



INSTYTUT OGRODNICTWA  
SKIERNIEWICE

## **Opracowanie składu pożywek nawozowych w oparciu o jakość wody**

**Autorzy:** dr Jacek Dyśko, dr Waldemar Kowalczyk

Opracowanie przygotowane w ramach **zadania 4.5:**

„Monitorowanie jakości wody i gleby w głównych rejonach upraw warzyw pod osłonami i ich zastosowanie dla optymalizacji nawożenia i ograniczenia zanieczyszczenia środowiska”

**Programu Wieloletniego:**

„Rozwój zrównoważonych metod produkcji ogrodniczej w celu zapewnienia wysokiej jakości biologicznej i odżywczej produktów ogrodniczych oraz zachowania bioróżnorodności środowiska i ochrony jego zasobów”

**Skierniewice 2012**

W Polsce podstawowym źródłem wody wykorzystywanej w uprawach pod osłonami jest woda gruntowa ze źródeł podziemnych, wody powierzchniowe w tych uprawach są używane w niewielkim stopniu. W naszym kraju uprawa podstawowych warzyw szklarniowych uprawianych bezglebowo prowadzona jest systemem otwartym, to jest takim, w którym nadmiar pożywki wyciekający ze strefy wzrostu korzeni, odprowadzany jest do gruntu szklarni lub do ścieków. Układy zamknięte z recyrkulacją pożywki stosowane są sporadycznie, jedynie w Holandii istnieje obowiązek prowadzenia upraw bezglebowych tym systemem. Wycieki roztworów z mat uprawowych są bardziej skoncentrowane w porównaniu z pożywką dozowaną pod rośliny. Uprawy szklarniowe i związane z tym uprawy bezglebowe stanowią niewielki procent ogólnej powierzchni wykorzystywanej rolniczo ale skoncentrowane są najczęściej w pobliżu dużych miast lub w określonych rejonach kraju, gdzie mogą się w znaczący sposób przyczynić do pogorszenia środowiska naturalnego.

Zużycie wody w szklarniach waha się w ciągu roku w granicach od 0,5 do 0,9 m<sup>3</sup> na m<sup>2</sup> szklarni. Powyżej 90% wody wykorzystywane jest przez rośliny w procesie transpiracji, której zadaniem jest utrzymanie właściwego turgoru i temperatury roślin oraz transport składników pokarmowych z korzeni do liści i owoców. Przy uprawie na wełnie mineralnej, woda musi być dostarczana małymi dawkami, nawet 30 razy w ciągu doby. Bardzo duże znaczenie w nawożeniu i przygotowywaniu pożywek ma jej jakość. Przy obliczaniu ilości i wyborze nawozów do przygotowywania roztworów o określonym składzie należy uwzględniać wszystkie składniki w niej zawarte. Dotyczy to szczególnie wapnia, magnezu i siarczanów. Najbardziej przydatna jest woda zawierająca minimalne ilości makro i mikroelementów.

**Tabela 1. Dopuszczalne maksymalne pH i EC oraz zawartości składników w wodzie używanej do fertygacji oraz ich formy dostępne dla roślin**

Składnik	Stężenie (mg/l)	Dostępne formy składników
azot	5	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
fosfor	5	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , HPO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
potas	5	K <sup>+</sup>
wapń	120	Ca <sup>+2</sup>
magnez	25	Mg <sup>+2</sup>
chlor	100	Cl <sup>-</sup>
siarczany	200	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
węglany	350	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
sód	30	Na <sup>+</sup>
żelazo	5	Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup>
bor	0,5	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>
cynk	0,5	Zn <sup>+2</sup>
mangan	1,0	Mn <sup>+2</sup>
miedź	0,2	Cu <sup>+2</sup> , Cu <sup>+</sup>
molibden	0,02	MoO <sub>4</sub> <sup>-</sup>
pH	7,5	-
EC (mS cm <sup>-1</sup> )	1,0	-

Najlepsza do sporządzania pożywek jest woda deszczowa. Woda ta zawiera bardzo małe stężenia makro i mikroelementów oraz niewielkie ilości węglanów i jonów balastowych.

**Tabela 2. Przeciętny skład wody z opadów atmosferycznych**

Składnik	Stężenie (mg/l)	Składnik	Stężenie (mg/l)
SiO <sub>2</sub>	0,3 – 1,2	HCO <sub>3</sub>	3-7
Al	0,01	SO <sub>4</sub>	0,7 – 2,2
Ca	0,65 – 3,3	Cl	0,2 - 17
Mg	0,2 – 1,2	NO <sub>2</sub>	0,02
Na	0,6 – 9,4	NO <sub>3</sub>	0,1 – 2,2
K	0,11 – 0,6	pH	4,4 – 6,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,42	-	-

Czysty deszcz ma odczyn lekko kwaśny (pH 5,7) wskutek obecności kwasu węglowego, powstającego w wyniku reakcji H<sub>2</sub>O z CO<sub>2</sub> znajdującym się w powietrzu atmosferycznym. W ostatnich latach, odczyn wód deszczowych zaczął się znacznie obniżać. Zaobserwowano opady deszczowe o bardzo niskim pH, nazwano je kwaśnymi deszczami. Obniżenie pH wód deszczowych jest spowodowane spalaniem dużych ilości węgla i ropy naftowej oraz wprowadzaniem do atmosfery dwutlenku siarki SO<sub>2</sub> i tlenków azotu NO<sub>x</sub>. Gazy te łącząc się z wodą tworzą kwasy siarkowy i azotowy. Kwaśny odczyn wód deszczowych jest w 60 – 70% wynikiem obecności kwasu siarkowego, a w 30 – 40% kwasu azotowego. Jakość wody można poprawić za pomocą tzw. odstożników czyli zbiorników, w których gromadzona i przetrzymywana jest woda studzienna oraz woda deszczowa. Wodę deszczową można zbierać z dachów szklarni i gromadzić w specjalnie do tego budowanych zbiornikach. Woda w zależności od pochodzenia zawiera pewne ilości węglanów, głównie wapnia i magnezu. Kwaśne węglany są solami słabego kwasu (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) i słabych zasad Ca(OH)<sub>2</sub>, Mg(OH)<sub>2</sub>. Hydrolizują w środowisku wodnym alkalinizując środowisko. Woda do fertygacji powinna zawierać ich jak najmniej. Węglany w wodzie mogą występować w formie gazowej CO<sub>2</sub>, jako aniony wodorowęglanowe HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> i jony węglanowe CO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Występowanie węglanów i ich procentowy udział w wodzie lub roztworze pożywki uzależniony jest od odczynu np. woda o odczynie pH 5,5 zawiera w litrze około 50 mg HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, wraz ze wzrostem pH wody, wzrasta również zawartość węglanów (Tabela 3).

**Tabela 3. Odczyn wody w zależności od zawartości węglanów**

pH	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
5,0	22,0
5,5	51,2
6,0	144
6,5	248
7,0	342

Znając zawartość  $\text{HCO}_3^-$  w wodzie możemy w przybliżeniu obliczyć objętość kwasów ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HCl}$ ) potrzebną do obniżenia pH wody do 5,5 wg formuły:

$$V_{\text{HNO}_3} = \frac{m_{\text{HCO}_3^-} - 50}{M_{\text{HCO}_3^-}} \times \frac{M_{\text{HNO}_3}}{C\%_{\text{HNO}_3} \cdot d_{\text{HNO}_3}}$$

gdzie:

$V$  – objętość kwasu na 1000 L wody

$m_{\text{HCO}_3^-}$  – zawartość  $\text{HCO}_3^-$  w wodzie w mg/L

50 – przy tej zawartości węglanów odczyn wody wynosi 5,5

$M_{\text{HCO}_3^-}$  – masa cząsteczkowa  $\text{HCO}_3^-$ , która wynosi 61

$M_{\text{HNO}_3}$  – masa cząsteczkowa  $\text{HNO}_3$ , która wynosi 63

$C\%$  – stężenie procentowe kwasu azotowego

$d_{\text{HNO}_3}$  – gęstość kwasu azotowego

**Tabela 4. Przykładowe obliczenie pożywki uwzględniające analizę wody**

Pożądana pożywka (mg/l) w uprawie pomidora	Analiza wody Skierniewice	Obliczona ilość nawozu jaką trzeba użyć w g/1000 l wody
pH - 5,5	pH - 6,7	$\text{HNO}_3$ - 310 mL
EC – 3,0 mS/cm	EC – 0,65 mS/cm	-
$\text{HCO}_3^-$ - 50	$\text{HCO}_3^-$ - 324	-
N – $\text{NO}_3^-$ - 200	N – $\text{NO}_3^-$ - 0,24	$\text{NH}_4\text{NO}_3$ - 88
N – $\text{NH}_4^+$ - 20	N – $\text{NH}_4^+$ - <0,05	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ - 481
P – $\text{PO}_4^{3-}$ - 60	P – $\text{PO}_4^{3-}$ - <0,10	$\text{KH}_2\text{PO}_4$ - 261
$\text{K}^+$ - 340	$\text{K}^+$ - 2,37	$\text{K}_2\text{SO}_4$ - 668
$\text{Ca}^{++}$ - 210	$\text{Ca}^{++}$ - 98,0	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 484
$\text{Mg}^{++}$ - 70	$\text{Mg}^{++}$ - 14,5	$\text{MgSO}_4$ - 47
$\text{SO}_4^{2-}$ – do 180	$\text{SO}_4^{2-}$ – 38	
$\text{Cl}^-$ -50	$\text{Cl}^-$ -14	$\text{CaCl}_2$ – 112,5
Fe – 2,5	Fe – <0,02	Fe – 41,6
Mn – 0,8	Mn – <0,02	Mn – 6,25
Zn – 0,33	Zn – 0,21	Zn – 0,85
B – 0,33	B – 0,03	B – 1,9
Cu – 0,15	Cu – <0,02	Cu – 1,0
Mo – 0,05	Mo – 0,0	Mo – 0,5
	Na – 10,1	

W przykładzie wykorzystano kwas azotowy 65%, którego gęstość wynosi 1,4 kg/l.

$$V_{HNO_3} = \frac{324 - 50}{61} \cdot \frac{63}{0,65 \cdot 1,4} = 310 \text{ ml} / 1000 \text{ l}$$

Z kwasem azotowym wprowadzamy do pożywki azot, którego zawartość możemy wyliczyć korzystając z następujących wzorów:

$$(1) m_k = C\% \cdot d \cdot V_k$$

$m_k$  – masa kwasu

$d$  – gęstość kwasu

$V_k$  - objętość kwasu użyta do regulacji odczynu

$$m_{HNO_3} = 0,65 \cdot 1,4 \cdot 310 = 282 \text{ g}$$

$$(2) \text{ Zawartość N w } HNO_3 \text{ (mg/l)} = \frac{m_k \cdot \%N \cdot 10}{1000}$$

$$N \text{ (mg/l)} = \frac{282 \text{ g} \cdot 22\% \cdot 10}{1000} = 62 \text{ mg/l}$$

%N – procentowa zawartość azotu w kwasie azotowym ~22% wyliczona -

$$\%N = \frac{14}{63} \cdot 100 \approx 22\%$$

14 – masa atomowa azotu

63 - masa cząsteczkowa  $HNO_3$

Dla właściwego zbilansowania pożywki i dostosowania jej do określonej wody najbardziej przydatne są nawozy o wysokiej zawartości składników pokarmowych najlepiej jedno lub dwuskładnikowe. Umożliwiają one dokładniejsze przygotowanie pożywki i ewentualną jej korektę w czasie uprawy. Dla prawidłowego wzrostu roślin koniecznych jest 13 pierwiastków (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl) a biorąc pod uwagę wodór, węgiel, tlen ( $H_2O$  i  $CO_2$ ) jest to 16 pierwiastków. Sód i krzem są pierwiastkami, które w niewielkich ilościach wpływają na poprawę wzrostu większości roślin, ale dla niektórych gatunków są składnikami zasadniczymi.

Potrzebną ilość nawozów do sporządzenia pożywki obliczamy wg formuły:

$$\text{Brakująca ilość nawozu (g)} = \frac{\text{Brakująca ilość składników w mg/l x objętość wody}}{\% \text{ zawartość składnika w nawozie} \times 10}$$

W niektórych nawozach zawartość składników pokarmowych podawana jest w formie tlenkowej.

**Tabela 5. Współczynniki do przeliczania formy tlenkowej na czysty składnik**

Forma tlenkowa	Współczynnik	Czysty składnik
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	x 0,44	P
K <sub>2</sub> O	x 0,83	K
MgO	x 0,60	Mg
CaO	x 0,71	Ca

Najważniejszą cechą jaką powinny charakteryzować się nawozy stosowane do przygotowywania pożywek jest czystość oraz pełna rozpuszczalność składników w nich zawarta. Nawozy rozpuszczają się lepiej w wyższych temperaturach.

**Tabela 6. Rozpuszczalność nawozów przy różnych temperaturach (g/l wody)**

temp.	KCL	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	KNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>
10 <sup>0</sup> C	310	90	210	1580
20 <sup>0</sup> C	340	110	310	1950
30 <sup>0</sup> C	370	130	460	2420

Po korekcie odczynu obliczanie brakujących składników rozpoczynamy od wapnia. Mamy do dyspozycji dwa nawozy wapniowe dobrze rozpuszczalne w wodzie: saletrę wapniową (saletra wapniowa stała 19% Ca i 15,5% N z tego 14,5% N-NO<sub>3</sub> i 1% N – NH<sub>4</sub>, saletra wapniowa płynna cały azot ma w formie azotanowej) i chlorek wapnia (CaCl<sub>2</sub> 6 H<sub>2</sub>O – 32% Cl i 18% Ca). Przy uprawie pomidora w uprawach bezglebowych zawartość chloru w pożywce powinna wynosić nie więcej niż 50 mg/l.

50 – 14 (woda) = 36mg/l Cl

$$\text{CaCl}_{2(\text{nawóz})} (\text{g}) = \frac{36 \text{ mg/l} \times 1000}{32\% \times 10} = 112,5\text{g}$$

Z chlorkiem wapnia oprócz chloru wprowadzamy wapń, którego zawartość liczymy wg wzoru:

$$\text{składnik (mg/l)} = \frac{\text{nawóz w g} \times \% \text{ zawartość składnika w nawozie} \times 10}{\text{objętość wody}}$$

$$\text{Ca (mg/L)} = \frac{112,5\text{g} \times 18\% \times 10}{1000} = 20 \text{ mg/l}$$

Do zbilansowania wapnia brakuje jeszcze 210 mg/l – 98 mg/l (woda) - 20 mg/l(CaCl<sub>2</sub>) = 92 mg/L Ca, który wprowadzimy w postaci saletry wapniowej.

$$\text{Ca}_{(\text{nawóz})}(\text{g}) = \frac{92 \text{ mg} \times 1000}{19\% \times 10} = 484 \text{ g}$$

Z saletrą wapniową wprowadzamy również azot:

$$\text{N – NO}_3 (\text{mg/L}) = \frac{484 \text{ g} \times 14,5\% \times 10}{1000} = 70 \text{ mg/l}$$

$$N - NH_4 \text{ (mg/L)} = \frac{484 \text{ g} \times 1\% \times 10}{1000} \sim 5 \text{ mg/l}$$

W pożywce chcemy mieć 20 mg/L formy amonowej azotu, brakujące 15 mg/L uzupełniamy z saletry amonowej ( $NH_4NO_3$  - 17%  $NO_3$  i 17%  $NH_4$ )

$$N - NH_{4(\text{nawóz})} \text{ (g)} = \frac{15 \text{ mg/l} \times 1000}{17\% \times 10} = 88 \text{ g}$$

Z saletrą amonową wprowadziliśmy również 15 mg/L formy  $N - NO_3$ . Formy saletrzanej w pożywce mamy w mg/L: 70 z ( $CaNO_3$ ) + 62 z ( $HNO_3$ ) + 15 z ( $NH_4NO_3$ ) = 147 Do 200 mg/L brakuje jeszcze 53 mg/L. Tą wartość możemy wprowadzić w formie saletry magnezowej (10% Mg i 11%  $N - NO_3$ )

$$N - NO_{3(\text{nawóz})} \text{ (g)} = \frac{53 \text{ mg/l} \times 1000}{11\% \times 10} = 481 \text{ g}$$

Z saletrą magnezową wprowadzamy również magnez:

$$Mg \text{ (mg/L)} = \frac{481 \text{ g} \times 10\% \times 10}{1000} = 48 \text{ mg/l}$$

Magnezu w pożywce mamy w mg/L: 48z ( $MgNO_3$ )<sub>2</sub> + 14,5 z (wody) = 62,5 Magnezu brakuje jeszcze 7,5 mg/L. Tą wartość uzupełniamy siarczanem magnezu ( $MgSO_4 \cdot 1H_2O$ , 16% Mg i 17,2% S)

$$Mg_{(\text{nawóz})} \text{ (g)} = \frac{7,5 \text{ mg/l} \times 1000}{16\% \times 10} = 47 \text{ g}$$

Z siarczanem magnezu wprowadzamy także siarkę.

$$S \text{ (mg} \cdot \text{dm}^{-3}\text{)} = \frac{47 \text{ g} \times 17,2\% \times 10}{1000} = 8 \text{ mg/l}$$

Fosfor możemy wprowadzić w formie fosforanu monopotasowego ( 28% K, 23% P)

$$P_{(\text{nawóz})} \text{ (g)} = \frac{60 \text{ mg/l} \times 1000}{23\% \times 10} = 261 \text{ g}$$

Z fosforanem monopotasowym wprowadzamy również potas:

$$K \text{ (mg} \cdot \text{dm}^{-3}\text{)} = \frac{261 \text{ g} \times 28\% \times 10}{1000} = 73 \text{ mg/l}$$

Potrzeby potasu zostały określone na 340 mg/l. Pozostałą część potasu możemy wprowadzić w formie siarczanu potasu (40% K, 18% S)

$$K_{(\text{nawóz})} \text{ (g)} = \frac{267 \text{ mg/l} \times 1000}{40\% \times 10} = 668 \text{ g}$$

$$S(\text{mg/L}) = \frac{661\text{g} \times 18\% \times 10}{1000} = 120 \text{ mg/l}$$

W pożywce zawartość siarki wynosi  $120 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$  ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) +  $38 \text{ mg/l}$  (woda) +  $8 \text{ mg/l}$  ( $\text{MgSO}_4$ ) =  $166 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ .

Ustalenie zawartości mikroelementów jest łatwiejsze, ponieważ każdy z nich występuje w innym nawozie. Do dyspozycji mamy dużą ilość dobrych nawozów mikroelementowych, w większości z nich składniki występują w formach schelatowanych. Żelazo występujące w wodzie jest w zasadzie nie przyswajane dla roślin, dlatego nie jest uwzględniane przy obliczaniu pożywek. Obliczając zawartości mikroskładników jakie są potrzebne do uzyskania określonego stężenia postępujemy podobnie jak z makroskładnikami.

W przykładzie wykorzystano chelat żelaza Tenso EDDHMA-6% Fe, chelat manganu Librel EDTA – 12,8% Mn, kwas borowy – 17,5% B, chelat miedzi EDTA – 14,8% Cu, chelat cynkowy Librel EDTA – 14% Zn, chelat molibdenu Symfonia – 10% Mo.

Przykładowe obliczenie chelatu żelaza

$$\text{Fe}_{\text{nawóz}} (\text{g}) = \frac{2,5 \text{ mg/l} \times 1000}{6\% \times 10} = 41,6 \text{ g}$$

Wyniki analiz chemicznych prowadzonych w laboratorium Instytutu Ogrodnictwa w ramach Programu Wieloletniego wskazują na duże zróżnicowanie składu chemicznego wody pochodzącej z różnych ujęć podziemnych. Przy obliczaniu składu pożywki należy zwracać uwagę na zawartość składników pokarmowych występujących w większych stężeniach oraz szczególną uwagę powinno się zwracać na obecność jonów balastowych ( $\text{Na}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), których obecność w nadmiarze może być szkodliwa dla roślin i zanieczyszczać środowisko.