

nie (ROBERTS 1991; ATTREE i wsp. 1991, 1994). Mogą być wtedy odpowiednio spreparowane i przygotowane do kiełkowania, jako tak zwane sztuczne nasiona. Według

LEAL i współpracowników (1995), somatyczne zarodki drzew szpilkowych mogą być użytecznym modelem w badaniach nad ekspresją genów u tych roślin.

## 5.3. Żywienie mineralne (*Henryk Fober*)

### 5.3.1. Metody badań mineralnego żywienia świerka

Metody badania mineralnego żywienia świerka, czy innych gatunków drzew leśnych, są bardzo różnorodne. Materiał doświadczalny stanowią drzewostany wyższych klas wieku, jak też i młode plantacje, a często nawet siewki w szkółkach leśnych oraz uprawy doświadczalne w szklarniach i fitotronach. Bardzo często formą badania mineralnego żywienia siewek są doświadczenia mieszanki glebowych i równoczesnym dawkowaniem różnych kombinacji nawozowych. Trudno ustalić, jaki rodzaj podłoża jest najlepszy dla siewek świerka w doświadczeniach wazonowych. Doświadczenia przeprowadzone przez różnych badaczy zakładane są w różnych, nieporównywalnych warunkach. Podłoża stosowane w doświadczeniach wazonowych oraz w szkółkach, to najczęściej piasek (HOFFMANN 1970), torf (BUŠS i wsp. 1970; HOFFMANN 1970; PAAVILAINEN 1970; MÜLLER 1988), perlit, gleba mineralna (MÜLLER 1988). Bardzo często stosowane są też mieszaniny różnych substratów, jak na przykład torfu z perlitem (LANGERUD i SANDWIK 1988), torfu z piaskiem (RIKALA 1979), torfu z piaskiem i gliną (WITT 1987), czy mieszaniny kory i kompostu (MÜLLER 1988). Dobry wzrost siewek uzyskano także po dodaniu do gleby piaszczystej torfu, trocin oraz nawozu zielonego w połączeniu z nawożeniem mineralnym (LYER i wsp. 1989).

Najdokładniejsze badania nad mineralnym żywieniem siewek prowadzone są w formie kultur wodnych (INGESTAD 1967) oraz kultur piaskowych (SWAN 1972), w których

piasek stanowi tylko frakcję mechaniczną, a substancje odżywcze dostarczane są roślinom w postaci płynnej pożywki mineralnej. Doświadczenia tego typu mają tę zaletę, że można je przeprowadzać w ściśle kontrolowanych warunkach nie tylko pod względem żywienia mineralnego, ale również wilgotności powietrza, temperatury, fotoperiodu i natężenia oświetlenia. Dlatego badania takie służą głównie do opracowywania optymalnych poziomów pierwiastków w pożywkach mineralnych.

Ocenę stanu odżywiania się drzew przeprowadza się różnymi metodami. Do najczęściej stosowanych należy zaliczyć chemiczne analizy igieł (n.p. MATERNA 1960; KRAL 1963; FIEDLER i wsp. 1965; LAVRIČENKO 1968; TAMM 1968; ZECH 1968; SWAN 1972; LINDER 1995). Wartość i znaczenie analiz igieł stanowią przedmiot dyskusji wielu prac (HUNGER 1965, 1970; JUNG i RIEHLE 1966; QURESHI i SRIVASTAVA 1966; MADGWICK 1967; ETVERK 1969; LE TACON i wsp. 1970; LE TACON i MILLIER 1970a), które podają zarówno zalety, jak i zastrzeżenia odnośnie do tej metody. Często analizy igieł mają znaczenie dla oszacowania potrzeb nawozowych drzewostanów. I tak na przykład MUSTANOJA (1967) zwraca uwagę na to, że na podstawie analiz liści czy igieł można określić substancje aktualnie brakujące i uniknąć stosowania nawozów standardowych. TOUZET i współpracownicy (1970) pobierając próbki w krótkich odstępach czasu w ciągu całego sezonu wegetacyjnego stwierdzili, że najważniejszy do analiz igieł jest okres od połowy sierpnia do połowy września. JUNG i RIEHLE (1966) stwierdzają konieczność pobierania do analiz próbek z tego samego miejsca na drzewie i o tym samym



czasie. LINDER (1995) dla celów diagnostycznych poleca pobierać próbki igieł każdej klasy wieku. Przy ograniczeniu próbek do jednego rocznika należy analizować igły jednoroczne, w celu zredukowania zmienności między latami i sezonami. Ocena wyników analiz chemicznych zawartości pierwiastków w różnych terminach sezonu wegetacyjnego powinna uwzględniać zmiany zawartości węglowodanów. LINDER (1995) zaleca ponadto wyrażać zawartości różnych pierwiastków jako procent zawartości azotu, co ma większe ogólne znaczenie, niż stężenia uważane za optymalne dla świerka.

Należy jeszcze dodać, że do analiz chemicznych pobiera się nie tylko próbki igieł, ale również próbki innych części roślin, na przykład korzeni (INGESTAD 1959), a nawet drewna (OVINGTON 1959), czy kory pnia (FORNES i wsp. 1970; OLSSON 1978). Czasem też do analiz bierze się całe rośliny, szczególnie gdy są to małe siewki (KRAL 1961; FÖBER i GIERTYCH 1968, 1970a; FÖBER 1974).

Potrzeby nawozowe drzew można określić ponadto na podstawie analiz glebowych. EVERS uważa, że analizy gleby stanowią bardziej skuteczną i wygodną metodę niż analizy liści (1967a), a cykl odżywiania uzależniony jest od wartości wzajemnych stosunków między pierwiastkami w glebie (1967b, 1972). FIEDLER i NEBE (1963) oraz HUNGER i FIEDLER (1965) wykazali wyraźną negatywną korelację między wysokością drzew a stosunkiem C:N w warstwie humusowej gleby. HORN i współpracownicy (1987) stwierdzili natomiast, że analizy igieł dostarczają więcej informacji na temat stanu odżywczego drzew, niż zwyczajowe analizy glebowe.

HUNGER i NEBE (1964) dla dokładnego oszacowania wymagań nawozowych wskazują potrzebę połączenia analiz glebowych (petrochemicznych, chemicznych i strukturalnych) z analizami igieł oraz badaniem przyrostu masy. Według WITTA (1987) określanie wymagań pokarmowych drzew należy również przeprowadzać kilkoma metodami równocześnie, a mianowicie poprzez ocenę

wzrokową roślin, za pomocą analiz chemicznych gleby i podłoża, aparatu asymilacyjnego oraz całych roślin, a ponadto poprzez ocenę dynamiki wzrostu. LEAF (1970) obszernie omawia znaczenie analiz chemicznych gleby oraz poszczególnych tkanek drzew w badaniach nad żywieniem mineralnym drzewostanów, zwracając szczególną uwagę na samą technikę przeprowadzania tych analiz oraz na niektóre aspekty metodyczne.

LUUKKANEN i współpracownicy (1971) ocenili reakcję siewek świerka na nawożenie, jak również próby przewidywania wzrostu, za pomocą pomiaru koloru igliwia na pędach bieżącego przyrostu. Według CLEMENTA (1977) dobrym wskaźnikiem absorpcji kationów jest zawartość w igłach kwasów organicznych.

Wczesne diagnozowanie uszkodzeń roślin spowodowanych niedostatecznym zapotrzebowaniem w pierwiastki, można przeprowadzać również za pomocą parametrów fizjologicznych. W badaniach BAILLONA i współpracowników (1988) fluorescencja chlorofilu igieł świerka okazała się dobrym jakościowym testem reakcji roślin na niedobór potasu i magnezu. Pomiar oporności elektrycznej w strefie kambium umożliwiał diagnozę wpływu nawożenia mineralnego w 84-letnim drzewostanie świerkowym na zdrowotność drzew (HÜTTL i wsp. 1990). Wyraźne różnice między drzewami nawożonymi i nie nawożonymi stwierdzono jeszcze po 25 latach od traktowania.

### 5.3.2. Objawy niedoboru i nadmiaru pierwiastków

#### 5.3.2.1. Niedobór

Składniki pokarmowe spełniają w życiu roślin bardzo różnorodne i ważne zadania, a ich niedostatek może w poważnym stopniu zakłócić normalny wzrost i rozwój roślin. Świadczą o tym objawy niedoboru różnych pierwiastków, licznie podawane w literaturze i bardzo dokładnie opisane.



Azot wydaje się spełniać najważniejszą rolę, gdyż rośliny silnie reagują na niedobór tego pierwiastka. Siewki świerka rosnące w warunkach niedoboru azotu rozwijają się bardzo słabo, ich wzrost jest mocno ograniczony (FOBER i GIERTYCH 1968; SWAN 1972; FIEDLER i wsp. 1973). Młode igły są jasnożółte, szczególnie na końcach (INGESTAD 1959). Wszystkie igły są małe, koloru żółtozielonego, ponieważ zawartość barwnika jest zmniejszona (BAULE i FRICKER 1973; FIEDLER i wsp. 1973). Wiąże się z tym zmniejszenie wydajności fotosyntetycznej. Chloroza spowodowana niedoborem azotu występuje równomiernie na całym drzewie i na wszystkich rocznikach igieł (HARTMANN i wsp. 1988). Pędy są krótkie, słabe o ograniczonej liczbie rozgałęzień. Nie tworzą się pędy świętojańskie, a okres wegetacyjny zostaje skrócony (BAULE i FRICKER 1973; FIEDLER i wsp. 1973). Zahamowanie wzrostu pędów powoduje niską, krzaczącą formę wzrostu. Natomiast wzrost korzeni jest stosunkowo silny, są one długie ale cienkie (INGESTAD 1959). Jest to tak zwany wzrost głodowy (BAULE i FRICKER 1973). Należy jeszcze zaznaczyć, że niedobór azotu wpływa głównie na zmniejszenie sprawności procesów fizjologicznych igieł, to jest zmniejszenie natężenia asymilacji czy pobierania elementów odżywczych (FIEDLER i wsp. 1973). Symptomy braku azotu występują z reguły w całym drzewostanie, szczególnie na glebach torfowiskowych i wrzosowiskowych (HARTMANN i wsp. 1988). Wyższe objawy braku azotu obserwuje się przy jego stężeniu poniżej 1% suchej masy igieł (FIEDLER i wsp. 1973; HARTMANN i wsp. 1988).

U świerka niedobór fosforu zaznacza się silnym przebarwieniem igieł. Według INGESTADA (1959) siewki rosnące w warunkach niedoboru fosforu mają młode igły krótkie i żółte, szczególnie na końcach. Stare igły są ciemnozielone, często z zabarwieniem fioletowym. U starszych świerków igły są szare lub niebieskoszare, a następnie zabarwienie przechodzi w fioletowe, fioletowo-brązowe lub nawet czerwone (BAULE i FRICKER 1973). Szczególnie silne ich przebarwie-

nia występują pod koniec lata, co FIEDLER i współpracownicy (1973) tłumaczą nagromadzeniem się antocyjanów. Stare igły przebarwiają się szybciej i silniej niż młode. Następnie powoli obumierają, ale pozostają na drzewie tworząc kontrast z młodymi, zdrowymi igłami (BAULE i FRICKER 1973). U siewek świerka przy niedoborze fosforu korzenie są długie, ale cienkie (INGESTAD 1959).

Niedobór fosforu powoduje ogólnie słaby wzrost, niedostateczne ukorzenianie siewek i jako skutek podwyższoną śmiertelność spowodowaną przez mróz lub suszę. Należy też podkreślić, że dostateczne zaopatrzenie w fosfor jest warunkiem optymalnego wykorzystania przez siewki nawożenia azotowego (FIEDLER i wsp. 1973). Objawy braku fosforu obserwuje się przy stężeniu poniżej 0,08–0,1% suchej masy igieł (SWAN 1972; HARTMANN i wsp. 1988).

Niedostatek potasu powoduje u drzew iglastych najpierw zielonożółte, a później żółte przebarwienie końców igieł (BAULE i FRICKER 1973). Przy silnym niedoborze tego pierwiastka końce igieł stają się czerwono-brązowe, brązowe względnie fioletowobrunatne i w końcu zupełnie obumierają. Często te objawy występują tylko na starych igłach, podczas gdy najmłodsze pozostają zielone. Według innych autorów (INGESTAD 1959; MAYER-KRAPOLL 1964) u świerka pospolitego przebarwieniu ulegają szczególnie młode igły, przy czym u podstawy pozostają one najczęściej zielone, a przejście między tymi barwami nie jest ostro zaznaczone. Sprawę tą próbuje wyjaśnić ZECH (1968), który stwierdza prawdopodobieństwo występowania u świerka dwójakiego rodzaju objawów niedoboru potasu poniżej 0,1–0,3% suchej masy igieł. W jednym przypadku przede wszystkim młode igły z zewnątrz korony są na końcu żółte lub czerwone, a pozostałe igły, w wewnętrznych częściach korony i starsze, pozostają zielone, a w drugim przypadku przebarwieniu ulegają w pierwszej kolejności starsze igły i są one żółte na końcach lub wypłowiałe z zielonymi plamkami. Obserwacje te przebadano i wyjaśniono za pomocą analiz chemicz-



nych igieł. Otóż siewki wykazujące pierwszy typ objawów były zawsze bogato zaopatrzone w fosfor, natomiast u świerków drugiego typu igły zawierały, obok niewielkiej ilości potasu, bardzo mało fosforu. Należy jeszcze dodać, że intensywność przebarwienia zależy od pory roku (MAYER-KRAPOLL 1964; ZECH 1968; BAULE i FRICKER 1973) i jest najwyraźniejsze jesienią, zimą, ewentualnie wczesną wiosną, a najmniejsze latem. Dobre oświetlenie potęguje objawy niedoboru potasu, podczas gdy ocienienie działa przeciwnie (ZECH 1968).

Przy braku potasu igły są krótkie (FORNES i wsp. 1970) i przedwcześnie opadają, powodując przerzedzenie wnętrza koron (HARTMANN i wsp. 1988). Według INGESTADA (1959), w przeciwieństwie do siewek słabo zaopatrzonych w magnez czy wapń, półroczne siewki świerka rosnące w warunkach niedoboru potasu posiadały rozwinięte pąki szczytowe. Wszyscy jednak autorzy zgodnie podkreślają ograniczenie wzrostu wysokości i grubości drzew przy słabym zaopatrzeniu w potas (ZECH 1968; FORNES i wsp. 1970; BAULE i FRICKER 1973). Symptomy niedoboru potasu występują przy jego zawartości w igłach poniżej około 0,4% suchej masy (HARTMANN i wsp. 1988).

Charakterystycznym objawem niedoboru potasu jest słaby rozwój systemu korzeniowego (BAULE i FRICKER 1973). Korzenie są wtedy bardzo krótkie, cienkie i ubogo rozgałęzione (INGESTAD 1959). U roślin nie występuje całkowite zdrewnienie tkanek, są więc podatne na uszkodzenia mrozowe, na suszę oraz pasożyty roślinne i zwierzęce (BAULE i FRICKER 1973). Brak potasu powoduje też zwiększoną wrażliwość na suszę mrozową, a przez to liczniejsze uszkodzenia końców pędów (HARTMANN i wsp. 1988).

Brak magnezu powoduje żółknięcie igieł (KANDLER i wsp. 1987; LIU i TRUBY 1989; ROBERTS i wsp. 1989; FINK 1991; SCHAAF i ZECH 1993), a objawy występują przy zawartości poniżej około 0,03% suchej masy igieł (HARTMANN i wsp. 1988) i przy poziomie poniżej 2  $\mu\text{eq/g}$  gleby (LIU i TRUBY 1989). Głównie końce igieł przebarwiają się na

kolor żółty, podczas gdy podstawy igieł pozostają zielone (INGESTAD 1959; BAULE i FRICKER 1973), przy czym przejście między zieloną a żółtą częścią igły jest ostro zaznaczone (MAYER-KRAPOLL 1964). Chloroza postępuje od starszych roczników igieł do młodszych, a gałązki ocienione oraz ich dolna strona są mniej pożółkłe niż bardziej naświetlone (HARTMANN i wsp. 1988). Przebarwienie igieł zaznacza się najmocniej jesienią i z biegiem lat rozciąga się także na ich dolną część, natomiast końce igieł, szczególnie przy silnych brakach magnezu, stają się pomarańczowożółte, a następnie brązowe, po czym więdną (BAULE i FRICKER 1973). ZECH (1968) stwierdza, że niedostatek magnezu może powodować żółknięcie starszych igieł, podczas gdy młode pozostają zielone. Natomiast według INGESTADA (1959) u małych siewek świerka rosnących w kulturach wodnych, przy niedostatecznej ilości magnezu, występuje przebarwienie wszystkich igieł. Dalsze objawy niedoboru magnezu zaobserwowane u siewek, to nierozwinięte pąki szczytowe oraz słabo rozgałęzione korzenie (INGESTAD 1959). Niedobór magnezu może powodować też częściowo przedwczesne przerzedzenie przywierzchołkowych części korony. Symptom ten jest szeroko rozpowszechniony na siedliskach górskich, na średnich wysokościach, ze skałą krzemianową w podłożu (HARTMANN i wsp. 1988).

Zmiany w igłach świerka spowodowane deficytem potasu, a szczególnie magnezu polegają na wyraźnych zmianach struktury chloroplastów i częściowej akumulacji skrobi w komórkach mezofilu oraz przedwczesnych nekrozach i zapadaniu się komórek sitowych w wiązkach naczyniowych (FINK 1991).

Jak wykazały badania przeprowadzone w drzewostanach świerkowych Wyżyn Środkowoniemieckich (ROBERTS i wsp. 1989), na deficyt magnezu w igłach w większym stopniu wpływa redukcja dostępnego w glebie magnezu, spowodowana ściną drzew i wymywaniem przez kwaśne deszcze, niż bezpośrednie wymywanie magnezu z igieł







w warstwie humusowej w kombinacji z chwilowym wpływem fotoutleniaczy.

W literaturze spotyka się jeszcze opisy objawów niedoboru siarki. Według INGESTA-DA (1959) u półrocznych siewek świerka rosnących w warunkach niedostatku siarki najmłodsze igły były żółte, pąki szczytowe nierozwinięte, a korzenie grube i słabo rozgałęzione.

Na glebach zasobnych w wapń może być utrudnione pobieranie pewnych pierwiastków, co może się objawiać w postaci chlorozy igieł. I tak według ZECHA (1968) niedobór żelaza u świerka powoduje przebarwienie najmłodszych igieł równomiernie na żółto, podczas gdy starsze igły są jasnozielone lub zielone. W doświadczeniu INGESTADA (1959) siewki świerka, rosnące w kulturach wodnych przy braku żelaza w pożywce, miały młode igły jasnożółte, pąki szczytowe nierozwinięte, a korzenie grube i długie.

Objawy niedoboru manganu zaczynają występować już przy jego zawartości w igłach poniżej 20 ppm (ZECH 1968; FIEDLER i wsp. 1973; HARTMANN i wsp. 1988). Objawy te polegają na żółknięciu igieł, przy czym najmocniej przebarwione są igły bieżącego przyrostu, podczas gdy starsze igły pozostają jasnozielone lub zielone. Przebarwienie występuje najmocniej jesienią oraz zimą i to w dolnych i wewnętrznych partiach korony. Przy mocnym niedostatku chloroza obejmuje także igły na wierzchołku drzewa. W wielu przypadkach opryskiwanie igieł roztworem siarczanu manganu prowadzi do zazielenienia igieł żółtych (FIEDLER i wsp. 1973). Objawy niedoboru manganu zaczynają się nasilać przy wzroście pH gleby ponad 6, ponieważ zmniejsza się silnie rozpuszczalność jego związków (BAULE i FRICKER 1973). Chlorozy związane z niedoborem manganu lub żelaza występują szczególnie na siedliskach wapiennych i torfowiskach niskich (HARTMANN i wsp. 1988).

Przy zawartości miedzi w igłach świerka poniżej 3 ppm zamierają końce pędów szczytowych w miesiącach jesiennych i zi-

mowych (FIEDLER i wsp. 1973). Według MATERNY (1962) 2 ppm miedzi w igłach świerka pospolitego wskazuje na dolną krytyczną wartość graniczną.

Krytyczny poziom boru w igłach ostatniego roku wydaje się wynosić około 3 ppm (BRÆKKE 1979, 1983), chociaż poziom ten może być wyższy przy dobrym zaopatrzeniu roślin w wodę, ponieważ susza często redukuje pobieranie tego pierwiastka. Objawy braku boru polegają na zamieraniu pędów i zakłóceniu dominacji wierzchołkowej drzew. Wrażliwość na szkody różni się między populacjami.

Na glebach silnie zakwaszonych, ubogich w składniki pokarmowe, obserwuje się u świerka niespecyficzne przerzedzenie koron drzew; gałęzie i gałązki są wówczas łukowato wygięte lub z igłami tylko na końcach. Starsze igły częściowo przebarwione na kolor żółty do czerwono-brunatnego (HARTMANN i wsp. 1988). W gęstych drzewostanach i wilgotnych miejscach objawem niedoboru składników pokarmowych może być również żółtozielony nalot epifitycznych glonów na wszystkich rocznikach igieł.

### 5.3.2.2. Nadmiar

Znane są również przykłady ujemnego wpływu na wzrost świerka podwyższonego poziomu pierwiastków w podłożu. Nadmiar każdego z nich powoduje zakłócenie w odżywianiu się roślin, a tym samym objawy chorobowe lub ograniczenie wzrostu.

W rejonach zagrożonych przemysłowym zanieczyszczeniem środowiska obserwuje się między innymi skutki dużego zrzedzenia wzrostu drzew z powodu jednostronnego zaopatrzenia. Występuje to na siedliskach słabo zaopatrzonych w pozostałe związki pokarmowe. W igłach świerków rosnących w takich warunkach w Lasku Cygańskim w Austrii, KAZDA (1990) stwierdził ogólnie niski stosunek kationów do azotu, przy czym wartość stosunku siarki do azotu spadła poniżej 0,03.



FIEDLER i współpracownicy (1973) opisują skutki jednostronnego lub nadmiernego nawożenia azotem. Zbyt wysokie dawki azotu mogą w wielu przypadkach dodatnio wpływać na wzrost na wysokość, ale zjawisku temu towarzyszy słaby wzrost korzeni i ograniczone wytwarzanie mikoryzy. Rośliny takie słabo drewnieją, przez co są narażone na szkody spowodowane przez mrozy. Przy wysokich dawkach azotu młode siewki drzew iglastych są silnie porażane przez zgorzel siewek. Siewki na glebie zachwaszczonej lub rosnące w gęstej więźbie reagują szczególnie mocno na nadmierne nawożenie azotem. Są one wówczas długie, cienkie, słabo rozgałęzione i słabo ukorzonione.

Nadmiar fosforu powoduje nieznaczne obniżenie wzrostu siewek (FIEDLER i wsp. 1973), lecz nie prowadzi to do wystąpienia szkodliwych objawów spowodowanych przenawożeniem tym składnikiem.

W literaturze spotyka się też opisy objawów nadmiaru wapnia występujących u świerka na glebach wapiennych. Są to chlorozy charakteryzujące się białozółtym zabarwieniem najmłodszych igieł, co można zaobserwować wczesnym latem, gdyż do jesieni igły te stają się żółtozielone (ZECH 1968). ZECH (1970) wyróżnia nawet dwa rodzaje tej chlorozy. Na młodych świerkach igły bieżącego przyrostu były białawożółte, szczególnie blisko wierzchołka, co autor przypisuje absolutnemu brakowi w igłach żelaza, połączonego z utajonym brakiem manganu. W innych przypadkach chloroza polegała na żółknięciu młodych igieł, które zaczynało się w lipcu i postępowało w górę drzewa od najniższych gałęzi. Takie objawy występują raczej w młodnikach lub u starszych drzew i są przypuszczalnie spowodowane głównie przez niedobór fizjologicznie aktywnego żelaza. Nadmiar wapnia w glebie ogranicza zatem pobieranie innych ważnych pierwiastków, szczególnie żelaza.

Również nadmiar pierwiastków śladowych może stwarzać warunki stresowe dla roślin. Dominującymi czynnikami w skażonym środowisku w kwaśnych glebach są

toksyczne stężenia wielowartościowych kationów oraz niskie stężenia związków odżywczych.

Wysoki poziom glinu, rzędu 350–1200  $\mu\text{mol AlCl}_3/\text{l}$  pożywki przy uprawie siewek świerka mocno ograniczał tempo wzrostu korzeni (GODBOLD i wsp. 1988a, b). W badaniach VOGELI i ROTHE (1988) traktowanie 5-letnich siewek świerka glinem w środowisku kwaśnym prowadziło do pęcznienia końców korzeni oraz powodowało zwiększenie kruchości i łamliwości ścian komórek korzeni.

W warunkach niskiego poziomu żywienia mineralnego nadmiar glinu lub manganu w kulturach wodnych siewek świerka powodował tak zwaną złotą chlorozę końców igieł, podobnie jak przy deficycie magnezu (HECHT-BUCHHOLZ i wsp. 1987). W igłach chlorotycznych stwierdzono akumulację skrobi i zwiększenie inkluzji fenolowych (skupienia związków fenolowych).

Istnieje jeszcze poważny problem nadmiaru metali ciężkich w glebach w okęgach przemysłowych. GLATZEL (1985) stwierdził ujemny wpływ ołowiu, cynku, miedzi i niklu w postaci ograniczenia wzrostu świerka oraz redukcji igieł i korzeni, gdy łączna ilość tych elementów przekraczała 2 g w 1 kg humusu. Na siedliskach leśnych oddalonych od emitatorów metali ciężkich zagrożenie drzew jest niewielkie. Jak wykazują liczne badania laboratoryjne związki metali ciężkich ograniczają kiełkowanie nasion oraz wzrost siewek świerka, powodują chlorozy i nekrozy, a w konsekwencji przy wysokich stężeniach zamieranie całych siewek (FOBER 1978, 1979). Wysokie stężenia metali ciężkich; ołowiu, kadmu, arsenu, cynku i miedzi w podłożu powodowały uszkodzenie korzeni siewek świerka (GODBOLD i wsp. 1985; ZÖTTL 1990). Wydaje się jednak, że takie ekstremalne warunki występują jedynie w bezpośrednim sąsiedztwie mocnych emitatorów.

Blisko emitora, a szczególnie po stronie zawiętrznej, obserwuje się uszkodzenia najmłodszych pędów świerka spowodowane emisją dwutlenku siarki (HARTMANN i wsp.



1988). Objawy polegają na żółtobrunatnym do czerwobrunatnego przebarwienia zachodzącego się od końców igieł, natomiast w środkowej części igieł pojawiają się nekrotyczne plamki lub paski. Przy silnym uszkodzeniu następuje przebarwienie całego najmłodszego rocznika igieł i ich opadanie. Przy niższym stężeniu najmłodsze igły są częściowo zielone, a częściowo z żółtymi, sporadycznie czerwonymi końcami.

Na świerkach rosnących w pobliżu dróg mogą występować symptomy toksyczności chlorków powodowane przez sól używaną do posypywania dróg. We wczesnym stadium pojawiają się bladozielonożółte, nieostro odgraniczone powierzchnie na najmłodszym roczniku igieł, mniej intensywne na starych igłach. Wskutek długotrwałego działania soli igły pędu ubiegłorocznego są wiosną ciemnomiedzianobrunatne i wczesnym latem opadają. Pączki często również są martwe, a jeśli się rozwijają, to gałązki mają tylko jeden lub dwa roczniki igieł. Symptomy są widoczne przy zawartości chlorku 0,25–0,35% w suchej masie igieł (HARTMANN i wsp. 1988).

Przypuszcza się, że działanie ozonu może powodować u świerków chlorotyczną plamistość igieł polegającą na występowaniu ostro odgraniczonych, bladożółtych do żółtobrunatnych plam, przeważnie na górnej stronie dwuletnich i starszych igłach. Takie symptomy są szeroko rozpowszechnione i częste na świerkach wszystkich klas wieku (HARTMANN i wsp. 1988). Natomiast w warunkach laboratoryjnych ozon powodował występowanie na obu stronach igieł nieostro zaznaczonych, chlorotycznych plam. Przy niższych stężeniach ozonu symptomy występują tylko na starszych igłach, a przy wyższym stężeniu, powyżej 200 µg O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> powietrza, tylko na najmłodszym roczniku igieł (HARTMANN i wsp. 1988).

Nie zawsze możemy pewnie oznaczyć obserwowane symptomy chorobowe. Często potrzebne są analizy chemiczne materiału roślinnego, informacje na temat sied-

liska lub przebiegu warunków meteorologicznych.

Należy ponadto pamiętać, że niektóre symptomy występują w typowej postaci tylko w określonych porach roku. Często zatem zachodzi potrzeba wykonania obserwacji w różnych terminach.

Nader często uszkodzenia drzew określone jako symptomy chorobowe wynikają z kompleksowego współdziałania kilku czynników. Ważne są dokładne obserwacje wczesnych stadiów, które są bardziej specyficzne i mocniej zróżnicowane. Końcowe stadia chorobowe, nie mówiąc już o zamieraniu drzew, wynikają bardzo często ze zjawisk towarzyszących danej chorobie. W poniższej tabelce przedstawiono różne przyczyny sprawcze objawów chorobowych drzew oraz ich procentowy udział (tab. 5.3).

Jak zatem widzimy opis symptomów braku pierwiastków może być szczególnie trudny, gdyż nakładają się na siebie różne przyczyny, wśród których objawy dotyczące nie-

**Tabela 5.3.** Procentowy udział przyczyn objawów chorobowych u drzew (wg HARTMANNIA i wsp. 1988)

Przyczyny objawów chorobowych	Procentowy udział
Uszkodzenia powodowane przez czynniki abiotyczne,	35
w tym:	
– ekstremalne warunki meteorologiczne	13
– <b>objawy niedoboru</b>	<b>10</b>
– uszkodzenia przez imisję i sól do posypywania dróg	9
– uszkodzenia powodowane przez herbicydy	3
Uszkodzenia powodowane przez czynniki biotyczne,	57
w tym:	
– choroby grzybowe	29
– uszkodzenia przez czynniki zwierzęce	21
– choroby wywołane przez bakterie, mikoplazmy, reketje i wirusy	6
– inne	1
Choroby kompleksowe, których przyczyny nie są w pełni wyjaśnione	8



właściwego odżywiania się drzew stanowią niewielki procent.

### 5.3.3. Pobieranie pierwiastków

Pobieranie pierwiastków przez rośliny drzewiaste w warunkach kontrolowanych badane jest najczęściej na młodych siewkach, nie przekraczających wieku dwóch lat. Pobieranie poszczególnych składników pokarmowych oraz ich stężenie w roślinach zależy w głównej mierze od ich poziomu w podłożu i z zasady rośnie wraz ze wzrostem ich stężenia w pożywkach mineralnych. Zostało to stwierdzone zarówno odnośnie makroelementów jak i mikroelementów (INGESTAD 1959; FOBER i GIERTYCH 1968, 1970a; FORNES i wsp. 1970; SWAN 1972; FOBER 1974; ASP i wsp. 1988).

Również w badaniach terenowych stwierdza się istotny wpływ nawożenia mineralnego, bądź poziomu zaopatrzenia w dany element, na jego pobieranie i stężenie w roślinie. NILSSON i WIKLUND (1992) informują o zwiększonym pobieraniu azotu po nawożeniu azotowym drzewostanu świerkowego w południowej Szwecji. Natomiast w innym, 25-letnim drzewostanie, nawożenie azotowe spowodowało zwiększenie stężenia tego pierwiastka w różnych organach świerków, a z dawki 300 kg N/ha nadziemne części roślin pobrały 48% azotu, a nawet 56%, gdy nawożenie było połączone z nawadnianiem (NILSSON i WIKLUND 1994).

Często podawane są przykłady korzystnego wpływu wapnowania w drzewostanach świerkowych na pobieranie wapnia przez drzewa (MATZNER 1985). W drzewostanie świerkowym w Solling w zachodnich Niemczech wapnowanie zwiększyło zawartość wapnia w cienkich korzeniach, przy czym mocniej, bo aż trzykrotnie w stosunku do kontroli, w wierzchniej warstwie gleby, natomiast nieco słabiej, dwukrotnie, w warstwie humusowej i niższych (MURACH i SCHÜNEMANN 1985).

Nawożenie 10-letniego świerka magnezem, w formie wapienia magnezowego w

Wogezach we Francji również polepszyło stan odżywczy drzew, co objawiło się zwiększonym stężeniem magnezu w ich igłach (DREYER i wsp. 1994).

Nawożenie borem w naturalnych odnowieniach oraz w 21-letnim drzewostanie w Norwegii zwiększyło stężenie tego pierwiastka w igłach (BRÆKKE 1979, 1983).

Bardzo liczne publikacje donoszą o wzajemnym oddziaływaniu na siebie poszczególnych składników pokarmowych. Zbyt wysokie dawki azotu podawane 16-letnim świerkom zmniejszyły w igłach stężenie wszystkich podstawowych pierwiastków oprócz azotu (HÖHNE 1970). Nawożenie azotem oraz fosforem w młodym drzewostanie świerkowym powodowało zawsze ostrą redukcję zawartości boru, co najczęściej można wytłumaczyć efektem rozcieńczenia (ARONSSON 1983). Natomiast nawożenie NPK razem z mikroelementami w 100-letnim drzewostanie świerkowym rosnącym na torfowisku w Finlandii spowodowało, że w porównaniu z drzewami nie nawożonymi, biomasa nawożonych świerków miała większą zawartość pierwiastków, z wyjątkiem magnezu, cynku i manganu. Po nawożeniu w igłach tych świerków stwierdzono wyższe stężenie azotu, fosforu, potasu, wapnia i boru (FINÉR 1989).

Silne nawożenie potasem plantacji świerka pospolitego zwiększyło pobieranie azotu i magnezu (FORNES i wsp. 1970). GLATZEL (1970) donosi o istotnym zredukowaniu stężenia wapnia w igłach dwuletnich siewek świerkowych traktowanych potasem względnie azotem, fosforem i potasem równocześnie. Według badań GLADUNOVA (1967) obecność jonów potasowych hamowała pobieranie sodu przez siewki świerka pospolitego, natomiast obecność jonów sodowych nie hamowała pobierania potasu.

Wrzecz ze wzrostem dawek wapnia stwierdzono istotnie zmniejszone pobieranie sodu u siewek sosny i świerka (THEMLITZ 1960; GLADUNOV 1967). Jony wapnia nie hamowały natomiast pobierania potasu (GLADUNOV 1967) czy żelaza (THEMLITZ 1960). Nawożenie wapnem dolomitowym w połącze-



niu z nawozem NPK w 90-letnim drzewostanie świerkowym w zachodnich Ardenach w Belgii zmniejszyło pobieranie potasu, a równocześnie zwiększyło pobieranie manganu (PRAAG i WEISSEN 1986). Wapnowanie wapniem magnezowym poprawiło odżywianie, czyli zwiększyło zawartość magnezu i wapnia w igłach 15–25-letnich świerków w zachodnich Czechach (MATERNA 1989), natomiast zmniejszyło istotnie stężenie potasu, wapnia, manganu i glinu u 10-letnich drzew w Wogezach we Francji (DREYER i wsp. 1994). MATZNER (1985) donosi o zwiększonym pobieraniu magnezu przez drzewa po wapnowaniu wykonanym w 100-letnim drzewostanie świerkowym. MURACH i SCHÜNEMANN (1985) stwierdzili zwiększoną zawartość magnezu w cienkich korzeniach drzew po wapnowaniu drzewostanu świerkowego. Wapnowanie w wysokich dawkach powodowało zmniejszenie stężenia boru w igłach czterech najmłodszych roczników, natomiast po wapnowaniu połączonym z równoczesnym nawożeniem borem nastąpiło zmniejszenie stężenia manganu w igłach (LEHTO i MALKONEN 1994).

Poprawa zaopatrzenia w bor powodowała lepsze pobieranie magnezu z gleby (BRÆKKE 1979).

Zwiększenie zawartości glinu w pożywkach w kulturach wodnych siewek świerka powodowało zmniejszanie wapnia i magnezu w korzeniach tych roślin (ASP i wsp. 1988).

W kulturach wodnych lub piaskowych stwierdza się bardzo szybkie pobieranie jonów z pożywki. Jednoroczne siewki świerka, którym podano znakowany fosfor, pobrały dużą jego część już po 24 godzinach, a po dalszych sześciu dobach zawartość fosforu wzrosła jedynie o dodatkowe 30% (FOBER i GIERTYCH 1970b).

Wiele procesów fizjologicznych w roślinach przebiega rytmicznie. Dotyczy to również ich odżywiania, czyli pobierania poszczególnych jonów. GLADUNOV (1966) badając rytmy pobierania potasu i sodu przez siewki sosny i świerka w krótkich okresach stwierdził, że po najwyższych wartościach absorpcji następowało wydalanie potasu

i sodu z korzeni, a okres wahań tego procesu wynosił w przybliżeniu 5 minut.

Należałoby jeszcze zwrócić uwagę na inne czynniki wpływające na pobieranie pierwiastków. Według KRALA (1963) zacieńnienie wpływa między innymi na wzrost zawartości potasu, ale redukuje zawartość wapnia w siewkach świerka różnych pochodzeń alpejskich. KAUNISTO (1971) oraz GLATZEL (1973) uzależniają stan odżywiania siewek świerka od stosunków wodnych w glebie. Susza redukuje pobieranie boru (BRÆKKE 1983). Dwuletnie siewki świerka uprawiane w warunkach suszy pod koniec sezonu wegetacyjnego miały niższe stężenia potasu w igłach, ale wyższe azotu, manganu i wapnia (BECKER i LÉVY 1983). W trakcie trwania wegetacji stężenia wszystkich pierwiastków były jednak niższe niż u siewek uprawianych w warunkach wyższej wilgotności podłoża. Nawadnianie siewek świerkowych w szkółce powodowało zwiększone pobieranie azotu, potasu i wapnia, przy równoczesnej słabej redukcji pobierania fosforu (MANGALIS 1982). HUNGER i MARSCHNER (1987) uważają nawet, że zaopatrzenie w potas i wapń jest lepsze na siedliskach wilgotnych, ubogich w pierwiastki niż na siedliskach suchych, bogatych.

Bardzo duże znaczenie dla dostępności i pobierania pierwiastków ma typ gleby. Na przykład na torfowiskach, ciągła produkcja drewna może wyczerpać szczególnie zapasy potasu w warstwie korzeniowej (FINÉR 1989). Z kolei zawartość wapnia w glebie wpływa na jakość związków azotowych w igłach oraz na proporcje między poszczególnymi związkami (CLEMENT 1974). Wapnowanie może stymulować aktywność mikrobiologiczną w glebie i w ten sposób zmniejszyć ilość dostępnego azotu (MATERNA 1989). Wapnowanie wpływa ponadto na zmianę pH gleby, co z kolei ma istotne znaczenie dla pobierania niektórych mikroelementów. W doświadczeniu na glebach bielcowych, na dostępność boru w większym stopniu wpływało podwyższenie pH po wapnowaniu, niż samo zwiększenie wapnia (LEHTO i MALKONEN 1994).



MARSCHNER i współpracownicy (1991) na podstawie badań w kontrolowanych warunkach środowiska z 4-letnim świerkiem oraz w terenie w 60-letnim drzewostanie świerkowym, stwierdzili, że pH rizosfery oraz powierzchni korzeni ma większe znaczenie dla dostępności i pobierania pierwiastków, jak również dla rozpuszczalności i stopnia toksyczności niektórych elementów, na przykład glinu, niż pH całej gleby. Różnice między pH gleby a pH rizosfery mogą dochodzić do 2 jednostek. Pobieranie azotu w formie jonu azotanowego względnie amonowego ma najbardziej znaczący wpływ na pH rizosfery. Forma pobieranego azotu jest zróżnicowana i zależy od stężenia i wzajemnej proporcji tychże jonów. Przy podobnych zewnętrznych stężeniach, tempo pobierania azotu w formie amonowej jest zwykle znacznie wyższe. Pomimo jednak niskiego tempa pobierania azotu w formie azotanowej, aktywność reduktazy azotanowej w korzeniach świerka jest wysoka, szczególnie w strefach apikalnych i najwięcej jonu azotanowego jest zredukowana już w korzeniach. Wzdłuż osi korzenia świerka stwierdzono także różnice w pobieraniu wody i niektórych pierwiastków takich jak wapń, potas, magnez, oraz różnice w pH rizosfery gleby i pH powierzchni korzenia. Ponadto pobieranie  $\text{NO}_3$  jest w większym stopniu uzależnione od temperatury gleby niż pobieranie  $\text{NH}_4$  (MARSCHNER i wsp. 1991). Również DINKELAKER i współpracownicy (1983) stwierdzili wpływ zmian chemicznych w rizosferze na dostępność i rozpuszczalność elementów odżywczych.

Z przeglądu literatury na temat pobierania pierwiastków wynikają następujące prawidłowości:

1. Podawanie jakiegoś pierwiastka, szczególnie na ubogich siedliskach, powoduje zwiększenie jego stężenia, a jeżeli limitował on wzrost, to z powodu zwiększenia biomasy roślin, może zarazem spowodować zmniejszenie stężenia innych pierwiastków wskutek ich rozcieńczenia w roślinie.

2. Podawanie pierwiastka, szczególnie w nadmiarze w stosunku do wymagań wzrostowych, może stymulować pobieranie innych elementów.

3. Obecność pewnych jonów w podłożu hamuje pobieranie innych. Na przykład jony potasu hamują pobieranie sodu czy wapnia. Spowodowane jest to istnieniem antagonizmów między pewnymi pierwiastkami.

4. Niektóre jony, na przykład wapnia, są magazynowane głównie w starszych organach roślin, podczas gdy inne, jak fosfor czy potas, przemieszczają się do młodych, rozwijających się organów.

5. Pod względem pobierania pierwiastków istnieją różnice między poszczególnymi gatunkami drzew iglastych, a również populacjami tego samego gatunku.

6. Na pobieranie pierwiastków i odżywianie się roślin wpływa bardzo wiele różnych czynników, jak na przykład natężenie światła, ilość oraz forma substancji odżywczych w podłożu, stosunki wodne gleby, stadium rozwojowe drzewa i tak dalej.

### 5.3.4. Rozmieszczenie i stężenie pierwiastków w poszczególnych organach

Rozmieszczenie pierwiastków w poszczególnych organach drzewa wykazuje pewne prawidłowości. Najliczniejsze prace donoszą o koncentracji poszczególnych elementów w aparacie asymilacyjnym. Uważa się, że jest ona odzwierciedleniem stanu odżywczego całego osobnika i może stanowić cenną informację o niedostatecznym zaopatrzeniu w poszczególne elementy jeszcze przed wystąpieniem wizualnych objawów niedostatku. Ponadto analiza chemiczna igieł pozwala na określenie niedostatecznego zaopatrzenia w konkretne pierwiastki, co nie zawsze jest możliwe na podstawie symptomów, a może być cenną wskazówką przy racjonalizacji nawożenia mineralnego. Z drugiej strony nadmierna konsumpcja niektórych elementów może świadczyć o przemysłowym skażeniu środowiska.



W suchej masie igieł świerka pospolitego, nie wykazujących zewnętrznych objawów niedostatku, stwierdzono następujące zakresy stężeń pierwiastków: 0,63–2,18% N, 0,07–0,28% P, 0,21–0,86% K, 0,28–1,43% Ca, 0,02–0,24% Mg, 0,06–0,11% S, 37–4610 ppm Mn, 2,4–41 ppm B, 19–322 ppm Fe, 0,03–0,2 ppm Mo, 4800–9500 ppm Si, 292–420 ppm Cl, 9–298 ppm Al, 13–73 ppm Zn, 1,7–6,3 ppm Cu, 20–72 ppm Sr, 18–73 ppm Ba, 0,15 ppm Cd, 840–6110 ppb Rb, 376–598 ppb Br, 11–53 ppb Sb, 13–40 ppb Co, 5–27 ppb Cs, 57–65 ppb Hg, 5–25 ppb La i 1–2 ppb Sc (FIEDLER i wsp. 1973; BRÆKKE 1983; HÄMÄLÄINEN i wsp. 1985; SIEGHARDT 1988; STIENEN i BAUCH 1988; WYTENBACH i TOBLER 1988; BALSBERG-PÄHLSSON 1989; PARIBOK i wsp. 1989; NEBE 1991; RANGER i wsp. 1992; DREYER i wsp. 1994; LINDER 1995). Powyższe wartości dotyczą z zasady igieł bieżącego przyrostu, rzadziej starszych, zebranych do analiz najczęściej jesienią, z drzew różnowiekowych, rosnących w różnych warunkach uprawy czy na różnych siedliskach. Zakresy stężeń niektórych pierwiastków są bardzo szerokie. Można przypuszczać, że niektóre drzewa rosły w niekorzystnych warunkach edaficznych i znajdowały się na granicy deficytu lub nadmiaru konsumpcji, pomimo braku zewnętrznych objawów chorobowych.

Nieharmonijne odżywianie mineralne może niekorzystnie wpływać na wzrost i rozwój oraz przebieg procesów fizjologicznych drzewa. Na przykład spowodować nadmierny rozwój systemu korzeniowego, czyli tak zwany wzrost głodowy. Stąd też duże znaczenie mają badania określające wąskie zakresy stężeń pierwiastków w igłach, charakterystyczne dla różnych poziomów żywienia mineralnego, od ostrego deficytu, aż po konsumpcję luksusową, a nawet nadmierną – toksyczną. W tabeli 5.4 zestawiono na podstawie dostępnej literatury wartości takich zakresów dla różnych pierwiastków z podaniem, co bardzo ważne, wieku badanych drzew. Łatwo zauważyć, że młode, kilkumiesięczne czy jednoroczne siewki świerka wykazują wyższe

zakresy stężeń azotu w igłach niż starsze drzewa. Dla innych pierwiastków, nie mających tak decydującego wpływu na cechy wzrostowe jak azot, te zależności nie są takie wyraźne. Jak wynika z tabeli, optymalne stężenia mikroelementów w igłach mają bardzo szerokie zakresy, niemniej jednak można też niejednokrotnie określić wartości deficytowe występujące przy ubogim zapotrzeniu w dany element.

Przy zakresach deficytowych stężeń poszczególnych elementów w igłach możemy się spodziewać istotnej pozytywnej reakcji drzew na nawożenie mineralne pod względem cech wzrostowych, jeśli inne czynniki, niezależne od warunków edaficznych, nie ograniczają rozwoju rośliny. Przy zakresach optymalnych, a tym bardziej luksusowych, wszelkie zabiegi nawożeniowe mijają się z celem.

RANGER i współpracownicy (1992) stwierdzili w cienkich gałązkach świerków wysokie stężenia pierwiastków, a mianowicie 1,34% N, 0,24% P, 0,54% K, 0,28% Ca, 0,11% Mg, 0,10% S, 620 ppm Mn i 80 ppm Al. Ale w drewnie pnia tych drzew stężenia były wielokrotnie niższe i wynosiły 0,06% N, 0,005% P, 0,04% K, 0,06% Ca, 0,013% Mg, 0,007% S, 130 ppm Mn i 10 ppm Al. Podobne wartości stwierdził autor niniejszego opracowania w drewnie pni 100–150-letnich świerków rosnących w różnych regionach Polski; 0,060–0,088% N, 0,012–0,020% K, 0,087–0,110% Ca, 0,006% Na (FOBER 1977). W rocznych słojach drewna stężenia niektórych pierwiastków (Ba, Ca, Mg, Mn, Sr i Zn) zmniejszały się w kierunku od starszego drewna do młodszego (ryc. 5.14). Jednak prawie wszystkie elementy, szczególnie te biologicznie ważne, wykazywały wyższe stężenia w najmłodszej bieli (OGNER i BJØR 1988). U starych świerków stężenie azotu w rocznych słojach z lat 1905–1970 wykazywało tendencję wzrostową w kierunku od rdzenia do miazgi, a stężenie wapnia w kierunku odwrotnym (FOBER 1977).

Kora pnia wykazuje znacznie wyższe niż w drewnie poziomy stężeń pierwiastków;



Tabela 5.4. Zakresy stężeń pierwiastków w suchej masie jednorocznych igieł świerka

Ostry deficyt	Średni deficyt	Zkres przejściowy	Zakres optymalny	Konsumpcja luksusowa	Autor	Wiek drzew
Azot %						
			2,40–2,42	3,40	INGESTAD 1979	6 tyg.
<1,00	1,00–1,30	1,30–1,80	1,80–3,00	>3,00	SWAN 1972	6 mies.
			1,81–2,20		RIKALA 1979	siewki
0,8–1,3	1,0–1,6	1,08–2,4	1,7–2,4		CAPE i wsp. 1990	
			1,4–2,0		FIEDLER i KATZSCHNER 1990	10-letnie
			1,4–1,7		BERGMANN 1983	dojrz.
	1,2–1,3		1,3–1,5		ZÖTTL 1990	dojrz.
Fosfor %						
			0,37–0,40	0,44	INGESTAD 1979	6 tyg.
<0,10	0,10–0,15	0,15–0,20	0,20–0,40	>0,40	SWAN 1972	6 mies.
		0,05–0,11	0,10–0,30		MÜLLER 1988	1-roczone
			0,27–0,28		RIKALA 1979	siewki
			0,12–0,25		FIEDLER i KATZSCHNER 1990	10-letnie
			0,12–0,20		BERGMANN 1983	dojrz.
	<0,11–0,12		0,12–0,15		ZÖTTL 1990	dojrz.
Potas %						
			1,05–1,17	1,23	INGESTAD 1979	6 tyg.
<0,20	0,20–0,30	0,30–0,45	0,45–0,80	>0,80	SWAN 1972	6 mies.
			0,76–0,82		RIKALA 1979	siewki
	0,30		0,70–1,10		MÜLLER 1988	1-roczone
			0,64–1,05		FIEDLER i wsp. 1973	młode drz.
0,14–0,4	0,2–0,7	0,4–1,21	0,7–1,23		CAPE i wsp. 1990	dojrz.
	<0,4–0,45		0,45–0,60		ZÖTTL 1990	dojrz.
			0,5–1,0		BERGMANN 1983	dojrz.
Magnez %						
			0,09–0,10	0,12	INGESTAD 1979	6 tyg.
<0,05	0,05–0,10	0,10–0,12	0,12–0,35	>0,35	SWAN 1972	6 mies.
	0,02–0,07		0,09–0,16		MÜLLER 1988	1-roczone
			0,16–0,19		RIKALA 1979	siewki
			0,13–0,15		FIEDLER i wsp. 1973	młode drz.
0,02–0,05	0,03–0,07	0,05–0,31	0,07–0,14		CAPE i wsp. 1990	dojrz.
	<0,06–0,08		0,08–0,10		ZÖTTL 1990	dojrz.
			0,1–0,2		BERGMANN 1983	dojrz.



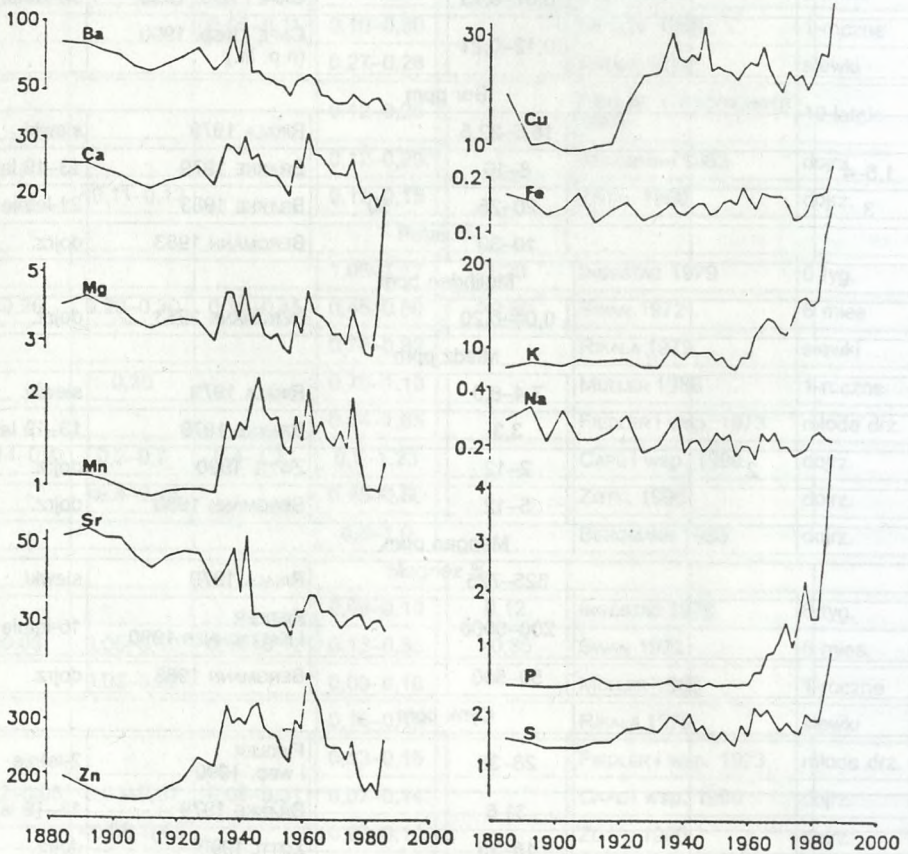
c.d. tab. 5.4.

Ostry deficyt	Średni deficyt	Zkres przejściowy	Zakres optymalny	Konsumpcja luksusowa	Autor	Wiek drzew
Wapń %						
			0,08–0,10	>0,10	INGESTAD 1979	6 tyg.
<0,05	0,05–0,10	0,10–0,12	0,12–0,85	>0,85	SWAN 1972	6 mies.
	0,02		0,09–0,16		MÜLLER 1988	1-roczone
			0,44–0,67		FIEDLER i wsp. 1973	młode drz.
			0,20–0,65		FIEDLER i KATZSCHNER 1990	10-letnie
	<0,1–0,2		0,2–0,3		ZÖTTL 1990	dojrz.
			0,4–0,7		BERGMANN 1983	dojrz.
Siarka %						
			0,082		BRÆKKE 1979	13–19 lat
			0,07–0,13		CAPE i wsp. 1990	30-letnie
			0,12–0,21		CAPE i wsp. 1990 (n.p. lit.)	
Bor ppm						
			16,5–22,5		RIKALA 1979	siewki
1,5–4			8–16		BRÆKKE 1979	13–19 lat
3			20–25	50	BRÆKKE 1983	21-letnie
			10–30		BERGMANN 1983	dojrz.
Molibden ppm						
			0,04–0,20		BERGMANN 1983	dojrz.
Miedź ppm						
			7,4–8,0		RIKALA 1979	siewki
			3,3		BRÆKKE 1979	13–19 lat
	2		2–12		ZÖTTL 1990	dojrz.
			5–12		BERGMANN 1983	dojrz.
Mangan ppm						
			625–725		RIKALA 1979	siewki
			200–5000		FIEDLER i KATZSCHNER 1990	10-letnie
			50–500		BERGMANN 1983	dojrz.
Cynk ppm						
			28–36		FIEDLER i wsp. 1990	2-letnie
			31,6		BRÆKKE 1979	13–19 lat
	13		15–25		ZÖTTL 1990	dojrz.
			13–50		BERGMANN 1983	dojrz.



c.d. tab. 5.4.

Ostry deficyt	Średni deficyt	Zkres przejściowy	Zakres optymalny	Konsumpcja luksusowa	Autor	Wiek drzew
Żelazo ppm						
			30-300		FIEDLER i KATZSCHNER 1990	10-letnie
			41		BRÆKKE 1979	13-19 lat
Glin ppm						
			72-300		NEBE 1991	
Stront ppm						
			20-32		PARIBOK i wsp. 1989	
Rubid ppm						
			5-16		PARIBOK i wsp. 1989	



Ryc. 5.14. Stężenia pierwiastków w rocznych słojach drewna w mmol/kg suchej masy lub w  $\mu\text{mol/kg}$  dla Ba, Cu, Sr, Zn (wg OGNER i BJØR 1988)



0,48% N, 0,058% P, 0,22% K, 0,91% Ca, 0,098% Mg, 0,046% S, 980 ppm Mn, 130 ppm Al (RANGER i wsp. 1992).

Stosunkowo bardzo wysokie stężenia pierwiastków występują w korzeniach świerków. STIENEN i BAUCH (1988) stwierdzili w cienkich korzeniach 5-miesięcznych siewek 0,28% Mg, 0,53% Ca, 519 ppm Fe, 54 ppm Mn i 180 ppm Al. Wartości stężeń stwierdzone w korzeniach starszych drzew mają bardzo szerokie zakresy i zależą od średnicy korzeni. Jak wynika z danych przedstawio-

nych w tabeli 5.5, drobne korzenie i włóśniki mają wielokrotnie wyższe stężenia pierwiastków niż grube korzenie. Dotyczy to prawie wszystkich badanych pierwiastków z wyjątkiem potasu.

Stężenie pierwiastków w szyszkach świerka wynosi 0,4–0,64% N (NILSSON i WIKLUND 1994), 0,062% P, 0,518% K, 0,009% Ca, 0,07% Mg, 18 ppm Fe, 18 ppm Zn, 5,6 ppm Cu, 14,7 ppm B, 43 ppm Mn (FINÉR 1989). Natomiast w nasionach stężenie wynosiło w zależności od pochodzenia 2,85–3,86% N, 0,44–1,44% P, 0,37–0,84% K, 0,23–0,43% Ca, 0,394–0,504% Mg i 0,004–0,010% Na, przy czym badano 25 polskich proveniencji (FOBER i GIERTYCH 1971). Stężenie azotu i wapnia były negatywnie, a potasu pozytywnie, skorelowane z wysokością nad poziomem morza terenu zbioru nasion.

Poziomy stężen pierwiastków w różnych organach zależne są też od wielu czynników, z których na uwagę zasługują przede wszystkim zmiany sezonowe szczególnie badane przez WYTENBACHA i TOBLERA (1988). Podzielili oni badane elementy na trzy grupy. Do pierwszej zaliczyli Ca, Sr, B i Mn, do drugiej Al, Br, Co, Fe, Hg, La, Sc, Sb i Zn, i do trzeciej K, Rb, Cs, P i Cl. W ciągu roku ogólnie zwiększa się w igłach stężenie pierwiastków należących do pierwszej i drugiej grupy, a zmniejsza stężenie pierwiastków trzeciej grupy. W obrębie pierwiastków pierwszej i trzeciej grupy największe zmiany stężeń zachodzą w czasie sezonu wegetacyjnego, to znaczy późną wiosną i wczesnym latem i dotyczą głównie młodszych igieł, natomiast stężenie pierwiastków drugiej grupy rośnie równomiernie przez cały rok.

Wiek badanej tkanki ma istotny wpływ na wewnętrzne stężenia poszczególnych pierwiastków. Wspomniano już o zmianach w rocznych słojach drewna. Wiadomo też,

**Tabela 5.5.** Stężenie pierwiastków w suchej masie korzeni świerka

A. Wg RANGER i wsp. 1992

Pierwiastek	Grubość korzeni		
	<1 cm	1–3 cm	>3 cm
N %	0,60	0,23	0,12
P %	0,112	0,035	0,014
K %	0,14	0,10	0,15
Mg %	0,13	0,05	0,03
Ca %	0,29	0,26	0,19
S %	0,04	0,01	0,01
Mn ppm	230	180	110

B. Wg FINÉR 1989

Pierwiastek	Rodzaj korzeni	
	Włóśniki	Korzenie
N %	0,665	0,149
P %	0,054	0,013
K %	0,080	0,072
Mg %	0,038	0,018
Ca %	0,306	0,233
B ppm	6,8	3,3
Mn ppm	153	88
Fe ppm	458	18

C. Wg ABRAŹKO 1985

Pierwiastek	Grubość korzeni			
	<0,6 mm	0,6–1,0 mm	1–5 mm	5–10 mm
N %	0,88–1,31	0,61–0,73	0,47–0,59	0,14–0,28



że młode, jednoroczne igły charakteryzują się wyższym stężeniem azotu, fosforu, potasu, magnezu, a niższym wapnia czy manganu w porównaniu z igłami starszymi, dwu- lub trzyletnimi (HÖHNE 1963; FOBER 1976; NEBE 1991; RANGER i wsp. 1992). PARIBOK i współpracownicy (1988) stwierdzili znaczny spadek rubidu i miedzi a wzrost strontu wraz z wiekiem igieł.

Stężenia pierwiastków zmieniają się też w kolejnych latach zależnie od zmian pogodowych. LINDER (1995) analizował jednoroczne igły 25-letnich świerków przez siedem kolejnych lat. Uzyskane wyniki wykazały, że w badanym okresie od 1987 do 1993 roku, maksymalne różnice stężeń wynosiły około 60% dla potasu i manganu, 40-50% dla wapnia, magnezu i siarki oraz 35% dla fosforu. Stosunkowo niewielkie wahania koncentracji wykazywał azot, bo tylko 9%.

Liczne prace informują o różnych stężeniach pierwiastków w igłach pobranych z różnych okółków korony drzewa. Dotyczy to azotu (WEHRMANN 1957; ZÖTTL i KENNEL 1963) oraz innych pierwiastków, jak fosforu, potasu, magnezu czy wapnia (STREBEL 1961; HÖHNE 1963). Zróżnicowanie to nie zawsze ma jednokierunkową zmienność i trudno tutaj stwierdzić jakieś prawidłowości. Na podstawie doświadczeń wykonanych na starszych świerkach stwierdzono, że w igłach bieżącego przyrostu stężenie azotu, fosforu i potasu jest zawsze wyższe w wewnętrznych i dolnych partiach korony drzewa, natomiast stężenie wapnia rośnie w kierunku wierzchołka i na zewnątrz (FOBER 1976).

Gradient stężeń w koronie drzewa jest jednak uzależniony od równoczesnych wzajemnych oddziaływań różnych czynników. Na przykład przy wysokim zaopatrzeniu drzew w mangan, pierwiastek ten był przemieszczany do starszych igieł u podstawy korony, podczas gdy niskie zaopatrzenie, gwarantujące minimum wymagań, powodowało bardziej równomierne jego rozmieszczenie w całej koronie (TRUBY i LINDNER 1990).

Stężenie pierwiastków w igłach jest mocno zależne od obecności jonów glinu w podłożu. W badaniach nad siewkami świerka stwierdzono zredukowane stężenie magnezu i wapnia zarówno w igłach jak i w korzeniach w warunkach nadmiaru glinu w pożywce mineralnej (HECHT-BUCHHOLZ i wsp. 1987; GODBOLD i wsp. 1988a).

Dla prawidłowego stanu odżywczego drzewa ważne są proporcje między poszczególnymi składnikami pokarmowymi. Jak wykazały badania, w jednorocznych igłach optymalnie rosnących świerków stosunek N:P:K wynosił 67:8:25, a wraz z wiekiem drzew może wzrastać udział azotu i obniżyć się udział potasu (FIEDLER i HÖHNE 1987).

Duży wpływ na koncentrację pierwiastków w igłach posiada wiosenna akumulacja skrobi w tkankach, po której następuje jej wyczerpywanie w ciągu lata. Według LINDERA (1995) zawartość skrobi w igłach świerka zmienia się w ciągu sezonu wegetacyjnego w zakresie od 0 do 30% suchej masy. Stąd w badaniach nad odżywianiem roślin, a zwłaszcza w ocenie wpływu różnych traktowań, większe znaczenie mają proporcje między pierwiastkami, a zwłaszcza stosunek poszczególnych pierwiastków do azotu wyrażony w procencie wagowym. W jednorocznych igłach młodych siewek świerka te proporcje wykazywały następujące zakresy: P:N 11,1-19,2; K:N 30,9-57,1; Ca:N 26,5-64,4; S:N 4,8-9,0; Mg:N 3,1-9,9; Mn:N 6,0-12,3; Fe:N 0,2-0,7; Zn:N 0,24-0,72; Cu:N 0,013-0,032; B:N 0,051-0,095, w zależności od terminu w sezonie wegetacyjnym i od traktowania roślin, to znaczy różnych kombinacji nawożenia i nawadniania.

Z kolei dla oszacowania fizjologicznego znaczenia pewnych jonów i określenia stanu odżywiania na poziomie komórkowym, ważne będą ich stężenia w roztworach w milimolach. Na przykład dla jonów potasowych, których stężenie w cytoplazmie i wakuoli jest ważne dla procesów metabolicznych i osmotycznych, SCHMIDT i współpracownicy (1989) podają na podstawie literatury optymalne stężenia w cyto-



plazmie w granicach między 100 a 150 mM, a w wakuoli nie niższe niż 10-15mM.

Zatem zawartość i stężenie pierwiastków w różnych organach i tkankach są determinowane wewnętrznymi czynnikami genetycznymi rośliny oraz zewnętrznymi czynnikami środowiskowymi. Zależą więc od genotypu, wieku rośliny i organu oraz ich stanu rozwojowego. Spośród zewnętrznych czynników, stężenia elementów w glebie i roztworze glebowym wykazują największy wpływ na ich wewnętrzne stężenia w roślinie i świadczą o poziomie żywienia mineralnego. Wszelkie zakłócenia odżywiania spowodowane wiązaniem pierwiastków w formy nieprzyswajalne, zarówno w glebie jak i wewnątrz rośliny, nieefektywnym mechanizmem absorpcyjnym i zakłóceniem tempa przemieszczania elementów z korzeni do części nadziemnych będą powodować stres niedoboru objawiający się prędzej czy później symptomami chorobowymi.

Istnieją też duże możliwości selekcji wewnątrzgatunkowej świerka pospolitego (proweniencje, rody, klony), pod względem akumulacji składników pokarmowych, wynikające z genetycznie zróżnicowanego metabolizmu odżywczego (FOBER i GIERTYCH 1971; EVERS 1973, 1979; KLEINSCHMIT i SAUER 1976; SCHMIDT-VOGT 1977; KLEINSCHMIT 1982; FOBER 1986; SABOR i wsp. 1994).

### 5.3.5. Wpływ pierwiastków na wzrost świerka

#### 5.3.5.1. Azot

Azot jest tym elementem odżywczym, który w największym stopniu wpływa na wzrost roślin drzewiastych, a nawożenie azotem zwiększa z reguły rozmiary i masę roślin. Dodatkowo skutki stosowania azotu można najwyraźniej zaobserwować na młodych roślinach. Sucha masa półrocznych siewek świerka rosnących na pełnej pożywce w kulturach wodnych, może być pięciokrotnie wyższa, niż masa siewek, którym podawano minimalne ilości azotu (INGESTAD

1959). W doświadczeniu SWANA (1972) sześciomiesięczne siewki rosnące w kulturach piaskowych, osiągały, w porównaniu z kontrolą, 10-krotnie wyższą masę po zastosowaniu pełnej dawki azotu. Jednoroczne siewki świerka wykazywały czterokrotnie mniejszą masę, gdy rosły na pożywce niekompletnej, bez azotu, w porównaniu z siewkami na pożywce pełnej, z optymalną dawką tego pierwiastka (FOBER i GIERTYCH 1968).

Korzystny wpływ nawożenia azotowego można zaobserwować zarówno w szkółkach, jak i na uprawach, a także w dojrzałych drzewostanach świerkowych. W literaturze można znaleźć wiele przykładów zwiększenia wzrostu wysokości (GUSSONE i ZÖTTL 1975; BŁOK i wsp. 1977; KUKKOLA 1978; ORLOV i wsp. 1987; NILSSON i WIKLUND 1992), oraz powierzchni podstawowej drzew (FIEDLER i wsp. 1977; KREUTZER 1981; HOLSTENER-JØRGENSEN i wsp. 1982; MEAD i TAMM 1988; NILSSON i WIKLUND 1992) czy po prostu ich miąższości (BAULE i FRICKER 1973; FIEDLER i wsp. 1973; NEBE 1974; FIEDLER i wsp. 1977; SARAMAKI i VALTANEN 1984; WESTMAN i wsp. 1985; DEROME i wsp. 1988; HOLSTENER-JØRGENSEN i HOLMSGAARD 1993). W doświadczeniu MEADA i TAMMA (1988) istotnemu zwiększeniu powierzchni podstawowej towarzyszyło zwiększenie zbieżystości strzał po zastosowaniu nawozu azotowego. Według NEBEGO (1970) spośród 64 wyselekcjonowanych i przeanalizowanych doświadczeń dotyczących nawożenia azotem drzewostanów świerkowych, 40 dało pozytywne rezultaty i wyraźne korzyści. Na podstawie licznych doświadczeń z terenu Niemiec oraz krajów skandynawskich oblicza on średnie zwiększenie przyrostu masy po zastosowaniu dawki nawozowej 100 kg N/ha, wynoszące 1–3 m<sup>3</sup> na rok, co daje jako całkowite działanie tejże dawki w ciągu kilku lat około 10 m<sup>3</sup>. Są to oczywiście wartości średnie. W sprzyjających warunkach klimatycznych, pod wpływem dawki nawozowej 100 kg N/ha uzyskano nawet zwiększenie przyrostu o około 20 m<sup>3</sup> (FIEDLER i wsp. 1973).



### 5.3.5.2. Fosfor

Wpływ nawożenia fosforem na wzrost roślin jest znacznie mniejszy, jednak pierwiastek ten, obok azotu, odgrywa ważną rolę w mineralnym żywieniu świerka. Reakcja siewek świerka na wzrastające dawki fosforu w pożywce mineralnej objawia się zwiększeniem ich wzrostu oraz masy. Siewki świerka rosnące w kulturach wodnych i piaszkowych na pożywkach z optymalnym poziomem fosforu, osiągają wielokrotnie większą masę w porównaniu z siewkami na pożywce bez fosforu (INGESTAD 1959; SWAN 1972).

BAULE i FRICKER (1973) informują o dużej skuteczności nawożenia superfosfatem w licznych szkółkach leśnych w Anglii. Dawkowanie nawozów fosforowych w czasie sadzenia świerka na kilku powierzchniach w Norwegii, wywarło trwały wpływ na jego wzrost (HAUGE 1972), niezależnie od zastosowanego nawozu czy metody aplikowania. BONNEAU (1972) donosi o korzystnym wpływie nawozu fosforowego na wczesny wzrost świerka na plantacji we Francji.

W literaturze są informacje o polepszeniu wzrostu młodych świerków rosnących na ubogim w fosfor siedlisku kwaśnego porfiru kwarcowego (FIEDLER i wsp. 1983) czy na polderach we wschodnim Flevolandzie (BLOK i wsp. 1977), jak również o zwiększonym przyroście masy świerków w stadium młodocianym po traktowaniu fosforem (MELZER i LUCKE 1984).

BAULE i FRICKER (1973) podają przykłady dodatniego wpływu nawożenia fosforem dojrzałych drzewostanów świerkowych. W doświadczeniu w Badenii-Wirtembergii uzyskano wzrost masy do 14%, w porównaniu z powierzchnią nie nawożoną. Również w Wielkiej Brytanii osiągnięto dobre wyniki w licznych próbach nawożenia fosforowego. Na żyzniejszych glebach torfowych i silnie zbielicowanych glebach wrzosowisk, świerk w pierwszych latach po nawożeniu wykazywał o 50% większe przyrosty.

Nawożenie fosforem rzadziej jednak daje pozytywne efekty niż nawożenie azotowe.

MOLTESEN (1972) opisuje doświadczenie, w którym na gruncie porolnym, aplikowanie fosforu przed posadzeniem świerka nie wpłynęło na wysokość rośliny w ciągu pięciu kolejnych lat. W przeciwieństwie do różnych kombinacji nawozowych, traktowanie samym fosforem nie miało wpływu na wielkość powierzchni przekroju drzew w drzewostanie świerkowym w Limousin we Francji (Nys 1981). Drzewostany świerkowe rosnące na siedliskach z glebą piaszczystą w Danii po nawożeniu fosforowym wykazywały w porównaniu z kontrolą mniejszą powierzchnię przekroju pni (HOLSTENER-JØRGENSEN 1992). Z 59 różnych doświadczeń dotyczących nawożenia drzewostanów świerkowych nawozami fosforowymi, zaledwie 21 wykazało istotne korzyści (NEBE 1970).

Równocześnie zwraca się uwagę na współdziałanie między fosforem a innymi pierwiastkami; nawożenie fosforowe daje dobre wyniki wówczas, gdy gleba jest dobrze zaopatrzona w pozostałe elementy (BAULE i FRICKER 1973).

### 5.3.5.3. Potas

W niektórych przypadkach podkreśla się bardzo istotny wpływ potasu na wzrost świerka. FORNES i współpracownicy (1970) przez nawożenie potasem 19-letniej plantacji świerkowej uzyskali zwiększenie wysokości drzew o 19,2% w porównaniu z powierzchnią kontrolną. Podobnie bardzo istotnie wpłynął potas na wzrost 4-letnich sadzonek świerkowych rosnących na piaszczystej glebie (HOLSTENER-JØRGENSEN i GREEN 1971). Mniej wyraźny, niemniej jednak dodatni wpływ tego pierwiastka na wzrost siewek świerka w szkółce otrzymał INGESTAD (1963). Natomiast HOLSTENER-JØRGENSEN (1970) nawoził plantacje świerkowe na stanowiskach piaszczystych w Jutlandii i uzyskał pozytywną reakcję na potas, ale tylko w niektórych rejonach. Pod wpływem nawożenia potasem zwiększa się również masa drzew (TAMM 1968; NEBE 1974; MELZER 1980). W badaniach FORNESA i współ-



pracowników (1970) traktowanie plantacji świerkowej potasem zwiększyło suchą masę igieł, gałęzi, kory i drewna, przy czym w największym stopniu zwiększyła się masa igieł.

Znane są w literaturze przykłady niewielkiego wpływu potasu na wzrost świerka (GLATZEL 1970; NEBE 1970; LE TACON i MILLIER 1970b; O'CARROLL 1972), lub też braku tego wpływu (OKSBJERG 1956; BRANTSEG i wsp. 1970; BUŠS i wsp. 1970; BLOK i wsp. 1977).

Potas odgrywa jednak bardzo ważną rolę w nawozach wieloskładnikowych, w których łącznie z azotem i fosforem, bądź też innymi jeszcze pierwiastkami, przyczynia się do istotnej poprawy wzrostu drzewostanów (ETVERK 1969; MANGALIS 1969; GLATZEL 1971; HOLSTENER-JØRGENSEN i GREEN 1971; ALTHER i wsp. 1974; GUSSONE i ZÖTTL 1975; ANSIAUX i wsp. 1977; PURO 1977; HAVERAEN 1978; NYS 1981; SHEEDY 1982; HUNGER 1985; STURE 1986; SARNACKIJ 1988; HÖGBERG i wsp. 1992; NILSSON i WIKLUND 1992; HOLSTENER-JØRGENSEN i HOLMSGAARD 1993).

Brak jest natomiast informacji o ujemnym wpływie potasu na wzrost. PAAVILAINEN (1970) stwierdził jedynie ujemny wpływ potasu na kiełkowanie i przeżycie świerka na niektórych rodzajach gleby, a KUKKOLA (1978) donosi o osłabieniu wzrostu dojrzałych drzewostanów przy zbyt dużych dawkach potasu (166 kgK/ha) na siedliskach boru świeżego w Finlandii.

#### 5.3.5.4. Wapń

MAYER-KRAPOLL (1968) podaje, że dzięki odpowiedniemu nawożeniu wapniem uzyskano w doświadczeniu świerkowym przyrost wysokości o 26%. EVERS (1963) natomiast uzyskał silnie zaznaczoną poprawę wzrostu słabo rosnących świerków po podaniu siarczanu wapnia. Według HAVERAENA (1978), w doświadczeniu wazonowym z torfem, aplikowanie wapnia poprawiło wzrost siewek, chociaż w niektórych kombinacjach wapń redukował korzystny wpływ innych nawozów. Również KRAMER i ULRICH (1985) informują o zwiększeniu

produkcji biomasy 3-letnich siewek świerka po zastosowaniu 4 t lub 6 t CaO/ha.

W trzydziestokilkuletnim drzewostanie świerkowym w Limousin we Francji po nawożeniu wapniem istotnie zwiększył się obwód i powierzchnia przekroju pni (NYS 1981).

Dodatni wpływ wapnia na wzrost zaznacza się nieraz dopiero po zastosowaniu tego pierwiastka razem z innymi, jak na przykład azotem (HOLSTENER-JØRGENSEN i BRYNDUM 1970; NYS 1981), fosforem (ALTHERR i wsp. 1974; MELZER i LUCKE 1984; HUNGER 1986), magnezem (BOSCH i wsp. 1986), czy też w łącznym działaniu wapnia z różnymi kombinacjami wielu składników odżywczych (MAYER-KRAPOLL 1968; BUŠS i wsp. 1970; HAUSSER 1971; ALTHERR i wsp. 1974; NYS 1981; HUNGER 1985, 1986; HOLSTENER-JØRGENSEN i HOLMSGAARD 1993). Należy też zaznaczyć, że wapnowanie często poprawia właściwości gleby, przedłuża w czasie korzystny efekt innych nawozów oraz redukuje uszkodzenia drzew spowodowane zanieczyszczeniem środowiska. Często jednak w literaturze spotyka się przykłady braku wpływu wapnia na polepszenie wzrostu świerka (OKSBJERG 1956; EVERS 1963; DIETRICH 1968; BRANTSEG i wsp. 1970), przy czym dotyczy to z zasady starszych drzewostanów. W doświadczeniu wykonanym przez Eversa (1963) dodatni wpływ tego pierwiastka był uzależniony od pH pożywki. Natomiast LE TACON i MILLIER (1970b) stwierdzają, że faktyczny wpływ wapnia na wzrost jest trudny do oszacowania, ze względu na jednoczesny wpływ, jaki wywiera obecność tego pierwiastka na pobieranie manganu i azotu. Ponadto w niektórych pracach stwierdza się wprost ujemny wpływ podawania wapnia na wzrost świerka, zarówno jeśli chodzi o siewki (INGESTAD 1963; PAAVILAINEN 1970), jak i o starsze uprawy świerkowe (MAYER-KRAPOLL 1968; SEIBT 1972). W doświadczeniu opisanym przez INGESTADA (1963) wapnowanie redukowało wielkość siewek świerka i liczbę rozgałęzień, zwiększając wartość stosunku masy korzenia do pędu. Według PAAVILAINENA



(1970) podawanie wapnia do wazonów z torfem powiększyło liczbę kiełkujących nasion i przeżywających siewek świerka, ale ujemnie wpływało na ich wzrost na wysokości.

#### 5.3.5.5. Magnez

O korzystnym wpływie magnezu na siewki świerka donosi INGESTAD (1963); wpływ tego pierwiastka zaznaczał się w dużo mniejszym stopniu niż wpływ azotu. BAULE i FRICKER (1973) podają przykład źle rosnących drzewostanów świerkowych na glebach charakteryzujących się 40–300 krotnie mniejszą zawartością magnezu, w porównaniu z innymi glebami, na których wzrost drzewostanów był dobry. Świadczyłoby to o dużym znaczeniu magnezu w mineralnym żywieniu świerka. LE TACON i MILLIER (1970b) stwierdzili natomiast, że pobieranie magnezu nie miało widocznego związku z przyrostem masy 50-letniego drzewostanu świerkowego rosnącego na glebach wapiennych.

Magnez może mieć korzystny wpływ na rośliny przy nawożeniu wieloskładnikowym (GUSSONE i ZÖTTL 1975; KENK i wsp. 1984; BOSCH i wsp. 1986). KOMLENOVIĆ i współpracownicy (1969) zauważyli najlepszą poprawę wzrostu 6-letniej słabo rosnącej plantacji świerka po zastosowaniu nawożenia NPKMg, w porównaniu z innymi kombinacjami nawozowymi. Natomiast w doświadczeniu BUŠA i współpracowników (1970) nad jednorocznymi siewkami świerka, dodatkowe wprowadzenie magnezu do nawozu NPK spowodowało zmniejszenie ciężaru nadziemnej części roślin.

Nawożenie magnezowe lub obecność magnezu w nawozach wieloskładnikowych korzystnie wpływa na ogólną zdrowotność drzewostanów osłabionych, zagrożonych zanieczyszczeniem środowiska, szczególnie kwaśnymi deszczami. Opóźnia zamieranie drzew, poprawia ich stan odżywczy oraz zwiększa możliwości ich regeneracji, a ponadto korzystnie wpływa na właściwości gleby, podnosi jej pojemność buforową oraz

stan chemiczny, a przez to poprawia zaopatrzenie roślin w składniki pokarmowe (NEBE 1986; FIEDLER i wsp. 1988; HEINSDORF i wsp. 1988, 1990; KATZENSTEINER i wsp. 1992; SCHAF i ZECH 1993).

#### 5.3.5.6. Mikroelementy

W doświadczalnictwie leśnym rzadko stosuje się nawożenie mikroelementami, chociaż pierwiastki te również posiadają znaczenie w harmonijnym odżywianiu drzew.

BREKKE (1979, 1983) informuje o korzystnym wpływie nawożenia boraksem drzewostanów świerkowych rosnących na torfowiskach w Norwegii. Nawożenie borem w dawce 0,12 kg/ha w połączeniu z PK zwiększyło przyrost wysokości drzew o 18–49% w porównaniu z nienawożoną kontrolą.

Bardzo często w literaturze podawane są przykłady ujemnego wpływu różnych mikroelementów, szczególnie metali ciężkich, na wzrost świerka w związku z zanieczyszczeniem środowiska spowodowanym rozwojem przemysłu i motoryzacji.

Należy mieć też na uwadze fakt, że nawożenie mineralne wpływa silnie na fotosyntezę świerka (SOIKKELI i KARENLAMPI 1984; MAREK i LOMSKY 1987; HAAG i wsp. 1992; NILSEN 1995) i przez to wpływa pośrednio również na wzrost i rozwój drzew. Inne pośrednie oddziaływanie różnych pierwiastków polega na ich dużym oddziaływaniu na rozwój systemu korzeniowego, a szczególnie na wzrost drobnych, najcieńszych korzeni (ROST-SIEBERT 1983; ABRAŽKO 1985; MURACH i SCHÜNEMANN 1985; ASP i wsp. 1988; VOGELI i ROTHE 1988).

Prawidłowy wzrost świerka uzależniony jest więc przede wszystkim od odpowiedniego zaopatrzenia w azot, fosfor, potas, magnez i wapń. Spośród tych pięciu podstawowych pierwiastków najsilniej na wzrost świerka wpływa azot, a podwyższenie jego poziomu w podłożu w największym stopniu zwiększa przyrosty oraz masę drzew. W znacznie mniejszym stopniu wzrost świerka stymulują fosfor oraz potas, magnez i wapń. Z kolei nadmiar azotu oraz wapnia



w największym stopniu wpływa niekorzystnie na rośliny i ogranicza ich wzrost, podczas gdy rzadko podawane są przykłady ujemnego wpływu nawożenia fosforem, magnezem czy potasem.

W badaniach INGESTADA (1959) spośród pięciu najważniejszych makroelementów półroczne siewki świerka wykazywały największe absolutne wymagania względem azotu, a najmniejsze względem wapnia. Natomiast GLATZEL (1970) podaje, że w badaniach nad dwuletnimi siewkami świerka, absolutnie najwyższy wpływ na produkcję suchej masy wykazywał fosfor, a najmniejszy potas, przy czym siewki traktowano tylko trzema pierwiastkami, a mianowicie azotem, fosforem i potasem.

Wymagania względem poszczególnych pierwiastków są ściśle związane z cyklami rozwojowymi roślin. Potwierdzają to badania SATO i MUTO (1953), w których obserwowano w pewnych okresach bardzo skuteczny wpływ azotu, fosforu oraz potasu na wzrost siewek świerka, podczas gdy w innych okresach brak któregośkolwiek z tych pierwiastków nie miał żadnego wpływu. Niewątpliwie jest to związane z różnymi fazami fenologicznymi i etapami wzrostu drzew w sezonie wegetacyjnym takimi, jak wiosenny wzrost koron, letni przyrost drewna, jesienny wzrost korzeni, zimowy spoczynek wegetacyjny i tym podobne.

Wpływ nawożenia na wzrost drzew i drzewostanów jest uzależniony od wielu jeszcze różnych czynników, jak warunki glebowe (na przykład stosunek C/N, wilgotność podłoża), szybkość rozpuszczania się nawozów, rodzaj zastosowanego nawozu, termin aplikowania. Bardzo istotne znaczenie ma wiek nawożonego drzewostanu oraz zwanie drzew. Rodzaj zastosowanego nawozu wpływa istotnie nie tylko na przyrost masy drewna, ale także na czas trwania wpływu nawożenia.

LIPAS i LEVULA (1980) oraz LIPAS (1988) badali skutki nawożenia w licznych drzewostanach świerkowych w Finlandii i stwierdzili zależność między rodzajem aplikowanego nawozu a regionem kraju.

I tak wiosenne nawożenie azotanem amonowym było najkorzystniejsze w całym kraju, natomiast jesień była najlepszym sezonem aplikowania mocznika z powodu największych możliwości wystąpienia korzystnych warunków pogodowych, przy czym w południowej Finlandii lepsze efekty dało nawożenie późną jesienią, a w północnej wczesną jesienią. Również LAAKKONEN i współpracownicy (1983) uważają, że korzyści z nawożenia azotowego zmniejszają się w Finlandii w kierunku północnym. W latach suchych nawożenie azotanem amonowym daje większe korzyści dla wzrostu drzew niż mocznik, który ulatnia się w tych warunkach w formie amonowej. Dlatego stosowanie mocznika jest polecane tylko w korzystnych czyli wilgotnych warunkach pogodowych.

INGESTAD (1979) szczegółowo opracował optymalne dla wzrostu siewek świerka stężenie pierwiastków w pożywce mineralnej i według niego proporcje wagowe pierwiastków powinny wynosić: 100 N, 50 K, 16 P, 5 Ca i 5 Mg, przy czym bezwzględne stężenie azotu dla maksymalnego tempa wzrostu siewek powinno wynosić od 60 do 80 mg na litr pożywki. Preferowanym źródłem azotu powinna być forma amonowa lub mieszanina formy amonowej i azotanowej, gdyż zmniejsza to ryzyko negatywnego efektu innych kationów.

EVERS (1967c) podaje, że w drzewostanach świerkowych wykazujących optymalny wzrost wartość stosunku C/N w wierzchniej warstwie gleby wynosiła 20,3, a stosunków C/P, C/K i C/Ca odpowiednio 112, 92 i 54. Istnieje tutaj oczywiście duża tolerancja i dlatego jako wartości maksymalne podaje się 24–26 dla C/N, 350–450 dla C/P i 400–500 dla C/K (EVERS 1967b, c).

Ważne znaczenie dla wzrostu świerka ma pH pożywki mineralnej czy roztworu glebowego. Jako optymalne podaje się wartości między 4,5 a 5,0 (INGESTAD 1967), chociaż dostateczny wzrost jest jeszcze możliwy przy pH 3,6–4,2 (FIEDLER 1975). W doświadczeniu opisanym przez SCHÜNNAMSGRUBERA (1958) dwuletnie siewki świerka w kulturach



piaskowych i wodnych pobierały największe ilości soli przy pH 5,5.

Wspomnieć jeszcze należy o wzajemnym oddziaływaniu genotypu i poziomu żywienia mineralnego na liczne cechy świerka. Jeżeli różne proveniencje, rody bądź klony wykazują odmienną reakcję na zróżnicowane warunki żywieniowe, to mamy do czynienia z interakcją między genotypem a środowiskiem edaficznym. Interakcja taka najwyraźniej objawia się u młodych siewek w doświadczeniach prowadzonych w warunkach kontrolowanych, chociaż była również stwierdzana dla dojrzałych drzew. Dla jednorocznych siewek świerka wartość interakcji rodów wewnątrz proveniencji i poziomu fosforu w pożywkach mineralnych była istotna dla ważniejszych cech wzrostowych i rozwojowych (FOBER 1990). Podobne wyniki, chociaż dla mniejszej liczby cech,

uzyskał autor w warunkach zróżnicowanego żywienia mineralnego azotem i wapniem; nie stwierdzono takiej interakcji dla potasu i magnezu. Na poziomie proveniencyjnym wartości komponentów zmienności interakcyjnej były niższe, niemniej jednak statystycznie istotne dla niektórych cech siewek. Istotność komponentu wariancji interakcyjnej wskazuje na możliwość selekcji interaktywnych rodów dla warunków glebowych bogatych w niektóre elementy, szczególnie fosfor, oraz względnie stabilnych rodów dla środowisk o zróżnicowanym zapotrzebieniu w składniki pokarmowe. Wykorzystanie potencjalnych możliwości siedlisk wymaga zatem doboru odpowiednich genotypów. Preferować należy genotypy, które mogą efektywnie pobierać pierwiastki z gleby lub które mają małe potrzeby pod względem odżywczym.