w osiąganiu wysokich plonów buraka cukrowego. Zmienność cukrowości korzeni buraka w doświadczeniach związana była z poziomem ich zaopatrzenia w bor, molibden oraz wapń.

4.2.3. Efektywność ekonomiczna nawożenia buraka cukrowego mikroelementami

Efektywność ekonomiczną badanego w doświadczeniach polowych nawożenia mikroelementami określono poprzez wyliczenie zysku wynikającego ze zwwyżek plonów korzeni i cukru przypadającego na 1 zł kosztów zastosowania soli mikroelementowych. Do wyliczeń przyjęto ceny skupu korzeni buraka cukrowego stosowane przez Cukrownię Wrocław S.A. w kampanii cukrowniczej 2000 r., ceny hurtowe cukru w połowie roku 2001 oraz ceny soli technicznych w Przedsiębiorstwie Handlu Chemikaliami „Chemia-Wrocław”. Wyliczenia wykonano dla ceny skupu korzeni buraka w kwocie A, osobno dla serii 1 i 2 doświadczeń, ze względu na różnice w reakcji plonów buraka na stosowane nawożenie mikroelementami między seriami, a zatem i różną efektywność.

Efektywność wyliczono dla cechującego się dobrymi efektami plonotwórczymi wariantu nawożenia mikroelementami w obiekcie [D], w doświadczeniach polowych, uwzględniając koszt łącznego zastosowania trzech najbardziej deficytowych w polskich warunkach mikroelementów, tj. boru, miedzi i molibdenu. Koszt ten odnoszono do wartości (w zł) zwwyżek plonu korzeni oraz cukru – maksymalnych i średnich (dane z syntezy), uzyskanych w tych obiektach.

Z uwagi na znaczne zróżnicowanie cen i ilości stosowanych soli mikroelementowych oraz zmienność reakcji plonów na badane nawożenie, trudno jest jednoznacznie określić jego efekty ekonomiczne. Przedstawiony przykład można uważać za przypadek o efektywności średniej. Opłacalność zabiegu zależy dość wyraźnie od ilości zastosowanych mikroelementów lub od składu ich kombinacji w obiekcie [D] (na przykład około 3/4 wyliczonych kosztów stosowania mikroelementów na obiekcie [D] to koszt $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

Uzyskane w doświadczeniach statystycznie udowodnione zwwyżki plonowania korzeni buraka wynosiły:

Seria 1 (na oborniku): $5,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (maksymalna); $2,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnia)

Seria 2 (uprawa bezobornikowa): $11,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (maksymalna); $5,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnia)

Zwwyżki plonów biologicznych cukru wynosiły:

Seria 1: $1,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (maksymalna); $0,8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnia)

Seria 2: $1,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (maksymalna); $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (średnia)

Wyliczone na podstawie przedstawionych danych efekty ekonomiczne nawożenia mikroelementami wynoszą (zysk w złotych na 1 zł zainwestowany):

Korzenie:

Seria 1: 3,15 (maksymalny); 1,60 (średni)

Seria 2: 6,25 (maksymalny); 3,15 (średni)

Cukier:

Seria 1: 11,33 (maksymalny); 9,06 (średni)

Seria 2: 19,26 (maksymalny); 13,60 (średni)

Jest oczywiste, że zarówno o efektywności ekonomicznej badanego nawożenia mikroelementami, jak i o opłacalności uprawy buraka cukrowego w ogóle, decydują ceny na rynku cukrowniczym i ulegać one mogą wahaniom w zależności od koniunktury. Jednak wyliczone efekty ekonomiczne stosowanych w doświadczeniach dawek soli mikroelementowych, nawet przy stosunkowo niskich cenach skupu surowca buraczanego z ostatniej kampanii, wskazują na możliwość uzyskania wysokiej opłacalności tego zabiegu, zwłaszcza w sytuacji braku nawożenia organicznego, co musi być uwzględniane perspektywicznie z uwagi na zmniejszającą się systematycznie produkcję obornika w kraju.

5. WERYFIKACJA LICZB GRANICZNYCH DO OCENY ZASOBNOŚCI GLEB W BOR EKSTRAHOWANY $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$

W badaniach na polach produkcyjnych a także w doświadczeniach ścisłych przeprowadzonych w ramach prezentowanej pracy stwierdzano bardzo duże zakresy deficytu boru glebowego rozpuszczalnego w $1 \text{ mol HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$, które znajdowały tylko częściowe odzwierciedlenie w zbyt niskich koncentracjach tego składnika w roślinach buraka. Również oczekiwana w takiej sytuacji reakcja plonów na nawożenie borem występowała w mniejszym zakresie i dotyczyła przeważnie stanowisk, gdzie osiągano najwyższe plony. Częstotliwość występowania deficytu boru w glebie, budząca coraz częściej wątpliwości co do przydatności diagnostycznej kryteriów oceny zaopatrzenia gleb w ten mikroelement (38, 45, 52, 134), sugerowała celowość sprawdzenia, na ile niedostatki te wynikają z faktycznych braków boru w środowisku glebowym oraz w jakim stopniu mogą być wykazywane wskutek zbyt rygorystycznej kalibracji testu glebowego. Dysponując stosunkowo liczną kolekcją danych analitycznych podjęto próbę opracowania nowych liczb

granicznych zawartości w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³, uwzględniając okoliczność, że aktualnie obowiązujące zakresy zawartości B zostały opracowane przy użyciu buraka cukrowego jako rośliny testowej w związku z jego dużymi potrzebami pokarmowymi i dużą wrażliwością na niedobór tego mikroelementu (47, 117). W tym celu badano zależności funkcyjne występujące pomiędzy zawartością boru przyswajalnego w glebie i w roślinach (części wskaźnikowe). Ponieważ nie stwierdzano prostych zależności korelacyjnych pomiędzy zawartością boru przyswajalnego w glebie (B_G) a jego zawartością w roślinach (B_R), do obliczeń zastosowano rachunek regresji wielokrotnej krokowej (stepwise) uwzględniający inne cechy gleby, mogące wpływać na przyswajalność boru (pH, skład granulometryczny, zawartość substancji organicznej) jako zmienne niezależne. Jako zmiennej zależnej w obliczeniach użyto stosunku zawartości boru w roślinie (B_R) do zawartości jego rozpuszczalnej formy w glebie (B_G). Iloraz ten wyrażający relację obu zmiennych traktowany jest przez niektórych autorów jako roboczy wskaźnik dostępności składnika, a poprzez jego zastosowanie w obliczeniach, tj. włączenie do rachunku regresji obu podstawowych zmiennych (B_R i B_G) jednocześnie, uzyskuje się zazwyczaj lepsze efekty niż przy użyciu jednej z nich (47).

Obliczenia wykonywano kolejno:

- dla danych analitycznych ze 115 pól produkcyjnych (115 analiz gleby + 115 analiz roślin);
- dla danych ze 120 obiektów nawozowych z doświadczeń ścisłych polowych (120 analiz gleby + 120 analiz roślin);
- dla zbioru danych uzyskanego po połączeniu wymienionych populacji wyników – łącznie 235 danych dotyczących gleb + 235 wyników analiz roślin buraka cukrowego.

Danych z doświadczeń wazonowych i mikropoletkowych w obliczeniach tych nie uwzględniono. Uzyskano odpowiednio równania o współczynnikach determinacji (R^2): 0,438; 0,466; 0,482.

Z uwagi na najwyższą wartość R^2 uzyskaną dla modelu równania wyliczonego z najbardziej liczного zbioru danych, reprezentującego zarówno pola produkcyjne, jak i doświadczenia ścisłe, wybrano go do dalszych obliczeń. Równanie to ma następującą postać:

$$\frac{B_R}{B_G} = 93,828 + 11,704 \text{pH} - 2,491(\text{pH})^2 - 0,815 F_s ; \quad R^2 = 0,482$$

gdzie: B_R – zawartość boru w częściach wskaźnikowych buraka (mg B·kg⁻¹ suchej masy)

B_G – zawartość w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol·dm⁻³ HCl (mg B·kg⁻¹ gleby),

pH – w 1 mol·KCl dm⁻³,

F_s – procentowa zawartość w glebie frakcji < 0,02 mm.

Po przekształceniu równanie można było wykorzystać do wyliczenia nowych liczb granicznych zawartości rozpuszczalnego boru w glebie, poprzez podstawienie granicznych dla zakresu optymalnego wg Bergmanna (7) zawartości boru w roślinie (tj. $B_R = 40$; $B_R = 100 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy części wskaźnikowych).

$$B_G = \frac{B_R}{93,828 + 11,704 \text{ pH} - 2,491 (\text{pH})^2 - 0,815 F_s}$$

Liczby takie opracowane przy zastosowaniu powyższej formuły zamieszczono w tabeli 24.

Tabela 24

Liczby graniczne do oceny zasobności gleby w bor rozpuszczalny w 1 mol HCl·dm⁻³
Critical values for evaluation of boron extractable in 1 mol HCl·dm⁻³ of soil

Ocena zawartości boru Boron content evaluation	Zawartość boru przyswajalnego w glebie Available boron concentration in soil (mg B·kg ⁻¹)			
	pH (1 mol KCl·dm ⁻³)			
	do 4,5	4,6–5,5	5,6–6,5	od 6,6
Gleby lekkie; Light soils				
Niska; Low	< 0,45	< 0,51	< 0,65	< 0,98
Średnia; Mean	0,45–1,11	0,51–1,28	0,65–1,60	0,98–2,44
Wysoka; High	> 1,11	> 1,28	> 1,60	> 2,44
Gleby średnie; Medium soils				
Niska; Low	< 0,51	< 0,59	< 0,77	< 1,32
Średnia; Mean	0,51–1,28	0,59–1,48	0,77–1,92	1,32–3,31
Wysoka; High	> 1,28	> 1,48	> 1,92	> 3,31
Gleby ciężkie; Heavy soils				
Niska; Low	< 0,66	< 0,80	< 1,16	< 3,28
Średnia; Mean	0,66–1,65	0,80–2,00	1,16–2,91	3,28–8,20
Wysoka; High	> 1,65	> 2,00	> 2,91	> 8,20

Utworzony model regresji uzależnia zawartość boru przyswajalnego od odczynu gleby oraz zawiera poprawkę w postaci zawartości frakcji spławialnej (F_s) o mniej istotnym współczynniku. Oznacza to potrzebę wyznaczenia odrębnych liczb granicznych nie tylko dla poszczególnych klas odczynu, lecz także dla kategorii agronomicznych gleb.

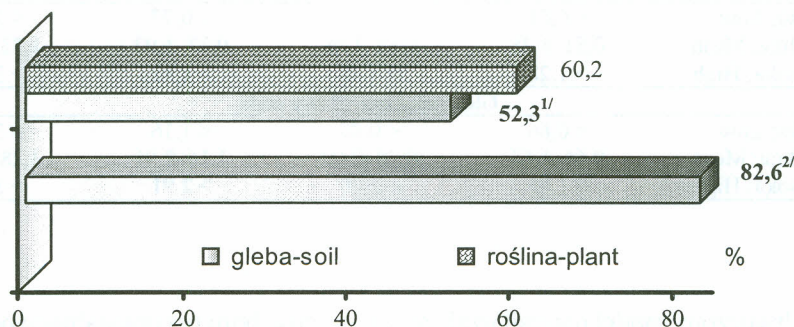
Przedstawione w tabeli 24 liczby graniczne boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³ zostały opracowane dla buraka jako rośliny testowej, uprawianego w warunkach odpowiednich dla wymagań tej rośliny, głównie na glebach średnich i ciężkich i w zasadzie odnoszą się wyłącznie do tego zakresu. Podobnie jak

w przypadku stosowanych od 1986 liczb granicznych, istnieje jednak możliwość rozszerzenia ich na pozostałe kategorie agronomiczne gleb korzystając z podanej formuły i adaptowania do celów ogólnych, tj. do oceny zasobności gleb w bor na polach innych roślin.

W tabeli 24 podano liczby graniczne wyliczone dla kategorii gleb ciężkich, średnich i lekkich. Dla celów praktycznych należy rozważyć możliwość uproszczenia tabeli, na przykład poprzez ewentualne połączenie niektórych kategorii agronomicznych.

Dysponując nowymi kryteriami do oceny zasobności gleby w bor, ponownie wyceniono częstotliwość występowania deficytów tego składnika na polach produkcyjnych. Uzyskany wynik (udział próbek o niskiej zawartości boru) wyniósł tym razem 52,3% (wobec 82,6% próbek deficytowych według określenia poprzedniego, przy użyciu liczb dotychczas stosowanych). W zestawieniu z częstotliwością niedoboru B w roślinach 60,2%, relację taką uznać można za prawidłową uwzględniając szczególnie wysokie potrzeby buraka w odniesieniu do boru (rys. 36).

W świetle nowych liczb granicznych uzasadniony staje się brak reakcji plonów korzeni na nawożenie borem w 50% doświadczeń ścisłych polowych, których gleby okazały się przeważnie średnio zasobne w bor. Szereg obrazujący liczbę doświadczeń z niedoborami poszczególnych mikroelementów (indeks < 100) w serii 1 przybiera obecnie następującą postać: Mo(5) > B(4) = Cu(4) > Zn(3) > Mn(1).



^{1/} częstotliwość niedoboru B w glebie wg zmodyfikowanych liczb granicznych
frequency of the soil B deficiency acc. to modified critical values

^{2/} częstotliwość niedoboru B w glebie wg dotychczasowych liczb granicznych
frequency of the soil B deficiency acc. to current critical values

Rys. 36. Częstotliwość deficytu boru w glebie pól produkcyjnych określona według zmodyfikowanych oraz dotychczasowych liczb granicznych
Frequency of soil boron deficiency in farm fields determined according to the modified and currently used critical values

Wynika stąd, że niedobory poszczególnych mikroelementów występowały w glebach pól doświadczalnych z podobną częstotliwością z wyjątkiem manganu, którego zawartość w glebach z pewnością poprawiło nawożenie organiczne. Czołowe miejsce zajmuje teraz molibden, co ujawniło się w przedstawionych w pracy wynikach nawożenia tym składnikiem.

Przedstawione wyniki wyceny zawartości rozpuszczalnego boru w glebie według zmodyfikowanych kryteriów potwierdzają ich dobrą przydatność diagnostyczną. Pomimo wykonanej na ich podstawie korekty skali występowania deficytu boru w glebie, problem potrzeb nawożenia tym mikroelementem w uprawach buraka cukrowego pozostaje jednak nadal istotny. Aktualność tych zagadnień, zwłaszcza w odniesieniu do warunków intensyfikacji uprawy, podkreśla analiza roślinna, a także wyniki plonowania potwierdzone analizą statystyczną.

Literatura światowa wskazuje, że deficyt boru dotyczy większej liczby gatunków roślin uprawnych i szerszego zakresu warunków klimatycznych niż jakiegokolwiek innego mikroelementu (73, 90, 110). Właściwe zaopatrzenie płodów rolnych w bor ma również znaczenie z żywieniowego punktu widzenia – wyniki badań amerykańskich z ostatnich lat wskazują na ważne funkcje tego pierwiastka w organizmach ludzi i zwierząt (95).

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

1. Wyniki badań uzyskane ze 115 pól produkcyjnych buraka cukrowego wykazały występowanie niedoboru mikroelementów w glebach oraz niskich ich zawartości w roślinach. Niedobory mikroelementów w glebach, określone za pomocą istniejących kryteriów, można uszeregować następująco (w nawiasach % badanych pól): $B(82,6) > Cu(27,8) > Fe(20,9) > Zn(13,2) > Mo(12,2) > Mn(2,6)$, a w uprawianych na tych glebach roślinach buraka cukrowego: $B(60,2) > Cu(21,4) > Mo(13,5) > Mn(8,4) > Zn(3,5) > Fe(0,9)$. Wzrost poziomu nawożenia NPK i związany z tym wzrost plonów buraka w doświadczeniach połowych obniżył koncentrację boru, miedzi, molibdenu i żelaza w roślinach.

2. Przeprowadzone badania wykazały korzystne działanie nawożenia mikroelementami na plonowanie buraka cukrowego. Wpływ ten stwierdzano najczęściej w uprawach roślin wysokoplonujących pod wpływem kombinacji mikroelementów deficytowych według diagnostyki glebowej (obiekt nawozowy [D]). Sporadyczność występowania reakcji roślin gorzej plonujących na nawożenie mikroelementami oznacza, że zasobność gleb w wystarczającym stopniu zaspokajała potrzeby pokarmowe buraka cukrowego w stosunku do tych składników. Nie stwierdzono spadku plonu buraka pod wpływem stosowanego nawożenia mikroelementami.

3. Wykazano wysoką efektywność ekonomiczną stosowanych w doświadczeniach dawek mikroelementów (w $kg \cdot ha^{-1}$): boru (2,0), miedzi (8,0), manganu (2,0),

molibdenu (0,4) i cynku (8,0). Wariant nawozowy (B+Cu+Mo) + obornik spowodował przyrost plonu korzeni o wartości 3,15 zł na 1 zł zainwestowany. W uprawach bezobornikowych efektywność nawożenia mikroelementami zwiększyła się dwukrotnie. Dawki te można zatem zalecać do stosowania w praktyce rolniczej. Pewien wyjątek stanowi bor, którego dawkę na glebach obojętnych lub alkalicznych należy zwiększyć do 2,5–3,0 kg·ha⁻¹.

4. Najważniejszymi mikroelementami w żywieniu buraka cukrowego w świetle stwierdzonych w glebach niedoborów, niskich zawartości w roślinach oraz wykazanego działania nawozowego są bor, miedź i molibden. Niedobory manganu, cynku i żelaza w glebach pól buraka cukrowego występują rzadziej i zależą od ich odczynu, zasobności w fosfor, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego i nawożenia organicznego. Uprawa bezobornikowa oraz odczyn gleby zbliżony do obojętnego, ograniczający fitodostępność mikroelementów stwarzają niebezpieczeństwo powstawania ich niedoborów, zwłaszcza manganu, a zatem również konieczność odpowiedniego nawożenia tymi pierwiastkami.

5. Wykazana w doświadczeniach pozytywna reakcja buraka cukrowego na nawożenie borem nawet w warunkach optymalnego zaopatrzenia roślin w ten pierwiastek wskazuje na wyższe wymagania pokarmowe wysokowydajnych, mieszańcowych odmian buraka i narzuca potrzebę podwyższenia o około 10 mg·kg⁻¹ granic przedziału zawartości optymalnej boru w częściach wskaźnikowych buraka, zaproponowanego przez Bergmanna (7).

6. Stwierdzany w badaniach pozytywny wpływ nawożenia molibdenem na cukrowość i plonowanie buraka przy równoczesnym wzroście koncentracji tego pierwiastka w roślinach do poziomu znacznie przekraczającego zakres optymalny określony przez Bergmanna (7), wskazuje na potrzebę podjęcia badań nad korektą kryteriów oceny zawartości Mo w glebie i w roślinie, w aspekcie dostosowania ich do wysokich wymagań pokarmowych mieszańcowych odmian buraka cukrowego. Na podstawie wyników badań własnych, do tymczasowej oceny zaopatrzenia buraka w molibden proponuje się przyjęcie przedziału wyznaczonego przez Neuberta i in. (cyt. za 9): 0,20–2,00 mg Mo·kg⁻¹ suchej masy części wskaźnikowych.

7. W przeprowadzonych badaniach stwierdzano obniżanie się zawartości miedzi w roślinach buraka cukrowego wraz ze wzrostem plonu, często do wartości niedoborowych. Z uwagi na plonotwórczy wpływ miedzi i jej znaczenie w żywieniu zwierząt konieczne jest diagnozowanie niedoborów Cu w glebie i odpowiednie nawożenie tym składnikiem, zwłaszcza w warunkach intensywnej uprawy buraka.

8. Nawożenie organiczne w większości pokrywa zapotrzebowanie na mikroelementy przeciętnie plonującego buraka cukrowego. W warunkach uprawy wysokoplonujących odmian buraka cukrowego obornik stosowany w dawce 30 t·ha⁻¹ nie zaspokaja jednak w pełni potrzeb pokarmowych roślin w odniesieniu do mikroelementów, a nawożenie tymi pierwiastkami z reguły zwiększa plonowanie.

9. Przeprowadzone badania potwierdziły potrzebę weryfikacji liczb granicznych zawartości w glebie boru rozpuszczalnego w 1 mol HCl·dm⁻³. Wykorzystując zbiory wyników analiz 235 gleb i 235 roślin buraka cukrowego opracowano nowe liczby graniczne, które jak wykazały przeprowadzone testy, lepiej określają stan zaopatrzenia gleb w bor przyswajalny dla roślin niż kryteria dotychczas stosowane.

LITERATURA

1. Allison M., Last P., Bean K.: Responses of sugar beet (*Beta vulgaris*) to foliar sprays of copper. *J. Sci. Food Agric.*, 1996, **72**(2): 219-225.
2. Barszczak T.: Zawartość boru łatwo rozpuszczalnego w glebie w zależności od długoletniego wapnowania. *Rocz. Glebozn.*, 1972, 75-88.
3. Benedycka Z.: Studia nad działaniem nawozowym molibdenu. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1988, *Agricultura* 45, Suppl., A, 1-52.
4. Benedycka Z., Krauze A.: Badanie efektywności nawożenia mikroelementami w zmianowaniu. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1988, *Agricultura*, **45**: 43-51.
5. Benedycka Z., Krauze A., Bowszys T.: Następczy wpływ nawożenia borem. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1986, *Agricultura*, **43**: 51-56.
6. Benedycka Z., Krauze A., Bowszys T.: Reakcja bobiku na następce działanie nawożenia borem w zmianowaniu. *Mat. Symp.: „Rola nawożenia w podniesieniu produktywności i żyzności gleb”*. Olsztyn, 1988, **II**: 169-174.
7. Bergmann W.: *Bemerkungen und Tabellen zur analytischen Pflanzendiagnose der Pflanzen oder Blattanalyse*, VEB Fischer Verlag, Jena, 1986.
8. Bergmann W.: *Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Visuelle und analytische Diagnose*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1986.
9. Bergmann W., Neubert P.: *Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1976.
10. Bobrzecka D.: Badania nad działaniem nawozowym miedzi w uprawie niektórych gatunków roślin. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1988, *Agricultura*, 46, sup. C.
11. Bobrzecka D., Krauze A.: Nawożenie miedzią w zmianowaniu. Cz. I. Wpływ miedzi na plonowanie, zawartość miedzi w roślinach oraz na efektywność nawożenia. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1989, *Agricultura*, **48**: 117-125.
12. Bobrzecka D., Krauze A.: Nawożenie miedzią w zmianowaniu. Cz. II. Pobranie i wykorzystanie miedzi przez rośliny oraz jej dynamika w glebie. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1989, *Agricultura*, **48**: 127-134.
13. Bonilla I., Cadahia O., Carpena O., Hernando V.: Effects of boron on nitrogen metabolism and sugar levels of sugar beet. *Plant Soil*, 1980, **57**(1): 3-9.
14. Bowszys T., Krauze A.: Działanie nawozowe boru w uprawie buraka cukrowego. *Acta Acad. Agric. Techn. Olst.*, 1995, *Agricultura*, **61**(496): 85-91.
15. Bravo S., Lee G., Schmehl W.: Effect of nitrogen fertilizer and planting date on seasonal concentrations and total content of five micronutrients in sugar beet. *J. Sugar Beet Res.*, 1992, **1-2**: 45-57.
16. Burkin I.: Znaczenie molibdenu w produkcji roślinnej. PWRiL Warszawa, 1976, 155-158.
17. Byszewski W.: Produkcyjność buraków w warunkach wysokiego poziomu chemizacji i mechanizacji. *Praca zbiorowa pod red. W. Byszewskiego: Biologia buraka cukrowego*. PWN Warszawa, 1979, 433-448.

18. Byszewski W., Ostrowska D.: *Agroekologiczne podstawy plonowania buraków*. Praca zbiorowa pod red. W. Byszewskiego: Biologia buraka cukrowego. PWN Warszawa, 1979, 412-432.
19. Castelo-Branco M.A., Serrao M.G., Fernandes M.L.: Foliar diagnosis of sugarbeet: mineral composition of leaves of different physiological age during the season. *Dev. Plant Soil Sci.*, 1993, **53**: 137-146.
20. Chmielewska B., Filipek T., Mazur J.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem na zawartość mikroelementów w glebie i buraku cukrowym. Cz. II. Mangan i żelazo. *Rocz. Nauk Rol.*, 1989, A, **108**: 111-122.
21. Curyło T.: Zawartość mikroelementów w burakach i rzepaku jako kryterium potrzeb nawożenia tymi składnikami. *Prace Komisji Naukowych PTG*, Warszawa, 1987, **99**: 34-43.
22. Czuba R.: Zmiany zawartości składników w roślinach uprawnych na terenie kraju w zależności od nawożenia. *Mat. Symp.*: „Wpływ nawożenia na jakość plonów”. Olsztyn, 1986, **1**: 34-42.
23. Czuba R.: Efekty dolistnego dokarmiania roślin uprawnych. Cz. II. Reakcja roślin na dolistne stosowanie mikroelementów i azotu łącznie z mikroelementami. *Rocz. Glebozn.*, 1994, **45(3-4)**: 79-87.
24. Czuba R.: Zmiany zasobności gleb kraju w trzydziestoleciu oraz eksperymentalna ocena systemów regeneracji nadmiernie wyczerpanych ich zasobów. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 1995, **421a**: 59-65.
25. Czuba R.: Celowość i możliwości uzupełniania niedoborów mikroelementów dla roślin. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 1996, **434(1)**: 55-64.
26. Czuba R.: Zasady stosowania nawozów mineralnych na gruntach ornych. Nawożenie mineralne roślin uprawnych. Praca zbiorowa pod red. R. Czuby. Zakłady Chemiczne Police, 1996, 85-174.
27. Czuba R.: Mikroelementy we współczesnych systemach nawożenia, *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471(2)**: 161-170.
28. Czuba R., Andruszczak E.: Zawartość mikroelementów w roślinach uprawnych w krajowej sieci gospodarstw kontrolnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 1984, **242**: 91-106.
29. Czuba R., Andruszczak E., Szczegodzińska K.: Ocena kierunków zmian zawartości mikroelementów w roślinach uprawianych na dużych dawkach NPK. *Mat. VI Symp.*: „Mikroelementy w rolnictwie”. AR Wrocław, 1991, 129-132.
30. Czuba R., Sztuder H., Świerczewska M.: Dolistne dokarmianie buraków cukrowych i ziemniaków azotem, magnezem i mikroelementami. *IUNG Puławy*, 1994, R(57).
31. Dąbrowski T.: Przebieg kampanii cukrowniczej 2000/2001. *Poradnik Plantatora Buraka Cukrowego*, 2001, **1(11)**: 3-5.
32. Dechnik I., Chmielewska B., Filipek T., Mazur J.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem na zawartość mikroelementów w glebie i buraku cukrowym. Cz. I. Bor. *Rocz. Nauk Rol.*, 1989, A, **108(1)**: 150-163.
33. Dębowski M., Kucharzewski A.: Odczyn i zawartość mikroelementów w glebach Polski. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471(1)**: 627-636.
34. Domska D.: Yield and quality of sugar beet after foliar feeding with nitrogen, magnesium, boron and copper. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 1996, 5/46, **2**: 24-31.
35. Domska D., Bobrzecka D., Wojtkowiak K.: Wpływ dokarmiania dolistnego miedzią i borem na dynamikę zawartości azotanów w liściach buraka cukrowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 1996, **440**: 81-87.
36. Draycott A.P., Allison M.F., Armstrong M.J.: Changes in fertilizer usage in sugar beet production. *Proceedings of the 60th IIRB Congress*, Cambridge, 1-3 July 1997, Ashfield Green Farm, Wickhambrook, Suffolk, CB8 8UZ, UK, 39-54.
37. Erjala M.: Control of manganese deficiency in sugar beet by placement of a manganated fertilizer. *J. Agric. Sci. in Finland*, 1986, **58**: 215-220.
38. Faber A.: Bezpośrednie i następne działanie nawożenia borem, miedzią, molibdenem i cynkiem w zmianowaniu czteropolowym. *IUNG Puławy*, 1992, **H(2)**.

39. Faber A., Kęsik K.: Ocena skuteczności dolistnego dokarmiania roślin wieloskładnikowymi nawozami płynnymi typu Wuxal. IUNG Puławy, 1992, **S(77)**.
40. Filipek T., Chmielewska B., Mazur J.: Wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem i potasem na zawartość mikroelementów w glebie i buraku cukrowym. Cz. III. Cynk i miedź. Roczn. Nauk Rol., Seria A, 1991, **108(3)**: 153-162.
41. Finck A.: Fertilizers and fertilization. Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beach. Florida-Basel, 1982.
42. Fotyma M., Fotyma E.: Integrated fertilizer recommendation system. Codes of Good Fertilizer and Balanced Fertilization. 11th International Symposium of CIEC, Proceedings. Puławy, 27-29.09.1998, 82-94.
43. Fotyma M., Mercik S.: Chemia rolna. Wyd. Nauk. PWN, 1995.
44. Gembarzewski H.: Selection of the soil Fe test most reliable in central Europe. Iron Nutrition in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers. The Netherlands, 1995, 15-18.
45. Gembarzewski H.: Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 2000, **471(1)**: 171-177.
46. Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Zalecenia nawozowe Reńskiej Izby Rolniczej w świetle obrad 100 Kongresu VDLUFA w Bonn. Cz. I. Grunty orne. Post. Nauk Rol., 1990, **1-2**: 101-114.
47. Gembarzewski H., Korzeniowska J.: Wybór metody ekstrakcji mikroelementów z gleby i opracowanie liczb granicznych przy użyciu regresji wielokrotnej. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 1996, **434(1)**: 353-364.
48. Gembarzewski H., Obojski J., Strączyński S., Sienkiewicz U.: Zawartość makro- i mikroelementów w glebach oraz w roślinach ziemniaka i pszenicy ozimej z pól o wysokiej produktywności. IUNG Puławy, 1995, **S(80)**.
49. Gembarzewski H., Obojski J., Strączyński S.: Stan zaopatrzenia w mikroelementy pszenżyta na polach produkcyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1996, **434**: 347-352.
50. Gembarzewski H., Sowińska B., Andruszczak E., Kamińska W.: Dostępność miedzi dla buraka cukrowego i pszenicy ozimej z gleb Polski. Pam. Puł., 1986, **82**: 117-130.
51. Gezgin S., Önder M., Dursun N., Hamurcu M., Sade B., Babaoglu M.: Effects of various boron, zinc and NPK levels on the yield and sugar content of sugar beet. Proceedings of International Workshop „Boron 2001”, Bonn, 23-27.07.2001 (w druku).
52. Gorlach E.: Potencjalne i aktualne możliwości gleby zaopatrzenia roślin w mikroelementy. Mat. VI Symp.: „Mikroelementy w rolnictwie”. AR Wrocław, 1991, 15-24.
53. Gupta U., Lipsett J.: Molybdenum in soil, plants and animals. Adv. Agron., 1981, **34**: 73-115.
54. Gutmański I.: Wpływ B, Cu, Mn, Zn na plony i pobieranie makro- i mikroskładników przez trzy odmiany buraka cukrowego. Biul. IHAR, 1968, **5-6**: 161-196.
55. Gutmański I.: Produkcja buraka cukrowego. PWRiL Poznań, 1991.
56. Gutmański I.: Działanie wapna, obornika i terminu zbioru na efektywność dawek azotu stosowanego pod buraki cukrowe. Cz. II. Zawartość składników pokarmowych w siewkach i liściach buraka cukrowego. Biul. IHAR, 1992, **184**: 105-118.
57. Gutmański I.: Działanie wapna, obornika i terminu zbioru na efektywność dawek azotu stosowanego pod buraki cukrowe. Cz. III. Korelacja między zawartością składników pokarmowych w siewkach i liściach a wielkością i jakością przetwórczą plonu buraka cukrowego. Biul. IHAR, 1992, **184**: 119-130.
58. Gutmański I.: Kierunki zmian w uprawie buraków cukrowych. Wieś Jutra, 2001, **1**: 16-18.
59. Gutmański I., Szymczak-Nowak J., Tyburski J., Zawiślak K.: Zdrowotność i plonowanie buraka cukrowego oraz fizykochemiczne właściwości gleby po 12 latach uprawy w płodozmianach i monokulturze. Zesz. Nauk. AR Kraków, 1993, 278, Sesja Nauk., **38(II)**: 69-85.
60. Gutmański I., Wiśniewski W.: Dolistne dokarmianie buraków wieloskładnikowymi nawozami płynnymi. Mat. konf.: „Dolistne dokarmianie niezbędnym ogniwiem kompleksowych technologii uprawy roślin”. Gorzów Wlkp., luty 1989, 46-62.

61. Haneklaus S., Schnug E.: Impacts of precision agriculture technologies on fertilization, Codes of Good Fertilizer and Balanced Fertilization. 11th International Symposium of CIEC, Proceedings. Puławy, 27–29.09.1998, 95-107.
62. Haneklaus S., Schnug E.: Evaluation of critical values of soil and plant nutrient concentration of sugar beet by means of boundary lines applied to a large data set from production fields. Protection and production of sugarbeet and potatoes. Churchill College, Cambridge, UK, 14–16.12.1998, Asp. Appl. Biol., 1998, **52**: 87-93.
63. Haneklaus S., Schnug E., Knudsen L.: Minimum factors for the mineral nutrition of field grown sugar beet in northern Germany and eastern Denmark. Protection and production of sugarbeet and potatoes. Churchill College, Cambridge, UK, 14–16 December 1998, Asp. Appl. Biol., 1998, **52**: 57-64.
64. Henkens Ch.H.: Molybdenum uptake by beets in Dutch soils. Agricultural Research Reports 775, Centre For Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1972, 52.
65. Hrnčiarová K., Čumakov A.: The effect of potassium ions on boron fixation. Rostl. Vyroba, 1993, **39(4)**: 297-302.
66. Jaszczolt E.: Wpływ dwóch sposobów nawożenia buraka cukrowego mikroskładnikami na plon korzeni i cukru. Gazeta Cukrownicza, 1988, **12**: 232-234.
67. Jaszczolt E.: Przydatność preparatu Komplet S do nawożenia buraka cukrowego. Biul. IHAR, 1992, **181-182**: 213-224.
68. Jurkowska H.: Wpływ nawożenia mineralnego na zawartość miedzi w roślinach. Prace Komisji Naukowych PTG. Pobieranie miedzi przez rośliny i jej związek z właściwościami gleby, 1984, **IV/5**: 5-16.
69. Jurkowska H., Rogóż A.: Wpływ wzrastających dawek azotanu amonu na zawartość składników pokarmowych w roślinach. Cz. II. Mikroelementy. Acta Agr. et Silv., s. Agr., 1980, **19**: 75-83.
70. Kabata-Pendias A., Pendias H.: Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN Warszawa, 1999.
71. Kalinowska-Zdun M.: Burak cukrowy. Praca zbiorowa pod red. Jasińskiej i Koteckiego: Szczegółowa uprawa roślin. AR Wrocław, 1999, **I**: 385-434.
72. Kamińska W., Kardasz T., Strahl A., Szymborska H.: Skład chemiczny roślin uprawnych i niektórych pasz pochodzenia roślinnego. IUNG Puławy, 1976.
73. Katyal J.C., Randhawa N.S.: Micronutrient. FAO Fertilizer Plant Nutrition Bull., 1983, **7**.
74. Kerschberger M., Marks G.: Nichts in Blaue hinein düngen. Neue Trends in der Düngung. 2000, **2**: 22-23.
75. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D.: Działanie boru w czteroletnim zmianowaniu. Zesz. Nauk. ART Olsztyn, 1988, **R(45)**: 53-59.
76. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D., Bardzicka B.: Reakcja buraków cukrowych na nawożenie borem. Acta Acad. Agricult. Techn. Ols., 1986, Agricultura, **43**: 43-50.
77. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D., Bardzicka B., Domska D.: Ocena potrzeb stosowania nawożenia mikroelementami w zmianowaniu. Mat. VI Symp.: „Mikroelementy w rolnictwie”. AR Wrocław, 1991, 123-127.
78. Krauze A., Benedycka Z., Bobrzecka D., Domska D.: Wpływ następczy nawożenia molibdenem. Zesz. Nauk. ART Olsztyn, 1983, **R(36/242)**: 213-220.
79. Krauze A., Bobrzecka D.: Dynamika zawartości miedzi przyswajalnej w różnych typach gleb w zależności od ich użytkowania i nawożenia. Roczn. Glebozn., 1989, **XL**, **1**: 179-190.
80. Krauze A., Bowszys T., Benedycka Z., Bobrzecka D.: Wpływ nawożenia borem w zmianowaniu na jego dynamikę w glebie. Roczn. Glebozn., 1989, **XL**, **1**: 213-219.
81. Krzymuski J.: Postęp biologiczny w buraku cukrowym w świetle wyników doświadczalnych i produkcyjnych. Biul. IHAR, 1991, **178**: 3-10.
82. Kwiaton Z.: Nawożenie. W: Burak cukrowy. Praca zbiorowa pod red. A. Filutowicza. PWRiL Warszawa, 1980, 173-209.
83. Lüdecke H.: Zuckerrübenbau. Berlin, 1961, 244-248.

84. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Próba wykorzystania składu chemicznego roztworu glebowego w diagnostyce nawożenia mikroelementami. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471(1)**: 45-52.
85. Łabętowicz J., Rutkowska B.: Zmienność stężenia mikroelementów w roztworze glebowym w warunkach trwałego doświadczenia nawozowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471(1)**: 113-120.
86. Łachowski J.: Wyniki doświadczeń z mineralnym nawożeniem buraków cukrowych w Polsce. *Rocz. Nauk Rol.*, 1967, **93**: 305-333.
87. Materiały do opracowywania zaleceń nawozowych na gruntach ornych. IUNG Puławy, PWRiL Warszawa, 1989, 1-48.
88. Mayr H., Frohner W.: Untersuchungen über die Versorgung der Zuckerrübe mit bor auf verschiedenen Böden. *Die bodenkultur J. für Landwirtsch. Forsch.*, 1972, **23(1)**: 1-9.
89. Mazur T.: Rośliny okopowe. W: R. Czuba, T. Mazur: Wpływ nawożenia na jakość plonów, PWN, 1988, 89-179.
90. Mengel K., Kirkby E.A.: Iron, Manganese, Zinc, Copper, Molybdenum, Boron. Principles of plant nutrition. 4th Edition, International Potash Institute, Bern/Switzerland, 1987, 493-568.
91. Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. Cz. I-IV. IUNG Puławy, 1980.
92. Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych (wspólna ekstrakcja 1 M HCl). IUNG Wrocław, 1986 (materiały niepublikowane).
93. Miczyński J.: Nawożenie buraków cukrowych w świetle ostatnich doświadczeń polskich. *Biul. IHAR*, 1957, **15**: 32-40.
94. Myszka A., Janowska M., Wiater J.: Warunki odżywiania buraków cukrowych mikroelementami w regionie lubelskim w świetle testów glebowych i diagnostyki liściowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1984, **242**: 749-758.
95. Nielsen F.H.: The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. w: *Boron in Plant and Animal Nutrition*. Goldbach H.E., Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Thellier M., Bell R.W., Ed.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 37-50.
96. Nowacki E.: Fizjologiczne podstawy żywienia roślin. W: Nawożenie. Praca zbiorowa pod red. R. Czuby, 1979, 41-54.
97. Nowicki A.: Badania nad wpływem niektórych mikroelementów na technologiczne cechy buraka cukrowego w warunkach polowych. *Rocz. Nauk Rol.*, 1964, **88**, **4**: 305-311.
98. Obojski J., Strączyński S.: Odczyn i zasobność gleb Polski w makro- i mikroelementy. IUNG Puławy, 1995, 1-40.
99. Olsen S.R.: Micronutrient interactions. *Micronutrient in Agriculture*. Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin, 1972, 243-264.
100. Pantović M., Popović, Krunić M., Glintić: Wniekorniewoje wniesienije mikroelementow i ich wlijanije na urožaj i kaczestwo sacharnoj swiekły. *Mat. VIII Kongresu CIEC*, Moskwa, 1976, **2**: 3-5.
101. Prośba-Biały U., Spiak Z., Mydlarski M.: Wpływ nawożenia na zawartość mikroelementów w buraku cukrowym. Cz. I. Miedź. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471**: 441-448.
102. Prośba-Biały U., Spiak Z., Mydlarski M.: Wpływ nawożenia na zawartość mikroelementów w buraku cukrowym. Cz. II. Cynk. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471**: 449-454.
103. Prośba-Biały U., Spiak Z., Mydlarski M.: Wpływ nawożenia na zawartość mikroelementów w buraku cukrowym. Cz. III. Mangan i bor. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 2000, **471**: 455-462.
104. Rasp H.: Die Wirkung einer Düngung mit Mikronährstoffen in einem 12 jährigen Fruchtfolgeversuch, *Landwirtsch. Forsch.*, 1985, **38**: 385-403.
105. Rębowska Z., Kusio M.: Wpływ nawożenia NPK i odczynu gleby na zawartość i pobieranie mikroelementów. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.*, 1984, **242**: 121-132.

106. Roczniki statystyczne GUS z lat 1988–1994. Warszawa.
107. Ruszkowska M., Sykut S., Kusio M.: Stan zaopatrzenia roślin w mikroelementy w warunkach zróżnicowanego nawożenia w wieloletnim doświadczeniu lizymetrycznym. Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol., 1996, **434**: 43-47.
108. Sadowski H., Wiśniewski K.: Skuteczność dolistnego nawożenia buraków cukrowych. Biul. IHAR, 1991, **177**: 63-69.
109. Shorrocks V.M.: Recent developments regarding boron, copper, iron, manganese, molybdenum, selenium and zinc. Proceedings of FAO Symposium: The utilisation of secondary and trace elements in agriculture. Geneva, 12–16.01.1987, 270-290.
110. Shorrocks V.M., Portch S.: Boron – a global appraisal of the occurrence, diagnosis and correction of boron deficiency. International symposium on the role of sulfur, magnesium and micronutrients in balanced plant nutrition. Sulfur Institute, Washington, USA, 1992, 39-53.
111. Sikora H.: Wpływ nawożenia mikroskładnikami na zawartość B, Cu, Mn, Mo i Zn w glebach i roślinach. Pam. Puł., 1974, **59**: 101-131.
112. Siódmak J., Heimann H.: Burak cukrowy. Synteza Wyników Doświadczeń Odmianowych. COBORU Słupia Wielka, 1998.
113. Siwicki S.: Agrotechnika buraka cukrowego. Wyd. II, PWRiL Warszawa, 1976.
114. Skawina T., Kossowski J., Stępniewski W., Walczak R.: Fizyczne właściwości gleb. W: Gleboznawstwo. Praca zbiorowa pod red. S. Zawadzkiego. PWRiL 1999, 96-179.
115. Spiak Z., Radoła J., Romanowska M.: Wpływ nawożenia azotowego i fosforowego na pobranie cynku przez rośliny. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 521-528.
116. Spiak Z., Wall Ł.: Współzależność zawartości cynku w glebach i roślinach w warunkach polowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 145-152.
117. Stockfish N., Koch H.J.: Reaction of sugar beet fertilization in experiments. W: Boron in Plant and Animal Nutrition. Goldbach H.E., Rerkasem B., Wimmer M.A., Brown P.H., Thellier M., Bell R.W., Ed.: Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 2002, 381-386.
118. Stojanov D., Sedlarska B., Stratieva S.: Effect of zinc and boron dressing of sugar beet grown on leached chernozem-smolnitsa. Soil Science and Agrochemistry, Sofia, 1998, XXV, **1**: 9-14.
119. Strączyński S., Wróbel S.: Zawartość mikroelementów w glebach o zróżnicowanych kategoriach agronomicznych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 2000, **471(1)**: 549-554.
120. Szkolnik M.: Mikroelementy w życiu roślin. PWRiL Warszawa, 1980, 411.
121. Sztuder H., Wróbel S.: Dolistne dokarmianie buraka cukrowego borem. IUNG Puławy, 1994, **R(311)**: 1-20.
122. Szukalski H.: Mikroelementy. PWRiL Warszawa, 1973, 1-50.
123. Szukalski H.: Mikroelementy w produkcji roślinnej. Warszawa, 1979, 320.
124. Szukalski H., Sikora H.: Wpływ nawożenia borem, miedzią, manganem, molibdenem i cynkiem na ich zawartość w glebach i roślinach oraz pobranie w świetle doświadczeń terenowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1976, **179**: 73-85.
125. Szukalski H., Sikora H.: Następczy wpływ nawożenia mikroelementami na ich zawartość w glebie i roślinach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., 1984, **242**: 183-192.
126. Terelak H., Stuczyński T., Piotrowska M.: Heavy metals in agricultural soils of Poland. Polish J. Soil Sci., 1997, **XXX/2**: 35-42.
127. Tisdale S.L., Nelson W.L., Beaton J.D.: Soil Fertility and Fertilizers. Macmillan Publishing Company New York, Fourth edition, 1985.
128. Vagstad N., Eggstad H.: Determining crop nutrient requirements, Codes of Good Fertilizer and Balanced Fertilization. 11th International Symposium of CIEC, Proceedings, Puławy, 27–29.09.1998, 71-81.
129. Wallace A.: Agronomic and horticultural aspects of iron and the law of the maximum, Iron Nutrition in Soils and Plants, J. Abadia (ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1995, 207-216.

130. Wallace A., Wallace G.: Limiting factors, high yields and law of the maximum. *Hortic. Rev.*, 1993, **15**: 413-452.
131. Wiśniewski W.: Dynamika wzrostu i pobierania składników pokarmowych przez buraki (odmiany cukrowe i pastewne) z uwzględnieniem ich jakości. *Hod. Rośl. Aklim.*, 1994, **38(1/2)**: 3-41.
132. Wróbel S.: Zawartość boru w glebie i niektórych roślinach uprawnych po wieloletnim stosowaniu zwiększanych dawek azotu, fosforu lub potasu. *Pam. Puł.*, 1990, **97**: 211-218.
133. Wróbel S.: Nutrient supply evaluation of the sugar beet farm fields. *Rocz. AR Poznań*, 1999, CCCX, 20, **I**: 95-104.
134. Wróbel S.: Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 2000, **471(1)**: 619-626.
135. Yermiyahu U., Keren R., Chen Y.: Boron uptake by plants as affected by organic matter. *Proceedings of International Workshop „Boron 2001”*, Bonn, 23-27.07.2001 (w druku).
136. Zalecenia nawozowe.: Praca zbiorowa. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. IUNG Puławy, 1990, P(44).
137. Ziółek W.: Donasienne nawożenie buraków cukrowych roztworami mikroelementów. *Biul. IHAR*, 1980, 91-101.
138. Ziółek W.: Wpływ mikroelementów na plon i wartość siewną kłębów buraka cukrowego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 1984, **242**: 193-200.

DETERMINATION OF MICRONUTRIENT FERTILIZATION NEEDS FOR SUGAR BEETS

Summary

The study dealt with the nutritional and fertilization requirements of sugar beets for micronutrients (B, Cu, Fe, Mo and Zn). The objectives were:

- to investigate existing micronutrient supplies to sugar beet crops and to relate these to yields,
- to determine the effects of added micronutrients on the yield and chemical composition of sugar beets in order to assess the micronutrient requirements of the crop, and
- to verify the currently used critical values for soil boron as extracted by 1 mol HCl-dm⁻³.

The first stage of the study consisted of reconnaissance tests performed over the network of 115 sugar beet trial plots located across the country and in 6 replicated trials with different NPK fertilization-dependent yield levels. In the second stage, micronutrient fertilization trials were run. A total of 12 experiments were performed in the years 1990-1994, of which 8 included FYM applications and 4 were without FYM. In addition, pot and microplot trials were run involving two different soils.

The results from 115 sugar beet fields revealed micronutrient deficiencies in soil and low micronutrient levels in plants. Arranged in the decreasing order, the percentage of plots (in parentheses) testing positively for a micronutrient deficiency was as follows: B (82.6) > Cu (27.8) > Fe (20.9) > Zn (13.2) > Mo (12.2) > Mn (2.6). Sampling organs of sugar beets tested for micronutrients as follows: B (60.2) > Cu (21.4) > Mo (13.5), > Mn(8.4) > Zn (3.5) > Fe (0.9). Increasing NPK rates and the NPK fertilization-related rise in sugar beet yields resulted in decreases of boron, copper, molybdenum and iron concentrations in the plants.

Addition of micronutrients in field trials (second stage) increased the yields and sugar content of sugar beet roots. Most frequently the effect was observed on high-yield plots as an impact of a nutrient that had been proved deficient by soil testing. The sporadic responsiveness of low-yield sugar beet crops to micronutrient application showed that the soil supply of the micronutrients was enough to meet the demand of sugar beet plants. No micronutrient fertilization-related decrease in the

yield of sugar beets was found. High money returns were found for micronutrient rates applied in this study (micronutrient rates at $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ shown in parentheses): boron (2.0), copper (8.0), manganese (2.0), molybdenum (0.4) and zinc (8.0). The input of 1 PLN in the treatment (B + Cu + Mo) + FYM resulted in a return of 3.15 PLN in the increased money value of the crop of roots. In no FYM treatments the money returns increased twofold. Therefore, the micronutrient rates as stated above can be recommended for commercial production. Boron is an exception as its rates on neutral and alkaline soils should be raised to $2.5 (3.0) \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. The positive response of sugar beet yields to boron fertilization under optimum plant supply of that micronutrient is indicative of higher nutritional requirements of high-yielding sugar beet hybrid cultivars and calls for raising the optimum boron content of sugar beet sampling organs, as stated by Bergman (1986), by ca $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

A similar situation is true of molybdenum. The positive responsiveness of sugar beet yields and sugar content of the roots to high plant content of molybdenum warrants a separate study into the sugar beet requirement for that micronutrient. On the basis of the author's own data it is suggested that the range determined by Neubert et al. (1970) – $0.20\text{--}2.00 \text{ mg Mo}\cdot\text{kg}^{-1}$ of DM of indicator organs be adopted.

Farmyard manure provides most of the requirements for micronutrients of a medium-high yielding sugar beet crop. However, when applied at $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ farmyard manure fails to wholly meet the demands for micronutrients of a crop of a high-yield sugar beet cultivar and addition of those micronutrients normally results in increased yield.

In the light of soil deficiencies, low plant levels, and responsiveness to fertilization found in this study boron, copper and molybdenum are the major micronutrients for the sugar beet. Manganese, zinc and iron deficits in soils cropped to sugar beets occur less frequently and are dependent on soil pH, phosphorus supply, redox potential and nitrogen fertilization. With no-FYM soil management and soil pH close to neutral, micronutrient phyto-availability is reduced and the plants run the risk of developing deficiencies, especially that of manganese, and consequently, there is a need for micronutrient fertilization.

The study confirmed the necessity of verifying the calibration of the hitherto used test for available boron in the soil. The sets of data comprising test results from 235 soils and 235 sugar beet plants provided the basis for developing new critical values for soil content of boron soluble in $1 \text{ mol HCl}\cdot\text{dm}^{-3}$ by using stepwise linear regression. Re-assessment of boron contents of the soils of the study made using the newly-developed criteria showed a lower frequency of deficits that correlated better with low B contents of sugar beet plants.