

Tabela 5.19

Średnia wysokość (cm) części nadziemnej nawożonych i nienawożonych, 3-letnich sadzonek *Pinus sylvestris*, rosnących w torfie i zaszczipionych ektendomikoryzowym szczepem „E-57” lub porcją humusu, zawierającą populację typowych symbiontów ektomikoryzowych (wg MIKOLI 1967)

| Rodzaj szczepionki | Sadzonki | |
|--|----------|-------------|
| | nawożone | nienawożone |
| Szczep ektendo E-57 | 14,05 | 5,51 |
| Grzyby ektomikoryzowe (z humusu leśnego) | 12,86 | 10,12 |
| Kontrola (nieszczepiona) | 12,20 | 7,59 |

Poznaniu ektendomikoryz nie poświęcono dotąd dostatecznie dużo uwagi. Dane są rozproszone, a nie do końca ustalona systematyka utrudnia badania porównawcze. Najprawdopodobniej opisywany przez MIKOLĘ (1965) i LAIHO (1965) szczep E, przez WILCOXA (1971) szczep BDG-58 oraz PACHLEWSKIEGO i PACHLEWSKĄ (1971) MrgX należą do tego samego gatunku. Dziwi jedynie to, że MIKOLA (1965) nie wykazał aktywności celulolitycznej u testowanych przez siebie szczepów, podczas gdy ektendomikoryzowe szczepy MrgX taką aktywność wykazywały (PACHLEWSKI i CHRUŚCIAK 1979; RUDAWSKA, dane niepublikowane).

W ostatnich latach dzięki badaniom wielu mikologów (WALKER 1979; DANIELSON 1982; YANG i WILCOX 1984; PACHLEWSKI i KOCOŃ 1985; YANG i KORF 1985a; 1985b; EGGER i FORTIN 1988; 1990) udało się uporządkować systematykę grzybów ektendomikoryzowych. Zaliczono je do *Ascomycetes* rzędu *Pezizales* (DANIELSON 1982). Stadium doskonałego grzybów określanymi jako szczep E nadano nazwę *Wilcoxina* i opisano trzy gatunki: *Wilcoxina mikolae*, *Wilcoxina rehnia* i *Wilcoxina alaskana*

oraz dwie odmiany *W. mikolae* var. *mikolae* i *W. mikolae* var. *tetraspora* (YANG i KORF 1985a; 1985b).

Badania strukturalne ekto- i ektendomikoryzy (PICHÉ i in. 1986; SCALES i PETERSON 1991) podtrzymują pogląd, który wyrazili EGGER i FORTIN (1988), że ektendomikoryza powinna być rozpatrywana jako istotna, rozwojowa wariacja ektomikoryzy.

5.5.11. KONKLUZJA

Symbioza mikoryzowa jest powszechnie obecna na korzeniach sosny. W warunkach naturalnych powstaje spontanicznie i istotnie wpływa na wzrost i rozwój tego drzewa. Liczne badania laboratoryjne i doświadczenia polowe wykazały, że ten naturalny proces można ulepszyć przez taką manipulację symbiontami mikoryzowymi, aby otrzymać bardziej efektywne związki mikoryzowe, pozwalające uzyskać większe i zdrowsze drzewa w krótszym czasie. Kilka gatunków grzybów mikoryzowych wydaje się szczególnie przydatnych do sztucznych inokulacji *P. sylvestris*. Są to między innymi *Laccaria laccata* i *Hebeloma crustuliniforme*. Rozwój różnych technik szczepienia siewek w szkółkach pozwala intensyfikować rozwój mikoryz. Jednakże wiele z potencjalnych korzyści wynikających ze związku mikoryzowego pozostaje ciągle niewykorzystanych. Istnieje pilna potrzeba zintensyfikowania doświadczeń w szkółkach i na plantacjach, a także potrzebny jest rozwój badań nad fizjologią mikoryz w celu lepszego zrozumienia zależności pomiędzy grzybami symbiotycznymi a rośliną wyższą, aby móc skuteczniej sterować symbiozą mikoryzową i w ten sposób wpływać na produkcję dobrowego materiału do nasadzeń.

5.6. ŻYWIENIE MINERALNE*

Sosna zwyczajna ma stosunkowo małe wymagania pod względem żyzności siedliska. Jednak bardzo szeroki zasięg geografi-

czny sosny oraz cenny surowiec drzewny, a więc duże znaczenie gospodarcze, spowodowały ogromne zainteresowanie tym gatun-

* Opracował HENRYK FOBER

kiem, również w zakresie mineralnego żywienia i nawożenia. Świadczy o tym bardzo bogata literatura dotycząca tego zagadnienia, zarówno w formie opracowań wyników prac eksperymentalnych, jak i przeglądowych. Z dotychczasowych prac przeglądowych na uwagę zasługują opracowania GUNI (1967), BAULE i FRICKERA (1973) oraz FIEDLERA i wsp. (1973).

Metody badań żywienia mineralnego drzew obejmują doświadczenia w formie kultur wodnych i piaskowych, doświadczenia wazonowe oraz terenowe z zastosowaniem dawek nawozowych na powierzchniach leśnych w szkółkach, a także w drzewostanach różnych klas wieku. Cele i zadania poszczególnych rodzajów doświadczeń zostały przedstawione przy okazji omawiania żywienia mineralnego świerka czy modrzewia (FOBER 1977; 1986).

W porównaniu z innymi gatunkami sosna zwyczajna jest wrażliwa na wysokie stężenia soli w roztworze glebowym. Dla uzyskania maksymalnego wzrostu, siewki sosny wymagają niższego niż świerk całkowitego stężenia pierwiastków w pożywce mineralnej (MITSCHERLICH 1955; INGESTAD 1979). Dlatego w tych samych warunkach żywienia mineralnego sosna ma wyższe niż świerk stężenia pierwiastków w igłach (INGESTAD 1960) i wyższe tempo przyrostu suchej masy, ale podobną jak świerk produktywność azotu, wyrażoną w ilości wyprodukowanej w ciągu godziny suchej masy w stosunku do wewnętrznej zawartości tego pierwiastka (INGESTAD i KÄHR 1985). Według NEUWIRTHA (1966) sosna, podobnie jak modrzew japoński, ma szczególnie duże wymagania pod względem potasu. Chociaż potrzeby nawozowe jednorocznych i dwuletnich siewek sosnowych w szkółce są wyższe niż świerka (ANONIM 1980), to w wieku maksymalnych rocznych przyrostów sosna potrzebuje mniejszych niż świerk ilości pierwiastków na produkcję masy (LJAMEBORŠAJ 1968). I tak, na wyprodukowanie 1 m³ drewna sosna zużywa 1,7 kg N; 0,6 kg P; 1,1 kg K i 1,9 kg Ca, podczas gdy świerk odpowiednio 2,1 kg N; 1,1 kg P; 1,8 kg K i 2,5 kg

Ca. Wymagania gatunków liściastych są wielokrotnie wyższe, i to zarówno w stadium siewek, jak i dojrzałych drzew.

5.6.1. POZIOMY STĘŻEŃ PIERWIASTKÓW W RÓŻNYCH ORGANACH SOSNY

Skład chemiczny rośliny, a szczególnie stężenie pierwiastków w aparacie asymilacyjnym, w dużym stopniu określa stan żywienia mineralnego. Dlatego wyniki analiz chemicznych dotyczą w szczególności igieł, najczęściej igieł bieżącego przyrostu, rzadziej dwuletnich i starszych. U sosen wykazujących prawidłowy wzrost i rozwój, bez objawów braku czy niedostatku pierwiastków, stwierdzono następujące zakresy stężeń poszczególnych elementów w suchej masie igieł: 1,17-2,91% N; 0,03-0,52% P; 0,28-2,48% K; 0,05-1,02% Ca; 0,03-0,14% Mg; 0,05-0,34% S; 0,03% Na; 0,16% Al; 0,01-1% Mn; 0,07% Si; 100-850 ppm Fe; 17-88 ppm Zn; 1,3-96 ppm Cu, 2,3 ppm Pb; 6-95 ppm B; 0,03-0,9 ppm Mo; 1-28 ppm Ni; 0,1-4 ppm Co; 16,3-350 ppm Ti; 7,7-11 ppm Cr; 5,6-50 ppm V; 6-7 ppm Be; 400-3500 ppm Ba; 720-790 ppm Sr; $0,35 \times 10^{-2}$ -0,04 ppm U (NĚMEC 1954; OVINGTON 1956; REMEZOV 1963; AHRENS 1964; HEINSDORF 1966a; 1976a; VAKULIN i MOKIENKO 1966; CZERNEY i FIEDLER 1969; POPOVIĆ i KOMLENOVIĆ 1970; DONOV i in. 1973; MUCHA i in. 1974; JOROVA 1976; 1979; CVETKOVA 1976; USOVA 1977; BRÆKKE 1979; DONOV i ĪOROVA 1979; LEHTIÖ i in. 1980; ARONSSON 1984; FIEDLER i HÖHNE 1984; FIEDLER i in. 1984; MÖLLER 1984; HUTTUNEN i in. 1985).

W pędach siewek sosny zaobserwowano 2,02-2,81% N; 0,06-0,32% P; 0,58-1,08% K; 0,14-0,67% Ca; 0,09-0,18% Mg; 0,008% Na; 0,015% Fe; 0,03% Mn (THEMLITZ 1961; CHRISTERSSON 1972; MUCHA i in. 1974). Niższe wartości stężeń, szczególnie azotu i potasu, występują w gałęziach i konarach dojrzałych drzew, a mianowicie 0,155-0,390% N; 0,011-

0,028% P; 0,136-0,277% K; 0,221-0,266% Ca; 0,064-0,089% Mg; 0,002-0,006% Na; 0,002-0,005% Mn; 0,006-0,009% Fe; 0,01-0,02% S; 0,026-0,038% Al; 0,025-0,038% Si (TRAŠLIEV i ANTONOV 1969).

W drewnie pni sosen stwierdzono 0,11-0,15% N; 0,005-0,014% P; 0,027-0,046% K; 0,044-0,130% Ca; 0,010-0,026% Mg; 0,001-0,002% Na; 0,001-1,0% Mn; 0,0003-0,002% Fe; 0,002-0,011% Al; 0,002-0,010% Si; 0,004% Cl; 2,02 ppm Sr; 50-70 ppm Ti; 28-30 ppm V; 24-28 ppm Ni; 11-12 ppm Cr; 8-10 ppm Be; 58-77 ppm Cu; 5700-5900 ppm Ba (VAKULIN i MOKIENKO 1966; ALEKSACHIN i RAVIKOVIČ 1968; TRAŠLIEV i ANTONOV 1969; FOSSUM i in. 1972; RUSANOVA i in. 1977). Na przekroju poprzecznym pnia stężenie wapnia, magnezu i manganu wzrasta od zewnętrznego brzegu bieli w kierunku twardzieli (FOSSUM i in. 1972).

W korze stężenie wszystkich pierwiastków jest wyższe niż w drewnie i wynosi 0,40% N; 0,047% P; 0,119% K; 0,526% Ca; 0,033% Mg; 0,007% Na; 0,047% S; 0,03% Mn; 0,005% Fe; 0,117% Al; 0,026% Si; 0,002% Cl (RUSANOVA i in. 1977).

W korzeniach siewek sosny stwierdzono 1,57-2,86% N; 0,08-0,46% P; 0,67-1,80% K; 0,08-0,50% Ca; 0,08-0,14% Mg; 0,058% Na; 0,43% Fe i 0,038% Mn (THEMLITZ 1961; CHRISTERSSON 1972; MUCHA i in. 1974). Znacznie niższe wartości występują w korzeniach dojrzałych drzew, a mianowicie 0,11-0,33% N; 0,009-0,058% P; 0,081-0,306% K; 0,079-0,17% Ca; 0,021-0,08% Mg; 0,002-0,003% Na; 0,001-0,78% Mn; 0,001-0,014% Fe; 0,006-0,047% S; 0,01-0,091% Al; 0,009-0,052% Si; 0,003-0,06% Cl; 11-1120 ppm Sr, 180-360 ppm Ti, 20-50 ppm V, 14-24 ppm Ni, 5-6 ppm Be, 45-83 ppm Cu, 3700-4100 ppm Ba, (VAKULIN i MOKIENKO 1966; ALEKSACHIN i RAVIKOVIČ 1968; TRAŠLIEV i ANTONOV 1969; RUSANOVA i in. 1977), przy czym korzenie cienkie, poniżej 8 mm średnicy, miały dwu- do czterokrotnie wyższe stężenia poszczególnych pierwiastków niż korzenie grubsze (RUSANOVA i in. 1977).

Fizjologiczna rola poszczególnych pierwiastków we wroście i rozwoju drzew jest bardzo zróżnicowana. Zakresy stężeń niektó-

rych tylko pierwiastków odzwierciedlają stan żywienia mineralnego, w innych przypadkach informują jedynie o ich zawartości w glebie i możliwości przyswajania. Niemniej jednak, znajomość zakresów stężeń wszystkich elementów jest ważna; bądź to ze względu na określenie potrzeb nawozowych, bądź też w celach porównawczych, przy określaniu stopnia przemysłowego skażenia środowiska.

W starszych drzewostanach sosnowych 70% biomasy przypada na pień drzewa i gałęzie i w tych częściach drzewa znajduje się przeważająca masa pierwiastków, na przykład 64% azotu, 58% fosforu, 56% potasu, 71% wapnia i 61% magnezu, a tylko niewielka część całkowitej zawartości tychże elementów w drzewie przypada na igły, bo zaledwie 10% azotu, 13% fosforu, 14% potasu, 7% wapnia i 8% magnezu (LEHTONEN 1978). U drzew 30-letnich podstawowe makroelementy (N, P i K) zgromadzone są głównie w igłach, które zawierają 37% całkowitej zawartości azotu znajdującego się w nadziemnej części drzewa i odpowiednio 39% fosforu i 37% potasu (TAMM 1963). Podobne proporcje w rozmieszczeniu pierwiastków w poszczególnych organach 24-letnich sosen uzyskał BRÆKKE (1977).

Stężenie pierwiastków, szczególnie w aparacie asymilacyjnym, podlega zmianom sezonowym w ciągu roku, co tłumaczy się dużymi zmianami w suchej masie igieł, która przyjmuje maksymalne wartości wiosną, a następnie zmniejsza się w czerwcu i lipcu (TAMM 1955). Według tego autora produkty fotosyntezy są magazynowane w igłach wiosną, a latem przemieszczane w dół, do niżej położonych części drzewa. LITVAK (1975) wiąże zmiany stężenia pierwiastków ze zmianą uwodnienia tkanek igieł, które się mocno zmniejsza w czasie wzrostu pędów. Wynika to zarówno ze zmian tempa transpiracji, jak i przechodzenia substancji rezerwowych w formy ruchome, które są przemieszczane do tkanek silnie rosnących.

W igłach jednorocznych zaobserwowano zmniejszanie się stężenia azotu, fosforu i potasu (SMIRNOV i KUZ'MINA 1966; PEŠKO i KRI-

NICKIJ 1975; KIŠČENKO 1978), a także miedzi, cynku i kobaltu (EL'KINA 1973), w ciągu sezonu wegetacyjnego, a szczególnie w okresie intensywnego wzrostu. W tym samym czasie w igłach jednorocznych zwiększało się stężenie wapnia, siarki, manganu i krzemu, a nie ulegało istotnym zmianom stężenie magnezu, żelaza czy glinu. W igłach dwuletnich obserwowano wzrost stężenia azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia, manganu, krzemu i siarki w ciągu całego okresu wegetacyjnego (TAMM 1955; SMIRNOV i KUZ'MINA 1966), nie ulegało natomiast zmianie stężenie żelaza i glinu. Maksymalne stężenia podstawowych makroelementów występują zatem późną jesienią i zimą (TAMM 1955). LITVAK (1975) stwierdził szybkie zmniejszanie się zapasu azotu w opadających w końcu października igłach, kiedy to jego stężenie wynosiło zaledwie 0,61-0,66%.

Usova (1977) badała zmiany zawartości popiołu w igłach i pędach 15-20-letnich sosen. Zawartość popiołu, wyrażona w procencie suchej masy, rosła od początku maja do początku czerwca, przy czym w igłach wzrost był trzykrotny, a w pędach nawet pięciokrotny. W następnych miesiącach następował spadek do wartości początkowych (pod koniec września) z niewielkim wzrostem w październiku.

Różnice w stężeniu poszczególnych pierwiastków w tkankach sosny wynikają też z wieku badanego materiału. U tych samych drzew, w igłach jednorocznych występują wyższe stężenia azotu, fosforu, potasu, siarki, a nawet magnezu niż w igłach dwuletnich, które z kolei mają wyższe stężenia wapnia, manganu, siarki i żelaza (SMIRNOV i KUZ'MINA 1966; FIEDLER i in. 1967; CZAPLA 1978a). HEINSDORF (1967a) stwierdził również wyższe stężenie magnezu w igłach zeszlatorocznych niż w igłach bieżącego przyrostu, a niższe zawartości azotu, fosforu i potasu w igłach wieloletnich przypisuje efektowi przemieszczania się pierwiastków do innych części rośliny oraz ich wymywaniu przez deszcz.

Porównując drzewa różnych klas wieku, od 6 do 85 lat, HEINSDORF (1976b) stwierdził mniej lub bardziej wyraźne zwiększanie się stężenia podstawowych makroelementów w igłach wraz z wiekiem drzew. CZERNEY i FIEDLER (1969) stwierdzili, że wraz z wiekiem drzew na wszystkich badanych siedliskach rosło stężenie żelaza w igłach, a na niektórych siedliskach także stężenie wapnia

i magnezu. Stężenie pozostałych pierwiastków utrzymywało się na równym poziomie lub obniżało, szczególnie w starszych klasach wieku – powyżej 80 lat. Obniżanie się lub zwiększanie stężenia pierwiastków w igłach wraz z wiekiem drzew zależy w dużej mierze od jakości siedliska (FIEDLER i in. 1967; CZERNEY i FIEDLER 1969).

Długoletnie badania w jednym i tym samym drzewostanie dają sposobność określenia wpływu czynników pogodowych na wartość analiz igieł. Zmienny przebieg pogody w różnych latach, a szczególnie dłużej utrzymujące się odchylenia od normalnych warunków pogodowych na przestrzeni roku, muszą wpływać decydująco na wyniki pomiarów próbek igieł, zbieranych z reguły pod koniec roku. WEHRMANN (1961) stwierdził u sosen zmniejszone stężenie azotu z powodu długo utrzymującej się suszy w 1959 roku. W następnym roku ten efekt był jeszcze większy i objął także potas, fosfor i wapń. Również HEINSDORF (1966a) donosi o zredukowanym pobieraniu azotu oraz w mniejszym stopniu fosforu, w latach suchych. CZAPLA (1979) uważa, że najniższa zawartość w igłach wapnia, fosforu i magnezu występuje w roku niedoboru opadów, natomiast azotu i potasu w roku następnym. Wskaźniki odżywiania azotowego pozytywnie korelują z ilością opadów w okresie formowania się igieł, czyli lipcu–sierpniu poprzedniego roku oraz w okresie intensywnego wzrostu igieł, czyli czerwcu–lipcu bieżącego roku (SUDNICYNA 1978). Według TAMMA (1963), w 32-letnim drzewostanie sosnowym stężenie azotu w igłach bieżącego przyrostu wahało się w latach 1953-1960 od 1,29 do 1,58%.

Stwierdzono również zmiany koncentracji pierwiastków w igliwiu, wynikające z jego położenia w koronie drzewa (NÖMMIK i POPOVIĆ 1968; PAAVILAINEN 1973; FOBER 1976a; CZAPLA 1978a). Stężenie pierwiastków w igłach, a także pędach czy pączkach, zwiększa się najczęściej w sposób ciągły z wierzchołka korony w kierunku podstawy.

Wartości stężeń niektórych pierwiastków w igłach lub innych organach sosny mogą być uzależnione od pochodzenia nasion (GERHOLD 1959; STEINBECK 1966; BOPP 1971; PATLAJ 1973a; JOROVA 1979; SZCZUBIAŁKA i KORCZYK 1983). Spośród polskich proveniencji sosen, siewki z północnych regionów zawierały wyższy procent azotu w suchej masie części nadziemnej (PRZYBYLSKI 1970b). BELOBORODOV ze wsp. (1983) stwierdzili na plantacji nasiennej sosny różnice między klonami pod względem składu chemicznego igieł.

Nawożenie mineralne ma istotny wpływ na zawartość i stężenie pierwiastków w igłach, powodując przede wszystkim zwiększenie zawartości

tych pierwiastków, które są podawane. Najczęściej obserwuje się zwiększenie stężenia azotu w igłach jednorocznych oraz wieloletnich po nawożeniu samym nawozem azotowym, jak również w mieszaniu z innymi składnikami (FIEDLER i HÖHNE 1965; ANONIM 1971; OSTROWSKA 1974; FRANZ i BIERSTEDT 1975; LEUBE i in. 1975; TÖLLE 1976a; KLIMČUK 1977; SZCZĘSNY 1977; CZAPLA 1978b; KISČENKO 1978; ROGALIŃSKI i in. 1979; KREUTZER 1981; MÖLLER 1984). Wzrost stężenia azotu w igłach jest znaczny, najczęściej około 30%, a przy intensywnym nawożeniu azotowym nawet o 100%. Wzrost jest tym większy, im uboższa jest gleba lub im niższe jest stężenie azotu w igłach przed nawożeniem. Stwierdzono również pozytywny wpływ nawożenia fosforowego na zawartość fosforu w igłach (HIPPEL 1967; IPATEV i in. 1977; HEINSDORF 1982a), chociaż obserwowano także brak takiej reakcji (HEINSDORF 1967b; CZAPLA 1978b). Z innych pierwiastków stosowanych w nawożeniach i powodujących wzrost ich stężenia w igłach, odnotować jeszcze należy wapń (HEINZE 1973), potas (HEINSDORF 1967b; 1978; IPATEV i in. 1977; CZAPLA 1978b), magnez (HEINSDORF 1967b), bor (VEIJALAINEN 1980; ARONSSON 1984). Natomiast po nawożeniu miedzią, cynkiem i manganem nie stwierdzono wpływu na stężenie tych pierwiastków w igłach; kationy te prawdopodobnie były absorbowane w poziomie próchnicznym (ARONSSON 1984).

Nawożenie sosny jednym elementem rzadko powoduje wzrost zawartości w igłach innych elementów. Przy nawożeniu azotem w małych dawkach FIEDLER i HÖHNE (1965), a także HIPPEL (1976), stwierdzili w igłach wzrost zawartości fosforu, potasu, wapnia i magnezu, natomiast LEUBE i in. (1975), po nawożeniu mocznikiem, wzrost stężenia manganu. Częściej natomiast, na skutek efektu rozcieńczenia lub konkurencji jonów, po nawożeniu mineralnym następuje w igłach spadek stężenia tych pierwiastków, które nie wchodziły w skład nawozów. I tak na przykład, nawożenie azotowe spowodowało zmniejszenie w igłach stężenia fosforu (HEINSDORF 1967b; 1982b; KENNEL i WEHRMANN 1967; LEUBE i in. 1975; ROGALIŃSKI i in. 1979) oraz potasu, wapnia, magnezu, sodu, boru (KENNEL i WEHRMANN 1967; LEUBE i in. 1975; BONDAR' 1976; ROGALIŃSKI i in. 1979; MÖLLER 1984). Również kompleksowe nawożenie NPK spowodowało zmniejszenie w igłach stężenia magnezu (HEINSDORF 1967b), boru i manganu (VEIJALAINEN 1977), a nawożenie NPKCa zmniejszenie stężenia siarki (OLSZOWSKI 1976).

Poziom pierwiastków w igłach sosny zależy też od jakości siedliska i żyzności podłoża. Wielokrotnie stwierdzano istotne różnice między siedlis-

kami pod względem stężenia w igłach N i P (WEHRMANN 1959a; HEINSDORF 1966a), N i K (FIEDLER i in. 1967), N, P i K (PORGASAAR 1965; IVANOVA i LAVRIČENKO 1980), N, P, K, Ca i Mg (HEINSDORF 1967c; KOŠEL'KOV 1967), N, P, K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, B, Zn i Al (STEINBECK 1966). TÖLLE (1976b) i HEINSDORF (1981) stwierdzili korelację między zawartością azotu w igłach i całkowitą ilością tego pierwiastka w górnej warstwie gleby. Różnice w zawartości fosforu w pędach sosen rosnących na różnych siedliskach były istotne na początku sezonu wegetacyjnego i w okresie intensywnego wzrostu, zanikały natomiast pod koniec wegetacji (BOGDANOVA 1962). IVANOVA i LAVRIČENKO (1980) uważają, że stosunek N:P:K wynosi u sosny 67:7:26 i jest niezależny od typu siedliska i wieku drzew. Może być przydatny przy określaniu wymagań pokarmowych i obliczaniu optymalnych dawek nawozowych.

Korelacji między cechami wzrostowymi roślin a wewnętrznym stężeniem pierwiastków w ich suchej masie można oczekiwać tylko wówczas, gdy dany pierwiastek występuje w niewystarczającej ilości i stanowi czynnik minimum. Przy pełnym zaopatrzeniu, dalsze pobieranie nie powoduje zwiększenia plonu (konsumpcja luksusowa), a nawet prowadzi do zmniejszenia plonu (zakres szkodliwy) (CZERNEY i FIEDLER 1969).

U młodych sosen stwierdzono istotną pozytywną korelację między stężeniem N, P i K w igłach pędów wierzchołkowych a wysokością drzew (LEYTON i ARMSON 1955) lub średnim rocznym przyrostem wysokości (HEINSDORF 1964). W dojrzałym drzewostanie stężenie azotu w igłach korelowało z bieżącym przyrostem rocznym (KENNEL i WEHRMANN 1967). Również LEHTONEN i wsp. (1976) wykazali pozytywną korelację między wysokością sosen a procentową zawartością pierwiastków w igłach i drewnie.

W doświadczeniu wazonowym z siewkami sosny korelacja między zawartością azotu w igłach a wysokością siewek czy ich suchą masą, była silniejsza na glebach ubogich niż na glebach żyzniejszych (RAID 1982). W zależności od siedliska poziom azotu w igłach może korelować z wysokością drzewa pozytywnie lub negatywnie (STEINBECK 1966). Negatywna korelacja występowała w rejonach suchych, gdy brak wilgoci ograniczał wzrost i przy minimalnej produkcji biomasy zawartość azotu w igłach była względnie wysoka (ZÖTTL i VELASCO 1966). Przeprowadzone przez PRUSINKIEWICZA i BIAŁEGO (1982) badania porównawcze wykazały, że w porównaniu z tradycyjnymi jednostkami procentowymi, wyniki analizy ilościowej, wyrażone w mg/100 par igieł, silniej

korelują z bieżącymi przyrostami wysokości drzewa i dlatego lepiej nadają się do oceny sytuacji troficznej drzewostanów sosnowych.

Zmienne zaopatrzenie w jeden pierwiastek może spowodować zmiany stężenia w igłach innych pierwiastków – albo przez pośrednią interakcję, albo przez zmianę wzrostu. W ten sposób można uzyskać pozytywną lub negatywną korelację między wzrostem a stężeniem pierwiastków, chociaż w innych warunkach takie korelacje mogą nie występować.

Mimo wpływu tak licznych czynników na skład chemiczny igieł, można na podstawie literatury ustalić pewne optymalne zakresy stężeń pierwiastków, przy których następuje maksymalny wzrost drzew. W zależności od warunków wzrostu i wieku drzew, optymalne dla wzrostu sosny stężenie azotu w igłach waha się od 1,3 do 3,2%, fosforu od 0,11 do 0,3%, potasu od 0,35 do 0,9%, magnezu od 0,06 do 0,14% i wapnia od 0,05 do 0,50% (TAMM 1956; HÖHNE i FIEDLER 1967a; PAARLAHTI i in. 1971; FIEDLER i in. 1973; JOROVA 1976; 1979).

Analizy chemiczne, wykonywane w celu określenia stanu odżywczego drzewa, muszą być podane szczególnej uwadze pod względem metody zbioru materiału roślinnego oraz czasu i miejsca pobierania próbek. Najczęściej zalecany terminem zbioru igieł sosny do analiz jest późna jesień, ewentualnie zima (TAMM 1955; WEHRMANN 1959b; HEINSDORF 1967a), kiedy to zawartość głównych pierwiastków jest względnie stała. Aby wyniki były porównywalne, należy analizować igły równoległe – najlepiej bieżącego przyrostu z pędu wierzchołkowego (LEYTON i ARMSON 1955; HEINSDORF 1967a) lub z górnej części korony (KOSTYLEVA 1973). Przy ocenie stanu odżywczego młodnika sosnowego najbardziej miarodajne były wyniki analiz chemicznych igieł jednorocznych; w przypadku azotu z pędów szczytowych, potasu i wapnia ze środkowej części korony, a w przypadku fosforu i magnezu z całej korony drzewa (CZAPLA 1978a). Według WEHRMANN (1959b), przy porównaniu drzewostanów z analizami azotu i fosforu należy pobierać próbki igieł z około 10 drzew, potasu i magnezu z co najmniej 30 drzew, a przy oznaczaniu wapnia z około 100 drzew w każdym drzewostanie.

5.6.2. OBJAWY BRAKU I NADMIARU SUBSTANCJI POKARMOWYCH

Objawy obserwowane na igłach to najczęściej chlorozy, czyli żółtawe, odwracalne

przebarwienia igieł i nekrozy, czyli brunatnawe, nieodwracalne przebarwienia. Symptomy takie są następstwem zakłóconych procesów przemiany materii, które ograniczają tworzenie chlorofilu lub wzmagają tworzenie antocyjanów (FIEDLER i in. 1973).

Charakterystycznym objawem braku azotu jest żółknięcie igieł oraz zmniejszenie się ich wielkości (LAMBERTS 1961; ZECH 1968; BAULE i FRICKER 1973). Igły przebarwiają się na kolor od jasnozielonego do żółtozielonego, ale bez nekroz. Objawy występują przede wszystkim na starszych organach asymilacyjnych (FIEDLER i in. 1973). Wzrost korzeni jest stosunkowo silny; jest to tak zwany „wzrost głodowy” (BAULE i FRICKER 1973). Kultury siewek, dla których jedynym źródłem azotu był mocznik, wykazywały również mocne chlorozy igieł oraz bardzo kruchy system korzeniowy. Poza tym korzenie były cienkie i nie miały trzeciorzędowych odgałęzień (CHRISTERSSON 1972).

Przy niedostatku fosforu następowało **u 5-miesięcznych siewek sosny sinawoniebieskie przebarwienie igieł i zahamowanie wzrostu** (LAMBERTS 1961), natomiast brak fosforu powodował brązowienie i purpurowienie końców igieł w górnych partiach siewek (ČIŽKOVA 1981). Ogólnie brak fosforu przejawia się u sosny przebarwieniem igieł na kolor fioletowy, fioletowobrązowy lub nawet czerwony (BAULE i FRICKER 1973). Objawy te występują szczególnie silnie pod koniec lata, a na zmiany podatniejsze są igły stare, które przebarwiają się wcześniej i silniej niż igły młode. Silny brak fosforu prowadzi do całkowitego obumierania jednorocznych pędów razem z pączkami (FIEDLER i in. 1973).

Brak potasu powodował u siewek sosny postępujące od wierzchołka żółknięcie końców igieł, podczas gdy całe liście były brązowe (ČIŽKOVA 1981). Brak potasu powoduje w pierwszej kolejności przebarwienie starszych igieł (ZECH 1968; FIEDLER i in. 1973), ponieważ pierwiastek ten jest przemieszczany do najmłodszych organów asymilacyjnych. Przy słabym niedoborze potasu na końcach jednorocznych igieł pojawiają się bladeżółte chlorozy, podczas gdy pozostała

część igły pozostaje ciemnozielona (FIEDLER i in. 1973), przy czym charakterystyczne jest łagodne przejście między zieloną podstawą igieł a żółtą końcówką. Symptomy braku potasu są najwyraźniejsze jesienią, zimą i wczesną wiosną, kiedy to igły mogą przybierać barwę brązową lub czerwono-brązową, a w końcu całkowicie obumierać (BAULE i FRICKER 1973). ZECH (1968) uważa, że silny brak potasu u sosny prowadzi już latem do wystąpienia chlorozy i nekroz, które jesienią i zimą obejmują wszystkie igły. Następnej wiosny już tylko kilkumilimetrowa podstawa igły pozostaje zielona. Intensywność przebarwienia igieł jest częściowo uwarunkowana genetycznie; symptomy niedoboru potasu występują najsilniej u sosen pochodzących z kontynentalnych obszarów klimatycznych (BAULE i FRICKER 1973).

Przy braku magnezu występują objawy podobne jak przy braku potasu, to znaczny żółte, złotożółte i pomarańczowożółte przebarwienie końców igieł, które jest jednak ostro oddzielone od zielonej podstawy igły (ZECH 1968; BAULE i FRICKER 1973; FIEDLER i in. 1973). Przebarwienie jest najsilniejsze jesienią, a w następnym roku przebarwia się również podstawa igły. Objawy braku magnezu występują najczęściej na starszych igłach, które też łatwo opadają (FIEDLER i in. 1973). Obserwuje się również żółknięcie wierzchołków pędów i zahamowanie we wzroście (BAULE i FRICKER 1973). HEINSDORF (1968) podaje objawy braku magnezu u jednorocznych siewek, polegające na jesiennym przebarwieniu końców igieł na kolor jasnozielony do żółtozielonego, co prowadziło w ciągu zimy do ich częściowego brązowienia i obumierania. Obserwowano przy tym ograniczony wzrost siewek i ich częściowe wymieranie.

Przy równoczesnym niedoborze w glebie potasu i magnezu, obserwuje się w drzewostanach sosnowych żółknięcie igieł (NÉMEC 1942; BRÜNING i KRÓLIKOWSKI 1974).

Objawy braku wapnia występują rzadko, a polegają na brązowym przebarwieniu końców pędów i słabym wzroście korzeni (FIEDLER i in. 1973), co można najłatwiej zobaczyć

w kulturach wodnych (BAULE i FRICKER 1973). U siewek rosnących w warunkach niedoboru wapnia końce korzeni były brązowe (ČIŽKOVA 1981).

Przy niedoborze siarki igły są krótkie, barwy żółtozielonej lub białoniebieskawej. Przy silnym braku siarki może nastąpić zamieranie całych drzew (BAULE i FRICKER 1973).

Przy braku żelaza chorują przede wszystkim najmłodsze, szczytowe części rośliny. Młode igły przebarwiają się na żółto, podczas gdy starsze igły pozostają zielone, stają się bladzielone albo żółtozielone (ZECH 1968; 1970).

Brak manganu powoduje żółte lub brązowe zabarwienie końców igieł młodocianych, które stają się kruche i zażywiczone. Igły właściwe są pokręcone, niedorozwinięte i wykazują chlorozę z brązowymi nekrotycznymi plamami (GUNIA 1967).

Brak boru charakteryzuje się jasnopomarańczowym przebarwieniem igieł, które ponadto mają jasnobrązową obwódkę (GUNIA 1967). RAITIO (1979) podaje następujące zaburzenia u sosen, spowodowane deficytem boru: zamieranie pąków i obfity wypływ żywicy, poskręcane pędy z pęknięciami i zgrubieniami, zaburzenia dominacji wierzchołkowej, rozwidlenia, zaktócenia w rozwoju pędów i ich zamieranie. Igły na końcach pędów były często bardzo grube, krótkie, sierpowato zakrzywione lub poskręcane. HAVERAEN (1966) obserwował w doświadczeniu wazonowym symptomy braku boru, które polegały na zamieraniu pączków, a czasem również pędów.

Przy braku cynku w igłach młodocianych powstaje wąska brązowa obwódka, a igły właściwe są jasnożółte (GUNIA 1967).

Brak miedzi powoduje przebarwienie igieł na kolor czerwono-brunatny (GUNIA 1967).

U sosen rosnących w Finlandii na osuszonych torfowiskach lub starych glebach porolnych, występują czasem krzaczaste formy wzrostu, spowodowane zamieraniem pędu szczytowego przez kolejne lata, nienormalnie skrócone pędy oraz sierpowate lub poskręcane igły. W igłach tych sosen stwierdzono zredukowaną zawartość boru, cynku i miedzi (RAITIO i RANTALA 1977).

Sosna wykazuje często chlorozę na glebach z nadmierną zawartością wapnia. Chloroza ta jest spowodowana niedostatkami żelaza. Młode igły są wówczas białawożółte, podczas gdy stare igły są zielone albo żółtozielone (ZECH 1970).

Przyczyną zakłóceń wzrostu i rozwoju drzew oraz licznych objawów morfologicznych mogą być nadmierne ilości pierwiastków, nagromadzonych w wyniku przemysłowego zanieczyszczenia środowiska. Zagadnienie to jest opracowane w innych rozdziałach.

Objawy niedostatku pierwiastków, polegające na przebarwieniach igieł, są łatwe do obserwacji, jednak ocena stanu odżywczego drzew przeprowadzona na ich podstawie jest pewna tylko przy bardzo dużych brakach poszczególnych elementów. Ponadto symptomy braku różnych pierwiastków mogą być podobne i trudne do odróżnienia, a w dodatku podobne do objawów spowodowanych innymi przyczynami, jak susza, mróz, grzyby czy owady. Dodatkową trudność stanowi równoczesny brak kilku pierwiastków. Stąd w praktyce ocena wizualna powinna być potwierdzona analizami chemicznymi igieł oraz gleby.

5.6.3. WPŁYW PIERWIASTKÓW NA WZROST SOSNY

Chociaż wyniki analiz chemicznych dostarczają licznych informacji na temat rozmiaru niedoborów poszczególnych pierwiastków limitujących wzrost drzewa oraz na temat interpretacji obserwacji terenowych, są jednak mniej przydatne przy ocenie stopnia reakcji na zwiększone zaopatrzenie — z powodu skomplikowanych interakcji z innymi czynnikami. Dokładnych informacji na temat wpływu poszczególnych pierwiastków na wzrost drzew i drzewostanów mogą dostarczyć konkretne doświadczenia nawozowe, planowane na podstawie dostępnej wiedzy na temat podejrzewanych niedoborów oraz doświadczenia ze zróżnicowanym poziomem

żywienia mineralnego, zakładane w formie kultur wodnych i piaszkowych.

5.6.3.1. AZOT

STRATANOVIČ i JAKOVLEV (1974) informują o niekorzystnym wpływie nawozów azotowych na kiełkowanie nasion sosny. Dodawanie do 1 tony torfu 8 kg azotu w postaci mocznika lub azotanu sodowego redukowało kiełkowanie nasion. Duże dawki azotu redukowały również tempo wzrostu siewek i zmniejszały ich przeżywalność (PAAVILAINEN 1977) oraz ograniczały rozwój systemu korzeniowego (PAAVILAINEN 1966). KAUNISTO i PAAVILAINEN (1977) stwierdzili zamieranie niektórych siewek oraz uszkodzenia igieł wskutek wysokich dawek azotu, powodujących wzrost stosunku N/P w igłach powyżej wartości 11-13.

Azot stosowany z umiarem ma korzystny wpływ na siewki sosny, zwiększa zarówno wzrost pędów, jak i korzeni (ANTILA i LÄHDE 1977). Według CHRISTODOROVA (1975), wraz ze wzrostem dawek nawozowych następowało ograniczenie wzrostu długości korzeni, ale zwiększała się ich masa, czyli grubość oraz liczba korzeni bocznych. INGESTAD (1963) uważa, że rozwój korzeni bocznych u siewek sosny w większym stopniu stymuluje amonowa niż azotanowa forma azotu. Ponieważ wzrost suchej masy korzeni pod wpływem wzrastających dawek azotu jest stosunkowo niższy od przyrostu masy części nadziemnej siewki, następuje obniżenie stosunku korzeń/pęd (BŐSZÖRMÉNYI 1956). Jednak na wartość tego stosunku zdecydowany wpływ ma forma azotu podawana roślinom; zwiększa się on pod wpływem azotanów, a zmniejsza pod wpływem soli amonowych (INGESTAD 1963; ŁOTOCKI i ŻELAWSKI 1973; ZAJĄCZKOWSKA 1973; MICHNIEWICZ i in. 1976).

Nawożenie młodników sosnowych samym azotem hamowało wzrost drzew na glebach o dużej zawartości azotu lub niskiej zawartości fosforu (HEINSDORF 1976c). Częściej jednak uzyskuje się pozytywny wpływ nawożenia azotem młodnika sosno-

wego, w postaci ogólnego polepszenia wzrostu drzew (KRAUSS 1969), zwiększenia średnicy drzew (CZAPLA 1978b), przyrostów wysokości (ŠUMAKOV i MIRONOV 1974; KLIMČUK 1977), a przede wszystkim wielkości igieł i ich masy (HEINSDORF 1966b; HÖHNE i FIEDLER 1967b; SUDNICYNA 1976; KLIMČUK 1977; MOROZOV i ŠIMANSKIJ 1981; KELLOMÄKI i in. 1982), z czym wiąże się też zwiększenie fotosyntezy. Po nawożeniu azotowym masa igieł może się zwiększyć nawet o około 90% (KLIMČUK 1977).

W dojrzałych drzewostanach sosnowych nawożenie azotowe wykazuje korzystny wpływ na wzrost wysokości (FIEDLER i HÖHNE 1965), przyrosty rocznych słoju (HAUSSER 1960; PARŠEVNIKOV i in. 1985), a przede wszystkim dodatnio wpływa na przyrost masy (HIPPELI 1967; 1976; KREUTZER 1967; 1981; ŠUMAKOV i ORFANITSKAJA 1972; FRANZ i BIERSTEDT 1975; GUSTAVSEN i LIPAS 1975; TÖLLE 1975; 1976a; ZVIRBUL' i GRIŠKOVA 1975; DAKEV i in. 1976; KENNEL i FRANZ 1977; PARŠEVNIKOV i in. 1978; 1985; NÖMMIK i MÖLLER 1981; SARAMÄKI i VALTANEN 1981; HIPPELI i in. 1984). Rzadko natomiast spotyka się w literaturze informacje o zakłóceniach lub redukcji wzrostu dojrzałych drzew sosnowych po nawożeniu azotowym (PAAVILAINEN i SIMPANEN 1975; KAUNISTO 1977; PAAVILAINEN 1978). Jeśli występują, to spowodowane są zastosowaniem zbyt wysokich dawek nawozów, bądź nawożeniem żywnych siedlisk.

5.6.3.2. FOSFOR

Jak wynika z literatury, sosna reaguje w mniejszym stopniu na fosfor niż na azot, a pozytywny wpływ nawożenia fosforowego zaznacza się najczęściej tylko w szkółkach lub w młodnikach. Zastosowanie 30 g fosforu na roślinę przy sadzeniu dwuletnich sosen zwiększyło przeszło 2-krotnie ich przeżycie w porównaniu z nienawożoną kontrolą (POHTILA 1972).

ANTTILA i LÄHDE (1977) informują o zwiększonym wzroście pędów siewek sosny w szkółce, natomiast HEINSDORF (1982a) – o zwiększonym wzroście wysokości sosny

w młodniku po nawożeniu fosforowym. Zastosowanie kompostu i superfosfatu zwiększyło 4-krotnie w porównaniu z kontrolą suchą masę siewek (TRIBUNSKAJA 1954).

Obserwuje się także brak reakcji na nawożenie fosforowe u sosen różnych klas wieku i na różnych siedliskach (KRAUSS 1966; BRANTSEG i in. 1970; POPOVIĆ i KOMLENOVIĆ 1970). Na glebach ubogich w magnez nawożenie samym fosforem negatywnie oddziaływało na wzrost młodych sosen (HEINSDORF 1968). Podobnie zbyt wysokie dawki fosforu, powyżej 100 kg/ha, powodowały zakłócenie równowagi pierwiastków w igłach i zaburzenia wzrostu (PAAVILAINEN 1979).

5.6.3.3. POTAS

Nawóz potasowy, aplikowany w szkółce w dużych dawkach, redukował kiełkowanie nasion sosny (STRATANOVIĆ i JAKOVLEV 1974). Podobnie jednoroczne siewki w szkółce wykazywały po podaniu 240 kg K/ha redukcję wzrostu w porównaniu z nienawożoną kontrolą, a zwiększenie wzrostu wysokości przy niższych dawkach potasu (TULSTRUP 1951). W młodnikach i drzewostanach sosnowych niższych klas wieku nawożenie samym potasem często nie wykazuje żadnego wpływu na wysokość roślin czy przyrost masy (BRÜNING 1966; KRAUSS 1969; BRANTSEG i in. 1970; TÖLLE 1975; HEINSDORF 1976c; SUDNICYNA 1976). Nieliczne są natomiast przykłady pozytywnego wpływu nawożenia potasowego. BRÜNING i KRÓLIKOWSKI (1971; 1974) uzyskali zwiększony o 50 % przyrost masy po nawożeniu potasem na glebach bardzo ubogich, piaszczystych, na których przed nawożeniem sosna wykazywała zahamowany przyrost, krzaczasto-kałową formę korony i krótkie, bladezielone lub żółte igły. Natomiast w doświadczeniu PAAVILAINENA (1979), wykonanym na glebach bogatych w azot, sosna rosła najlepiej przy tych kombinacjach nawozowych, które zawierały potas.

5.6.3.4. WAPŃ

Częste są przypadki niekorzystnego oddziaływania wapnia na wzrost i rozwój sos-

ny. Wapnowanie szkółki redukowało wysokość i liczbę rozgałęzień siewek, zwiększając wartość stosunku masy korzenia do części nadziemnej (INGESTAD 1963). FABRICIUS (1939) stwierdził brak reakcji na wapń nawet u siewek rosnących na glebach z deficytem tego pierwiastka. Nawożenie wapniakiem w ilości 4,5 t/ha w borze świeżym miało niekorzystny wpływ na wzrost 30-letnich sosen (RJABUCHA 1975). Również różne doświadczenia w Szwecji wykazały niewielki wpływ lub brak reakcji sosny na wapń (HOLMEN 1979). W starym drzewostanie sosnowym nawożenie wapniem nie zwiększyło przyrostów wysokości, ale przy odpowiedniej dawce (2,7 t CaO/ha) zwiększyły się o 22% roczne przyrosty stojów (MITSCHERLICH i WITTICH 1958). Przy podwójnej dawce wapnia przyrosty stojów były mniejsze niż w kontroli.

O korzystnym wpływie nawożenia wapniakiem oraz gipsem na wzrost siewek sosny informuje CHARITONOV (1970; 1978). Na kwaśnej brunatnej glebie leśnej oba nawozy spowodowały polepszenie wzrostu siewek, natomiast na słabo zbielicowanej glebie piaszczystej wapniak zwiększał wzrost pędów szczytowych, zmniejszając równocześnie przyrosty pędów bocznych, a gips zwiększył przyrost pędów bocznych, nie zwiększając przyrostu pędów szczytowych. W doświadczeniu nawozowym wapń zwiększył, w porównaniu z kontrolą, przyrosty wysokości 14-letnich sosen, ich średnicę oraz masę, jak również długość i liczbę igieł (KRÓLIKOWSKI 1956).

5.6.3.5. MIKROELEMENTY

Liczne prace informują o korzystnym wpływie aplikowania mikroelementów na kiełkowanie nasion oraz wzrost i rozwój siewek sosny. Według SIMONOVA (1963), kiełkowanie nasion zwiększyło się pod wpływem traktowania ich roztworami miedzi i boru lub mieszaniny manganu, cynku, miedzi i boru o stężeniu 30 mg/l. Aplikowanie boru i manganu na glebach nawożonych uprzednio fosforem zwiększyło zdolność kiełkowania nasion sosny do 71-84% (ŠČERBAKOV

1956). Z kolei moczenie nasion przez 12 godzin w 0,02% roztworze siarczanu miedziowego, w 0,03% roztworze siarczanu cynkowego lub 0,005 i 0,01% roztworach siarczanu niklowego przeszło dwukrotnie zwiększyło plon siewek w porównaniu z kontrolą.

Stwierdzono również większą akumulację suchej masy siewek po podlewaniu ich roztworami boru, manganu, miedzi, cynku lub molibdenu (ENESCU i in. 1970) oraz polepszenie wzrostu, przyspieszenie transportu produktów asymilacji i związków fosforu, a także zwiększenie syntezy kompleksowych związków organicznych po oprysku igieł siewek wodnymi roztworami kwasu borowego, siarczanu manganowego, siarczanu miedziowego i molibdenianu amonowego (ŽURAVLEVA i SAVINA 1976). Jak wykazały pomiary wykonane po 20 latach od założenia doświadczenia, nawożenie borem w ilości 50 kg/ha w czasie sadzenia zwiększyło średnią wysokość drzew oraz średnią miąższość pni (VEIJALAINEN 1981).

5.6.3.6. NAWOZY WIELOSKŁADNIKOWE

Ponieważ sosna może rosnąć na ubogich glebach piaszczystych, duże korzyści wzrostowe uzyskuje się przy nawożeniu kompleksowym, czyli równoczesnym podawaniu dwu lub kilku pierwiastków.

Po nawożeniu NP uzyskano zwiększenie wzrostu wysokości sosny w szkółce (TULSTRUP 1951), zwiększenie masy siewek w doświadczeniu doniczkowym (SMILDE 1977), lepszy wzrost upraw sosnowych oraz drzewostanów niższych klas wieku (KERN i MOLL 1970; PODŽAROV i NIKITENKO 1974; DAKEV i in. 1976; HEINSDORF 1976c; HAAPANEN i in. 1979). HEINSDORF (1978) uzyskał długotrwały pozytywny efekt nawożenia NK upraw sosnowych, w postaci zwiększenia masy igieł oraz przyrostów wysokości i masy drewna. W dojrzałych drzewostanach takie nawożenie zwiększyło przyrost stojów rocznych o 20-26% (GAZIZULLIN i in. 1971). W czwartym roku po nawożeniu PK uprawy sosnowej wysokość sadzonek 3-5-krotnie przewyższała nienawożoną kontrolę (PODŽAROV i NIKITENKO 1974). Również na licznych poletkach doświadczalnych w Finlandii, zakładanych na siedliskach osuszonych bagien, zastosowanie nawożenia PK zwiększyło po-

wierzchnię przekroju pni sosen o 60-65% (PAAVILAINEN 1978). Korzystny wpływ na wzrost sosny stwierdzono również po nawożeniu K₂Mg (TRILLMICH i UEBEL 1972) i P₂Ca (MITSCHERLICH i WITTICH 1958).

Najczęściej jednak i z największym pozytywnym skutkiem stosuje się nawożenie NPK. Uzyskano tą drogą poprawę jakości siewek (REDKO i NAKVASINA 1981) oraz większy wzrost ich wysokości (POPOVA 1958; GUNIA 1960; ASANOVA 1962; HEIKURAINEN i VEIJOLA 1971; LÖFFLER 1972). Nawożenie NPK 5-letnich sosen na różnych siedliskach zwiększyło średnio 2-3-krotnie ich suchą masę (HEINSDORF 1986); 3-krotnie większa była masa drewna 18-letnich sosen rosnących na ubogich glebach piaszczystych, którym aplikowano NPK w trakcie zakładania powierzchni (VJARBILA i ŠLEJNIS 1981). W dojrzałych drzewostanach sosnowych można zaobserwować po nawożeniu NPK znacznie większy niż w kontroli przyrost masy drewna o 20-70%, w zależności od wieku drzewostanu i siedliska (BRANTSEG 1962; TAMM 1963; RACHTEENKO 1981; RYABUKHA 1982; VALK i in. 1985).

W zależności od potrzeb, obok elementów podstawowych, to znaczy azotu, fosforu i potasu, nawóz zawiera dodatkowo wapń, magnez czy siarkę lub wszystkie te elementy łącznie. Na zdegradowanych siedliskach piaszczystych, słabo rosnący drzewostan sosnowy zareagował dwukrotnym zwiększeniem masy drewna po nawożeniu NPKMg (TRILLMICH 1979). Dobre rezultaty dały również inne kombinacje składników pokarmowych z magnezem, a mianowicie NKMg, PKMg i NPMg. W innym drzewostanie nawożenie NPKMg spowodowało, w porównaniu z kontrolą, zwiększenie powierzchni przekroju pni o 11% (TRILLMICH i UEBEL 1982). VORONIN i BAGLAJ (1975) informują o zwiększonym przyroście masy w 50-letnim drzewostanie sosnowym, w którym aplikowano nawóz NPKCa. W zależności od wysokości dawek poszczególnych składników, dodatkowy przyrost masy spowodowany nawożeniem wynosił w okresie 5-letnim od 21 do 31 m³/ha. Korzystny wpływ nawożenia NPKCa potwierdzają również wyniki doświadczeń KERNA i MOLLA (1970). HATTEMER i in. (1977) informują o zwiększeniu średnicy pni, długości i średnicy gałęzi oraz długości igieł u sosen nawożonych NPKCaMgS.

5.6.4. TERMIN NAWOŻENIA

Ogólnie panuje opinia, że **optymalnym terminem aplikowania nawozów mineral-**

nych jest początek sezonu wegetacyjnego, czyli wiosna, ewentualnie początek lata (HEINSDORF 1967d; VIRO 1970; PIKK 1982; PURO 1982). Szczególnie nawozy azotowe powinny być bezpośrednio pobierane przez rośliny, gdyż są one słabo sorbowane przez glebę i istnieje duże ryzyko strat, spowodowane wymywaniem ich z gleby. LIPAS i LEVULA (1980) stwierdzili jednak na podstawie 5-letnich obserwacji, że jesienne lub zimowe nawożenie mocznikiem dało większy przyrost masy w starym drzewostanie sosnowym niż aplikowanie tego nawozu wiosną. Również HEINSDORF i SCHULZE (1975) wykazali, że nawożenia od połowy sierpnia dają również dobre wyniki, jak powszechnie stosowane nawożenia wiosenne. Prowadzone zatem na wielką skalę nawożenia z samolotów mogą być odłożone do późnego lata lub jesieni.

5.6.5. RODZAJ STOSOWANEGO NAWOZU

Pośród nawozów azotowych, stymulujące na wzrost siewek sosny w większym stopniu działa siarczan amonowy niż azotan amonowy (INGESTAD 1963) czy azotan sodowy (DEMORTIER i FOUARGE 1938). Z kolei azotany – amonowy czy amonowo-wapniowy – są istotnie korzystniejsze dla wzrostu sosny niż mocznik (BRANTSEG i in. 1970; ERICSON i in. 1971; MÖLLER 1971; HEINSDORF i SCHULZE 1975; FIEDLER i in. 1984).

W badaniach porównawczych GAWLIŃSKI (1979; 1983) stwierdził, że siewki sosny lepiej wykorzystywały jako źródło fosforu ortofosforan wapniowy czy glinowy, a także superfosfat i fosforyt, niż ortofosforan żelazowy. Natomiast różne formy potasu, to znaczy chlorek potasowy, siarczan potasowy i kalimagnezja były efektywne w równym stopniu.

A zatem reakcja sosny na nawożenie jest w dużym stopniu uzależniona od rodzaju stosowanego nawozu, czyli od formy składnika pokarmowego. Poza tym oddziaływanie określonego nawozu zależy od rodzaju gleby i jej wilgotności.

5.6.6. CZAS TRWANIA WPŁYWU NAWOŻENIA

Czas trwania reakcji sosny na stosowanie nawożenia mineralnego zależy od wielu czynników, takich jak wiek drzewostanu, typ siedliska, wilgotność podłoża, rodzaj i skład nawozu mineralnego. Niemniej jednak, na podstawie licznych publikacji, można w przybliżeniu określić czas pozytywnego oddziaływania aplikowanych nawozów na niektóre cechy badanych drzew czy drzewostanów. Efekt jednorazowego nawożenia azotowego trwa tylko kilka lat, a kulminacja występuje w 3-4 roku po nawożeniu (HEINSDORF 1967d; MÖLLER i RYTTERSTEDT 1975; HAPANEN i in. 1979). Bardzo długo, bo 10-15 lat po traktowaniu potasem BRÜNING i KRÓLIKOWSKI (1973a; 1973b) obserwowali zwiększone w porównaniu z kontrolą przyrosty średnicy pnia. Natomiast ewidentny wpływ nawożenia NPK na przyrosty wysokości i masy drzew utrzymuje się przez 6-8 lat (IPATIEV i PAAVILAINEN 1975; VALK i in. 1977). Na podstawie doświadczeń porównawczych, założonych na siedliskach bagiennych, HEIKURAINEN (1983) stwierdził, że reakcja na nawożenie pod względem bieżących przyrostów wysokości utrzymywała się około 15 lat

w południowej i około 5-8 lat w centralnej Finlandii. Z kolei o około 3 lata dłuższy jest czas oddziaływania nawożenia rozsianego od punktowego (HEIKURAINEN i LAINE 1976).

Poprawa stosunków odżywczych w pierwszym sezonie wegetacyjnym po nawożeniu ma u sosny mniejszy wpływ na wzrost wysokości, a większy na przyrost średnicy, a przez to na masę roślin. W roku nawożenia najbardziej znacząco reaguje masa igieł (HEINSDORF 1966b).

Ze względu na stosunkowo krótki czas oddziaływania jednorazowego nawożenia, HEINSDORF (1967d) zaleca na siedliskach piaszczystych, na których skuteczne zwiększenie plonu drewna jest możliwe tylko przez uzupełnianie składników pokarmowych, trzykrotnie powtarzać nawożenie w stadium uprawy, jak również kilkakrotnie powtarzać zabieg w stadium drągowiny i w dojrzałym drzewostanie. Uzyskamy wówczas dobrze rosące i zdrowe uprawy sosnowe, które możliwie szybko i bez większych wypadów wejdą w stadium zwarcia, stwarzając podstawy dla prawidłowo rosącego, jakościowo dobrego i wysoko produkcyjnego drzewostanu sosnowego.

5.7. ZABURZENIA W PROCESACH FIZJOLOGICZNYCH I METABOLIZMIE POD WPŁYWEM GAZOWYCH ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA*

Sosna zwyczajna uznawana jest powszechnie za gatunek bardzo wrażliwy na działanie gazowych zanieczyszczeń powietrza, nawet w ramach samego rodzaju *Pinus*. Opisano to w licznych przeglądowych i oryginalnych pracach dotyczących wpływu dwutlenku siarki (RANFT i DÄSSLER 1970; SUCHARA 1980; BIGGS i DAVIS 1981) i innych

toksycznych gazów o charakterze kwasowym – HF oraz związków fluoru (KLUCZYŃSKI 1976; WEINSTEIN 1977), zasadowym – NH_3 (SUCHARA 1980), a także gazów utleniających, jak ozon i tlenki azotu (TOWNSEND i DOCHINGER 1982; KAROLEWSKI 1992).

Podjęmowanie badań, zmierzających do wyjaśnienia mechanizmów reakcji warunku-

* Opracowali: PIOTR KAROLEWSKI, GABRIELA LORENC-PLUĆIŃSKA