UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNO-PRZYRODNICZY
IM. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
W BYDGOSZCZY
KATEDRA MELIORACJI I AGROMETEOROLOGII

MGR INŻ. MARIUSZ MUSIAŁ

ROZPRAWA DOKTORSKA

Zatytułowana:

„OCENA POTRZEB I EFEKTÓW NAWADNIANIA W SZKÓŁCE ZADRZEWIENIOWEJ PO WYKONANIU MELIORACJI PRÓCHNICĄ NADKŁADOWĄ”

Pod kierunkiem
Dr hab. inż. Stanisława Rolbieckiego prof. nadzw. UTP

Bydgoszcz
2014

Spis treści:

1. Wprowadzenie. 7
2. Przegląd literatury 9
2.1. Charakterystyka szkółek leśnych 9
2.2. Zabiegi melioracyjne jako elementy polepszające warunki siedliskowe szkółki 10
2.3. Specyfika produkcji szkółkarskiej 14
2.3.1. Znaczenie materii organicznej w szkółce leśnej 20
2.3.2. Optymalne uwilgotnienie gleby gwarancją efektywnej produkcji sadzonek 24
2.3.3. Właściwości i charakterystyka nawodnień kroplowych 27
2.3.4. Sposoby określania potrzeb nawadniania roślin 31
3. Materiały i metody 35
3.1. Charakterystyka doświadczeń i warunki glebowe 35
3.2. Przebieg warunków meteorologicznych w sezonach badawczych 37
3.2.1. Fluktuacja temperatury powietrza atmosferycznego 38
3.2.2. Rozkład opadów atmosferycznych 39
3.2.3. Przebieg wilgotności względnej powietrza 42
3.3. Wyznaczenie współczynników kc dla Sosny zwyczajnej 43
3.4. Metody oceny potrzeb wodnych Sosny zwyczajnej 45
3.4.1. Klimatyczny Bilans Wodny 45
3.4.2. Ewapotranspiracja rzeczywista 47
3.5. Ocena parametrów biometrycznych siewek 48
4. Wyniki 49
4.1. Współczynniki roślinne Sosny zwyczajnej 49
4.2. Potrzeby wodne Sosny zwyczajnej wg KBW 50
4.2.1. Metoda Szarowa 50

4.2.2. Równanie Hargreaves-a 55
4.2.3. Zależność Grabarczyka 59
4.2.4. Sposób Drupki 64
4.3. Potrzeby wodne sosny wg ET 69
4.4. Dynamika zmian cech biometrycznych siewek 71
4.5. Efekty produkcyjne siewek 73
4.5.1. Wysokość pędu nadziemnego 73
4.5.2. Średnica pędu 75
4.5.3. Liczba igieł 77
4.5.4. Świeża masa części nadziemnej 79
4.5.5. Wartość jakościowa uzyskanych siewek sosny 81
5. Dyskusja wyników 86
6. Wnioski 95
7. Bibliografia 97
8. ANEKS 106

Podziękowania dla dr hab. inż. Stanisława Rolbieckiego prof. nadzw. UTP za cenne uwagi i pomoc w realizacji niniejszej pracy.

Podziękowania dla Nadleśnictwa Bydgoszcz i pracowników Szkółki w Białych Błotach za życzliwość i pomoc w realizacji badań.



Pracę dedykuję kochanej żonie i synkowi.

ERRATA
Do Rozprawy Doktorskiej pt:

" Ocena potrzeb i efektów nawadniania w szkółce zadrzewieniowej po wykonaniu melioracji próchnicą nadkładową"

Nr strony	Wiersz (od góry)	Jest	Powinno być
35	7	(Żarski 2011)	**(Żarski 2011)**
35	11	5 dm^{-3} x $min.^{-1}$	300 dm^3 x $godz.^{-1}$
35	13	5-15 m^3	5-15 tys. m^3
36	15	0,01 m^3	0,02 m^3
36	24	2,4 dm^3 x min^{-1}	2,4 dm^3 x $godz^{-1}$
46	2 wzór	$Ep = □,32(\sum d + \frac{1}{3}\sum t)$	$Ep = 0,32(\sum d + \frac{1}{3}\sum t)$
98	poz. 21	s. 507, 495–511	s. 495–511
100	poz. 48	Polish Jurnal	Polish Journal
105	poz. 108	A discusion	A discussion

1. WPROWADZENIE.

W Polsce w 1996 r. w zarządzie Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych funkcjonowało około 451 szkółek leśnych i zadrzewieniowych, z czego 28 w Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu **(DGLP 1997).** Do roku 2007 w Lasach Państwowych nastąpił znaczący wzrost ich liczby osiągając wartość 888. Łączna powierzchnia gruntów w uprawie polowej szkółek leśnych wynosiła wówczas 2888 ha, a produkcja osiągnęła 984 mln sadzonek, z czego 47% stanowiły gatunki iglaste **(Głaz i in. 2008).** Dominującym gatunkiem w produkcji sadzonek w szkółkach leśnych, zarówno na powierzchniach otwartych jak i pod osłonami, była i jest Sosna zwyczajna (Pinus sylvestris L.) **(Puchniarski 2008).** W 2007 roku udział tego gatunku w strukturze wyprodukowanych sadzonek w Polsce wyniósł aż 32,5% **(Głaz i in. 2008).** Ponadto Sosna zwyczajna jest głównym gatunkiem lasotwórczym kraju **(Puchniarski 2008)**, a jej udział powierzchniowy w roku 2012 wraz z modrzewiem stanowił ok. 61% struktury powierzchni w zarządzie Lasów Państwowych i ok. 56% w lasach prywatnych **(GUS 2013).** Według innych danych powierzchniowy udział sosny w kraju przekracza 67%, natomiast w krainie wielkopolsko-pomorskiej osiąga aż 87% **(Puchniarski 2008).** Oczywistym jest, że ten najważniejszy gatunek z punktu widzenia leśnictwa wymaga stałej dostępności wysokiej jakości materiału sadzeniowego w celu zabezpieczenia potrzeb odnowieniowych i uzupełnieniowych w naturalnej gospodarce leśnej. Jednakże produkcja szkółkarska w Polsce, zwłaszcza wielkoobszarowa, napotyka trudności związane z produkcją sadzonek Sosny zwyczajnej. Jednym z głównych wyzwań jest zapewnienie optymalnych warunków wodnych przy odpowiedniej dostępności materii organicznej. Ze względu na niedostateczne ilości opadów oraz ich nierównomierny rozkład produkcja materiału szkółkarskiego wymaga stosowania nawodnień uzupełniających niedobory wody w glebie **(Babiński 1987, Babiński, Białkiewicz 1999).** Należy zatem stwierdzić, iż produkcja wysokiej jakości materiału szkółkarskiego jest możliwa jedynie poprzez optymalizację zarządzania nawadnianiem i nawożeniem w szkółkach leśnych **(Lamhamedi, Gagnon 2003).**

Wobec powyższego pożądanym zjawiskiem w szkółkarstwie leśnym jest wdrożenie szeroko pojętego postępu technologicznego i jego upowszechnienie **(Grygier i in. 2012).** Tym bardziej, iż wykorzystywanie do nasadzeń drzew leśnych sadzonek wysokiej jakości znacząco poprawia wskaźniki przeżywalności podczas zalesiania, wpływa pozytywnie na ich wzrost i gwarantuje efektywne prowadzenie plantacji leśnych **(Lamhamedi, Gagnon 2003).** Poszukiwanie nowych technologii nawożenia i nawadniania ma skutkować dostępnością odpowiedniej jakości materiału sadzeniowego, bez ujemnego wpływu na środowisko **(Lamhamedi, Gagnon 2003, Juntunen 2003).** Możliwości takie daje wykorzystanie w uprawach szkółkarskich nawodnień kroplowych. Celowość ich stosowania w Polsce wynika z faktu ograniczonych zasobów wodnych, ich sezonowej zmienności, a szczególnie z występującej nierównomiernie w czasie potrzeby nawodnień uzupełniających **(Jeznach 1996).**

Dotychczasowe badania rozwiązały podstawowe problemy produkcyjne sadzonek sosny, ale ujawniły potrzebę określenia optymalnych dawek nawodnieniowych dla wzrostu i rozwoju siewek sosny w warunkach nawożenia organicznego. Ponadto dotychczas brakowało jednoznacznych dowodów dla korzyści produkcyjnych wynikających ze stosowania nawodnień kroplowych w szkółkach leśnych, zwłaszcza w warunkach nawożenia organicznego. Kosztochłonność pozyskiwania i stosowania nawozów organicznych w szkółkach skłania do poszukiwań alternatywnych, łatwo dostępnych, tanich oraz podobnie korzystnie działających odpowiedników popularnie stosowanych kompostów i nawozów zielonych. Próchnica nadkładowa z terenów zrębowych spełnia te kryteria, dlatego w niniejszej pracy podjęto próbę jej wykorzystania w produkcji szkółkarskiej. Niniejsze badania zainicjowane zostały potrzebą optymalizacji dawek nawadniania kroplowego w szkółce leśnej w warunkach nawożenia organicznego, przy zachowaniu wysokiej efektywności produkcji materiału szkółkarskiego. W pracy podjęto próbę wyznaczenia współczynnika k umożliwiającego precyzyjne określanie potrzeb wodnych sosny. Hipoteza badawcza zakładała, iż zastosowanie zróżnicowanych, zwiększonych dawek nawodnieniowych na glebie rdzawej poddanej zabiegowi melioracji próchnicą nadkładową, pozwoli na określenie optymalnej, zwiększonej dawki wody dla wzrostu i rozwoju siewek Sosny zwyczajnej. Powyższe może w efekcie przyczynić się do dostosowania obecnie stosowanych wytycznych nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych do warunków zwiększonego nawożenia organicznego. Hipoteza zakładała także, że zastosowane czynniki pozytywnie wpłyną na jakość powstałego materiału szkółkarskiego i pozwolą uzyskać siewki najwyższej 1 klasy jakości wg kryteriów Polskiego Komitetu Normalizacyjnego. Celem pracy było zatem określenie potrzeb wodnych Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) uprawianej w cyklu dwuletnim z nasion, z odkrytym systemem korzeniowym, z zastosowaniem podcinania korzeni w 1 i 2 roku uprawy, przy melioracji próchnicą nadkładową i nawadnianiu kroplowym. Celem drugiego rzędu była ocena wpływu zwiększonych dawek wody na wzrost i jakość siewek sosny oraz zakwalifikowanie uzyskanych roślin wskaźnikowych do klas jakości zgodnie z Polskimi Normami **(PN-R-67025 1999, PN-R-67026 2002)**, w porównaniu z dawkami wody przewidzianymi w wytycznych nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych **(Pierzgalski i in. 2002).**

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. CHARAKTERYSTYKA SZKÓŁEK LEŚNYCH

Szkółki leśne, to szkółki produkujące sadzeniowy materiał krzewów i drzew leśnych **(Więcko 1996).** Rozumiane jako gospodarstwa zajmujące się produkcją materiału sadzeniowego, dzielą się na wiele typów w zależności od przyjętych kryteriów podziału. Z punktu widzenia wielkości, wyróżnia się szkółki małoobszarowe, czyli gospodarcze – o powierzchni poniżej 3 ha, średnioobszarowe oraz wielkoobszarowe o powierzchni powyżej 10 ha. Według kryterium rozplanowania kwater, szkółki dzielą się na scalone i zespolone. Scalone, usytuowane na powierzchniach otwartych, cechują się niekorzystnymi warunkami mikroklimatycznymi **(Walendzik 1999a, Puchniarski 2012)**, w szczególności dużym nasłonecznieniem, narażeniem na niekorzystne działanie erozji wietrznej i ewapotranspiracji, jednakże poprawa ich warunków siedliskowych jest możliwa poprzez zastosowanie odpowiednich, roślinnych pasów wiatrochronnych. Zaletą ich jest duża koncentracja kwater ułatwiająca wykonywanie zabiegów sylwotechnicznych. Szkółki zespolone charakteryzują się małą koncentracją kwater, są usytuowane wewnątrz drzewostanu, oddzielone kulisami drzew. Ich mikroklimat jest korzystny dla produkcji szkółkarskiej, ponieważ wymienione powyżej niekorzystne zjawiska nie występują, bądź ich negatywny wpływ jest niewielki **(Walendzik 1999a).**

Biorąc pod uwagę długotrwałość gospodarowania można wydzielić szkółki stałe oraz czasowe, które produkują materiał przez kilka lat, jednak te drugie spotykane są coraz rzadziej. Można dokonać podziału szkółek także według kryterium osłony górnej, gdzie występują szkółki otwarte i podokapowe **(Walendzik 1999a, Puchniarski 2012).** Otwarte zajmują przestrzenie cechujące się nieograniczonym nasłonecznieniem, natomiast podokapowe znajdują się pod koronami odpowiednio przeciętego pasa drzew **(Więcko 1996, Walendzik 1999a)**, a służą do produkcji sadzonek roślin cienioznośnych tj. jodły i buka **(Walendzik 1999a).**

Ze względu na cel produkcyjny szkółki dzielą się na leśne i zadrzewieniowe. Pierwsze z wymienionych cechuje produkcja rocznych lub kilkuletnich sadzonek drzew i krzewów, szkółkowanych bądź nie, przeznaczonych do odnowień, zalesień, plantacji leśnych, poprawek, uzupełnień, dolesień i wprowadzania podszytów **(Walendzik 1999a).** Warunki glebowe, wodne i klimatyczne tych szkółek mogą być mniej korzystne dla roślin, w porównaniu z zadrzewieniowymi, gdyż krótsze cykle produkcji generują mniejsze wymagania sadzonek **(Walendzik 1999b).** W szkółkach zadrzewieniowych prowadzona jest produkcja materiału sadzeniowego drzew i krzewów **(Więcko 1996)**, przy czym w literaturze spotyka się pogląd, że wytwarza się w nich wieloletnie sadzonki drzew i krzewów do zadrzewień **(Walendzik 1999a)**, których cykl produkcyjny, w zależności od gatunku wynosi od 4 do kilkunastu lat, a wysokość sadzonki może dochodzić do 2 m **(Gil i in. 1999).** Poprzez zadrzewienia należy rozumieć rośliny

drzewiaste i krzewiaste występujące poza obszarami leśnymi i terenami zieleni miejskiej. Wobec tego rośliny przeznaczone do zadrzewień natrafiają na trudne warunki siedliskowe, dlatego charakteryzują się innymi wymaganiami w stosunku do sadzonek, odmian i wykorzystywanych gatunków. Niezbędnymi cechami sadzonek do zadrzewień są żywotność, zdolność do szybkich przyrostów i odporność na niekorzystne warunki w danym siedlisku. W związku z powyższym, wykorzystuje się sadzonki, rodzimych gatunków i odmian drzew i krzewów, rozmnażane generatywnie. Do tego typu nasadzeń nie stosuje się roślin ozdobnych i rozmnażanych wegetatywnie, z wyjątkiem, charakteryzujących się szybkim wzrostem, odmian topoli, wierzby oraz lipy miododajnej **(Zajączkowski 1999).**

Na tym etapie wyjaśnienia wymaga kwestia różnicy znaczeniowej pomiędzy terminami, które będą często pojawiały się w niniejszej pracy, a mianowicie siewka i sadzonka. W nomenklaturze związanej z leśnictwem sadzonka do zadrzewień oznacza jednoroczną lub kilkuletnią roślinę przeniesioną ze szkółki do miejsca docelowego w zadrzewieniach, natomiast siewka to młoda roślina do czasu jej przesadzenia, która powstała z nasienia **(Więcko 1996).**

2.2. ZABIEGI MELIORACYJNE JAKO ELEMENTY POLEPSZAJĄCE WARUNKI SIEDLISKOWE SZKÓŁKI

Melioracje należy rozumieć, jako zabiegi modyfikujące procesy obiegu wody, powietrza, energii cieplnej, materii organicznej i mineralnej w środowisku glebowym **(Trybała 1996).** W ujęciu słownikowym melioracje, to działania techniczne, organizacyjne oraz gospodarcze **(Trybała 1996, Więcko 1996)** podejmowane dla poprawy produkcyjności gleby, poprzez modyfikację stosunków wodnych, pokarmowych, powietrznych oraz cieplnych **(Więcko 1996).** Celem ich stosowania jest optymalizacja warunków wzrostu i rozwoju roślin uprawnych i drzewiastych przy zachowaniu równowagi ekosystemów **(Trybała 1996).**

Melioracje dzielą się na kilka grup ze względu na rodzaj zastosowanych zabiegów. Wyróżnia się zatem melioracje agrotechniczne, biologiczne, fitotechniczne, gleby, wodne **(Więcko 1996)** fitomelioracje oraz zoomelioracje **(Mazur 2003).** Pierwsze z wymienionych - agrotechniczne przygotowują glebę pod zalesienia i należą do nich między innymi stosowanie torfu na glebach lekkich oraz piasków na glebach torfowych **(Więcko 1996).**

Zabiegi biologiczne umożliwiają poprawę siedliskowych warunków glebowo-wodnych przy zastosowaniu roślinności, tj. podsiew roślinami motylkowymi zwiększającymi zasobność gleby w azot, wprowadzanie podszytów na leśnych siedliskach suchych celem zwiększenia retencji, a także stosowanie próchnicy i ściółki leśnej na gruntach porolnych przeznaczonych pod zalesienia, aby zintensyfikować sukcesję gleby rolniczej w leśną **(Więcko 1996).**

Melioracje fitotechniczne stosowane są w celu polepszenia lokalnych stosunków wodnych i warunków uprawy gleby poprzez stosowanie zadrzewień

śródpolnych, leśnych pasów wiatrochronów oraz zakrzewień i zadrzewień w obrębie cieków wodnych **(Więcko 1996).**

Zabiegi powodujące zwiększenie urodzajności utworu glebowego poprzez dostosowanie jego biologicznych i fizykochemicznych właściwości do wymagań poszczególnych odmian lub grup roślin, określa się mianem melioracji glebowych **(Prusinkiewicz 1994).**

Kolejna grupa to melioracje wodne, rozumiane jako techniczne działania prowadzące do regulacji stosunków wodnych gleb, w celu zwiększenia ich produktywności roślinnej. Do najważniejszych należą; regulacja cieków wodnych, zabezpieczenia przeciwpowodziowe oraz nawadnianie i odwadnianie terenów **(Więcko 1996).** Można zatem wyróżnić dwie zasadnicze grupy wodnych zabiegów melioracyjnych, stanowią je melioracje odwadniające i nawadniające. Do pierwszej grupy należą systemy rowów otwartych lub drenów **(Babiński 1987)**, w których obrębie wyróżniamy następujące zabiegi zaliczane do działań agromelioracyjnych: usprawniające odpływ powierzchniowy - bruzdowanie, przegony, orka zagonowa i profilująca, wyrównanie powierzchni **(Cieśliński, Szafrański 1997)** oraz usprawniające odpływ podpowierzchniowy - orka z pogłębiaczem, orka melioracyjna, drenowanie krecie, spulchnianie, wgłębne nawożenie i wapnowanie **(Cieśliński 1997).** W obrębie melioracji nawadniających, ze względu na sposób dostarczania i rozprowadzania wody w profilu glebowym, można wyróżnić nawodnienia podpowierzchniowe i napowierzchniowe **(Ostromęcki 1973, Brandyk 1986).**

W nawodnieniach podpowierzchniowych gleba zasilana jest wodą wstępującą, z głębi profilu ku powierzchni, głównie w wyniku działania sił kapilarnych **(Ostromęcki 1973, Brandyk 1986).** Dzielą się na przesiąkowe i podsiąkowe. Przesiąkowe, zwane wgłębnymi, opierają się na sieci porowatych rurociągów biegnących na określonej głębokości w glebie, z których pod niskim ciśnieniem hydrostatycznym przy udziale sił kapilarnych wydobywa się woda zwilżając przestrzenie wokół instalacji. Ten rodzaj nawodnień może być stosowany jedynie w przypadku nisko zalegającego zwierciadła wody gruntowej, w warunkach dużej polowej pojemności wodnej warstwy znajdującej się powyżej rurociągów oraz niewielką przepuszczalnością warstwy poniżej rur **(Brandyk 1986, Pływaczyk 2006).** Regulację uwilgotnienia gleby za pomocą nawodnień podsiąkowych przeprowadza się poprzez zmiany wysokości wód gruntowych w profilu glebowym**.** Jest to możliwe przy wykorzystaniu systemu równolegle przebiegających rowów nawadniających, gdzie w zależności od potrzeb dokonuje się spiętrzenia wody. Poprzez przesiąkanie wody w głąb profilu glebowego pomiędzy rowami, następuje podniesienie zwierciadła wody gruntowej do wymaganego poziomu **(Brandyk 1990, Pływaczyk 2006).** Ponadto w rejonach dolin cieków, instalacje podsiąkowe umożliwiają odprowadzenie wody w okresach jej nadmiaru **(Brandyk 1990).** Ze względu na swoje zalety tj. niskie koszty, prostą obsługę i wysoki techniczny współczynnik wykorzystania wody, nawodnienia podsiąkowe, znajdują szerokie zastosowanie **(Brandyk 1986, Pływaczyk 2006).**

Nawodnienia napowierzchniowe bazują na zjawisku zasilania profilu glebowego wodą przesiąkającą z powierzchni gleby ruchem zstępującym, w wyniku działania sił grawitacyjnych. Wśród nich wyróżnia się nawodnienia zalewowe, nasiąkowe, deszczowniane i kroplowe **(Ostromęcki 1973, Brandyk 1986, Pływaczyk 2006).** Pierwsze z wymienionych, zalewowe, mogą mieć charakter naturalny, gdy wody występują z koryta cieku i zalewają jego dolinę, taki scenariusz ma miejsce najczęściej podczas wezbrań wiosennych. Mogą mieć także charakter kierowany, gdzie w ograniczony sposób umożliwiają sterowanie terminem nawadniania, ponieważ możliwość ich stosowania związana jest z dostępnością wód roztopowych i wezbraniowych. Nawodnienia nasiąkowe, umożliwiają sterowanie terminem i dawką wody w większym zakresie niż zalewowe, są wykorzystywane na obszarach charakteryzujących się spadkiem terenu. Wyróżniane są dwa warianty ich stosowania, stokowe, w których woda spływa po powierzchni gleby oraz bruzdowe, gdzie dawka nawodnieniowa rozprowadzana jest systemem bruzd **(Brandyk 1986, Pływaczyk 2006).** Kolejną grupę stanowią nawodnienia deszczowniane, które umożliwiają przeprowadzanie nawadniania w określonych terminach i dawkach. Istotą tych nawodnień jest doprowadzenie wody pod ciśnieniem, poprzez system rurociągów, do zraszaczy. Woda wydobywa się ze zraszaczy w postaci strugi, która rozdziela się na krople i w takiej formie dociera do nawadnianej powierzchni **(Ostromęcki 1973, Drupka 1986, Pływaczyk 2006).** Stosowanie tych rozwiązań wiąże się z poniesieniem wysokich kosztów związanych z zakupem urządzeń, ich eksploatacją oraz obsługą. Jedną z podstawowych zalet jest wysoki współczynnik wykorzystania wody. Ostatnim systemem, w omawianej grupie, są nawodnienia kroplowe **(Pływaczyk 2006).** Ich charakterystyka została szczegółowo omówiona w podrozdziale 2.3.3. Ostatnim z opisywanych zabiegów są zoomelioracje, które wpływają na poprawę warunków funkcjonowania edafonu glebowego lub introdukują nowe, pożądane gatunki w danym siedlisku. Wprowadza się gatunki przyspieszające rozkład ściółki tj. mechowce w południowej Karolinie, a dla poprawy warunków zalesień bezkręgowce tj. dżdżownice, wazonkowce, krocionogi np. w Karpatach. Celem tych zabiegów jest optymalizacja obiegu materii, a w konsekwencji korzystny przebieg procesów glebotwórczych w cyklu produkcyjnym drzewostanu. Zoomelioracje z powodzeniem stosowane są także w przygotowaniu terenów porolnych pod zalesienia w połączeniu z nawożeniem organicznym i fitomelioracjami **(Mazur 2003).**

Do przeprowadzenia zabiegów melioracyjnych można także wykorzystać środki biologiczne i chemiczne. Do biologicznych zalicza się nawozy bakteryjne, nawozy organiczne, prawidłowe płodozmiany i uprawę strukturotwórczych roślin. Spośród chemicznych warto wymienić wapnowanie, nawożenie mineralne, utylizację odpadów przemysłowych, a także chemiczne substancje strukturotwórcze **(Cieśliński 1997a).** Pojęciem nieco szerszym od omówionych wcześniej są agromelioracje, plasują się one na pograniczu prac melioracyjnych i agrotechnicznych. W odróżnieniu od pozostałych nie tylko modyfikują wierzchnią warstwę gleby, ale należy je rozumieć jako działania, zmierzające do zwięk-

szenia poziomu produkcji, polepszenia jakości roślin oraz intensyfikacji użytkowania gleb **(Cieśliński 1997a, Drozd, Nowak 2006).** Znajdują także zastosowanie przy rekultywacji i zagospodarowywaniu nieużytków oraz terenów zdewastowanych przez przemysł **(Drozd, Nowak 2006).** Powyższe cele realizowane mogą być poprzez poprawę struktury utworu glebowego, poprawę stosunków wodno-powietrznych, uaktywnienie procesów mikrobiologicznych i biologicznych, zwiększenie zawartości składników pokarmowych oraz usprawnienie odprowadzania nadmiaru wilgoci **(Cieśliński 1997a, Drozd, Nowak 2006).** Agromelioracje obejmują szereg praktycznych zabiegów, do najważniejszych z nich należą:

- modyfikujące powierzchniową warstwę gleby - odkrzaczanie, odkamienianie, wyrównywanie powierzchni,
- regulujące warunki cieplne i powietrzno-wodne gleby - nawadnianie, odwadnianie, iłowanie i glinowanie lekkich gleb, piaskowanie ciężkich, drenowanie krecie, spulchnianie podornej warstwy, orka melioracyjna,
- wytwarzające żyzną warstwę orną - spulchnianie, orka podstawowa i agromelioracyjna, uprawa bezodkładnicowa, pogłębianie warstwy uprawnej,
- zapobiegające erozji - warstwicowanie, tarasowanie zboczy, spulchnianie warstwy podornej, płodozmiany przeciwerozyjne oraz zadrzewianie i zadarnianie skarp **(Cieśliński 1997a).**

Obszary Polski, na których niezbędne jest zastosowanie zabiegów agromelioracyjnych określa się na podstawie opracowanej przez IUNG klasyfikacji kompleksów rolniczej przydatności gleb. Zgodnie z tą klasyfikacją, największe potrzeby i możliwości stosowania tych zabiegów występują na glebach ciężkich i średnio zwięzłych, w których występują zwięzłe, mało przepuszczalne warstwy oraz lekkich **(Cieśliński 1997b, Drozd, Nowak 2006).** Szacuje się, iż problem dotyczy ok. 54% powierzchni gruntów ornych Polski **(Drozd, Nowak 2006).** Dobór odpowiednich zabiegów agromelioracyjnych na określonych obszarach, poza kategorią ciężkości uprawy, warunkowany jest także poprzez wymagania poszczególnych roślin, przebieg warunków pogodowych oraz dostępność maszyn, narzędzi i środków finansowych. Opisywane zabiegi należą do kosztochłonnych metod polepszania warunków siedliskowych i stosowane są zwykle periodycznie w kilkuletnich odstępach. Szczególną grupę stanowią natomiast melioracje leśne, czyli hylomelioracje, które obejmują wymienione wcześniej zabiegi, ale wykonywane w siedliskach leśnych dla poprawy zdolności produkcyjnych lasu **(Więcko 1996).**

W pojęciu melioracji mieści się jeszcze jedna grupa zabiegów, stanowią ją fitomelioracje. Należy je rozumieć jako działania prowadzące do poprawy mikroklimatu i produktywności utworu glebowego poprzez introdukcję odpowiednich gatunków roślin. Znajduje zastosowanie także w zalesianiu terenów

porolnych poprzez kształtowanie właściwego składu gatunkowego, restytucję runa, łubinowanie, czy też wprowadzanie podszytów **(Mazur 203).** Ich rola polega na wykorzystaniu czynników przyrodniczych, technicznych i fitotechnicznych do polepszenia warunków agroekologicznych danego siedliska. Podstawowym celem fitomelioracji jest przeciwdziałanie erozji, zwiększanie retencji, ograniczenie spływu powierzchniowego i łagodzenie klimatu. Działania zaliczane do tej grupy, to zalesianie gruntów niekorzystnych rolniczo, stosowanie zadrzewień śródpolnych, przydrożnych, przyzagrodowych, nadbrzeżnych, przeciwerozyjnych, wiatrochronnych, skarp i stoków, zadrzewienia sadownicze, przeciwerozyjne płodozmiany, a także biologiczno-techniczna rekultywacja terenów poprzemysłowych **(Drozd, Nowak 2006).** Reasumując można stwierdzić, iż właściwe stosowanie zabiegów melioracyjnych jest koniecznością, ponieważ umożliwia utrzymanie wysokiej produktywności gleb, poprzez minimalizację negatywnych zjawisk siedliskowych **(Trybała 1996).**

2.3. SPECYFIKA PRODUKCJI SZKÓŁKARSKIEJ

Celem szkółkarstwa leśnego w dwudziestym pierwszym wieku jest produkcja wysokiej jakości sadzonek i siewek drzew leśnych. Wartościowy materiał sadzeniowy winien odznaczać się dużą żywotnością po wysadzeniu w miejscu docelowym, skutkując wyeliminowaniem poprawek i redukcją do minimum kosztów związanych z pielęgnacją nowo powstałych plantacji **(Walczyk, Tylek 2010).** Sadzonki opuszczające szkółkę powinny ponadto cechować się dobrą zdrowotnością oraz intensywnością fenologiczną i wzrostową. Istotną rolę w osiągnięciu tych kryteriów pełni prawidłowo rozwinięty system korzeniowy **(Landis 2008).** Osiągnięcie tych celów, czyli ilość i jakość wytwarzanych sadzonek, jest ściśle uzależnione od warunków glebowych i meteorologicznych **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002)** oraz optymalizacji nawożenia i nawadniania w całym okresie wegetacyjnym **(Lamhamedi, Gagnon 2003).** Warunki glebowe determinowane są przez skałę macierzystą, czyli typ i rodzaj gleby, jej skład granulometryczny określony przez gatunek, ilość i ruch powietrza, zmęczenie, a także zasobność w składniki pokarmowe i mikroelementy **(Walendzik, Szołtyk 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Wedle ww. właściwości najodpowiedniejszymi glebami dla produkcji szkółkarskiej, zwłaszcza siewek i sadzonek sosny, są gleby piaszczyste, zwłaszcza piaski słabo gliniaste i gliniaste lekkie, o zawartości części spławialnych na poziomie odpowiednio 5-10% i 10-15%. Optymalny poziom wód gruntowych określa się na poziomie 150-200 cm. Przemawia za tym także łatwość utrzymania odpowiedniego odczynu i wilgotności. Nie nadają się pod produkcję szkółkarską gleby wybitnie piaszczyste i gliniaste tj. głębokie piaski luźne oraz średnie i ciężkie gliny **(Walendzik 1999b, Puchniarski 2012).** Zasobność utworu glebowego jest ściśle związana z frakcją organiczną i mineralną gleby oraz procesami jakim one ulegają. Frakcja organiczna uwalnia składniki pokarmowe do roztworu glebowego w procesie mineralizacji, mineralna w procesie wietrzenia. Właściwa relacja tych procesów

warunkuje odpowiednią zasobność utworu glebowego dla prawidłowego rozwoju roślin. Właściwości i znaczenie materii organicznej omówiono szerzej w podrozdziale 2.3.1 niniejszego opracowania. Ocenę potrzeb nawożenia mineralnego w glebach szkółek leśnych przeprowadza się w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych zasobności gleby, konfrontując je z zapotrzebowaniem poszczególnych gatunków na składniki pokarmowe **(Walendzik, Szołtyk 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Należy jednak pamiętać, że w celu ograniczenia strat składników pokarmowych poprzez wymywanie wskazane jest stosowanie w szkółkach nawozów wolnodziałających. Jest to szczególnie istotne na początku okresów wegetacji, kiedy to zasobność podłoża w składniki odżywcze jest wysoka, a absorpcja przez siewki niewielka **(Juntunen 2003).** Ze względu na wymagania ekologiczne Sosnę zwyczajną zalicza się do gatunków o szerokiej tolerancji ekologicznej **(Drozd, Florek 2000)**, przy czym należy stosować nawożenie mineralne nie przekraczając maksymalnych dawek dla poszczególnych gatunków. Dla sosny maksymalna dawka azotu wynosi 50 kg x ha^{-1}, a przekroczenie tej wartości może spowodować zahamowanie rozwoju ektomikoryz korzeniowych, tak korzystnych dla prawidłowego rozwoju roślin. Zatem, z punktu widzenia jakości uzyskanych sadzonek, korzystniejsze jest stosowanie zmniejszonych dawek nawożenia azotowego aniżeli dawek zbliżonych do maksymalnych **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Ponadto warunki glebowe, poza odpowiednią zasobnością w makro i mikroelementy, powinny charakteryzować się odpowiednią zasobnością w próchnicę, odpowiednim odczynem, a także korzystnym stosunkiem węgla do azotu **(Puchniarski 2008).** Optymalne pH_{KCl} winno oscylować w granicach 4,5-5,5, co zapewnia optymalny dopływ składników pokarmowych dla roślin **(Walendzik, Szołtyk 1999).** Optymalny odczyn gleby dla sosny mieści się natomiast w przedziale 4-5 **(Puchniarski 2008)**, a stosunek węgla do azotu, określający stan aktywności biologicznej, winien zawierać się w przedziale 1:10, 1:15 **(Niski 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003, Puchniarski 2008).** W przypadku spadku odczynu gleby, w szkółce roślin iglastych, poniżej 4, należy bezwzględnie przeprowadzić w szkółce wapnowanie przy użyciu wapna węglanowego, a zwłaszcza dolomitu **(Walendzik, Szołtyk 1999).**

Spośród czynników meteorologicznych największy wpływ na produkcję wywierają odpowiednio: nasłonecznienie, temperatura, rozkład opadów, wilgotność powietrza i wiatr. Światło wywiera decydującą rolę warunkując zachodzenie procesu fotosyntezy, który dostarcza roślinie niezbędnych składników umożliwiających właściwy wzrost i rozwój. Ponadto powstające w tym procesie białka, cukry i tłuszcze zostają przekształcone w związki celulozowe i ligninowe będące podstawowym budulcem drewna. Poziom nasłonecznienia i dostępność-stężenie dwutlenku węgla w powietrzu atmosferycznym decydują o intensywności przebiegu procesu fotosyntezy **(Urbański 1999).** Według zapotrzebowania na energię słoneczną wyróżnia się cztery typy drzew tj. światłożądne oraz gorzej, lepiej i dobrze znoszące zacienienie. Sosna zwyczajna będąca, przedmiotem niniejszych badań, należy do pierwszej grupy - światłożądnych **(Drozd, Florek 2000).** Ponadto, wszystkie gatunki drzew w okresie przebywania

w szkółce wykazują większą zdolność znoszenia ocienienia, niż w późniejszych fazach rozwojowych. Jednakże wraz ze wzrostem temperatury, wilgotności powietrza, wilgotności i zasobności gleby w składniki pokarmowe wymagania świetlne drzew leśnych ulegają obniżeniu **(Urbański 1999).**

Wpływ temperatury na kiełkowanie nasion oraz wzrost siewek i sadzonek przejawia się stymulacją ich rozwoju poprzez wysoką temperaturę. Warunkiem koniecznym do zaistnienia powyższej zależności jest zaspokojenie potrzeb wodnych roślin, w przeciwnym wypadku następuje zamieranie siewek **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).** Zakres minimalnych temperatur, przy których zachodzi proces kiełkowania nasion drzew i krzewów w szkółkach, przy spełnieniu innych niezbędnych warunków, zależy od cech gatunkowych roślin. Jednakże proces ten wzmaga się do temperatury około 30º C, do temperatury 37º C zmniejsza, a po jej przekroczeniu ustaje. Wierzchnia warstwa gleby w szkółce może osiągnąć temperaturę 50-60º C, jest to możliwe zwłaszcza przy dużej zasobności gleb w próchnicę. Zjawisko takie nosi nazwę zgorzeli słonecznej i powoduje brązowienie i w efekcie zamieranie nasion. Temperatura wpływa także na intensywność przebiegu procesu fotosyntezy w roślinie, przy czym optimum przyjmuje w zakresie temperatur 30-35º C, a po przekroczeniu 35º C ulega spowolnieniu. Negatywny wpływ temperatury na rozwój roślin w szkółkach leśnych uwidacznia się w momencie wystąpienia przymrozków, zwłaszcza wczesnych, jeśli rośliny nie zakończyły jeszcze okresu wegetacji. Istnieje możliwość minimalizacji wrażliwości roślin na przymrozki poprzez stosowanie nawożenia fosforem i potasem, które powodują drewnienie pędów, a jednocześnie zaniechanie nawożenia azotem w drugiej części okresu wegetacji i zaniechanie z końcem sierpnia pielęgnacji gleby. Pozwala to roślinom przygotować się do spoczynku, przez co ogranicza szkody mrozowe i przymrozkowe. Ze względu na zapotrzebowanie cieplne Sosnę zwyczajną zalicza się do drzew o małych wymaganiach, odpornych na przymrozki **(Urbański 1999).**

Znaczący wpływ na produkcję szkółkarską wywierają atmosferyczne opady pionowe w postaci śniegu i deszczu, a także poziome w postaci rosy i mgły. Deszcze dostarczają wodę, która zasila system korzeniowy roślin umożliwiając fotosyntezę i transpirację, częściowo paruje z powierzchni roślin i gleby, a częściowo przesiąka zasilając wody gruntowe. Śnieg w okresie zimowym chroni rośliny w szkółce przed szkodliwym działaniem mrozów i wiatrów, a wiosną poprzez roztopy zasila systemy korzeniowe roślin. Rosa i mgły dostarczają roślinom niewielkich ilości wody, jednak ich duże znaczenie polega na umożliwieniu pobierania wody poprzez organy asymilacyjne, a w okresie wschodów na możliwości uzupełnienia zasobów wilgoci tak istotnej w tej fazie rozwojowej siewek **(Urbański 1999).** Znaczenie wody i opadów dla produkcji szkółkarskiej omówiono szczegółowo w podrozdziale 2.3.2 niniejszego opracowania.

Uzależnienie jakości produkcji szkółkarskiej od wilgotności powietrza atmosferycznego przejawia się pozytywnym wpływem wysokiej wilgotności na rozwój siewek i sadzonek **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).** Wilgotność powietrza atmosferycznego w szkółce leśnej ściśle związana jest z

opadami, parowaniem i transpiracją roślin, a w związku z tym także z temperaturą i fazą okresu wegetacji. W Polsce jej względna wartość mieści się w przedziale 75-80%, przy czym siedliska leśne cechuje kilkuprocentowo niższa wartość. Poziom wilgotności maleje od stycznia do maja, a od czerwca powoli wzrasta, osiągając w grudniu najwyższą wartość. Niskie poziomy wilgotności powietrza w kwietniu, przy wzmożonym parowaniu połączonym z suchymi wiatrami północno-wschodnimi wpływają negatywnie na kiełkowanie nasion. W kolejnych miesiącach, przy rosnącej transpiracji roślin, wzrastają poziomy ewaporacji i ewapotranspiracji, co powoduje duże straty wody, a tym samym pogorszenie warunków dla rozwoju młodych siewek, zwłaszcza na glebach lekkich **(Urbański 1999).**

Ostatni z czynników meteorologicznych, wiatr - może wpływać korzystnie na rozwój siewek i sadzonek, kształtując intensywność transpiracji i fotosyntezy. Przy szybkości mieszczącej się w przedziale 0,2-0,3 m x s^{-1} intensywność transpiracji wzrasta 3 krotnie w porównaniu z warunkami bezwietrznymi, dzięki czemu roślina pobiera większe ilości soli mineralnych. W takich warunkach proces fotosyntezy zachodzi intensywniej, przy udziale większego dostępu dwutlenku węgla naniesionego przez masy świeżego powietrza. Szybszy wiatr wzmaga transpirację, ale spowalnia proces fotosyntezy zmniejszając ciśnienie aparatów szparkowych, co powoduje ich zamykanie. Ponadto szybsze ruchy powietrza wpływają na przesuszenie wierzchniej warstwy gleby **(Urbański 1999).** Szczególnie widoczny wpływ wspomnianych czynników ma miejsce w warunkach dużych szkółek na powierzchniach otwartych **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).**

Poza wymienionymi czynnikami, na jakość produkcji szkółkarskiej, w nieco mniejszym stopniu, wpływa także mikroklimat szkółki. Istotny wpływ wywiera wielkość, kształt, wystawa kwater w szkółce oraz bezpośrednie sąsiedztwo tj. istnienie kulis drzewostanowych lub wiatrochronnych pasów zadrzewieniowych. Odpowiednia wielkość i wystawa kwater umożliwia osiągnięcie sprzyjających warunków dla rozwoju siewek określonego gatunku. Gatunki światłożądne, odporne na przymrozki m. in. Sosna zwyczajna preferują warunki kwater o wystawie północnej. Jednakże większości gatunków najbardziej odpowiadają warunki wschodnich kwaterach, charakteryzujących się umiarkowanym nasłonecznieniem i wilgotnością, a także niewielkimi wahaniami temperatury powietrza. Odpowiednie sąsiedztwo powoduje rankiem przepływ mas cieplejszego powietrza z kulis lub zadrzewień w kierunku kwatery, a w ciągu dnia w przeciwnym kierunku. Zjawisko to wpływa pozytywnie na siewki szczególnie w okresach wiosennych przymrozków, minimalizując ich negatywny wpływ. Ujemny wpływ kulis leśnych może się przejawiać ich zbyt zwartą strukturą oraz zbyt bliskim sąsiedztwem. Pierwszy czynnik ogranicza przepływ mas powietrza, a drugi pogarsza warunki siedliskowe poprzez wpływ korzeni i tzw. cienia opadu, zmniejszającego dostęp wód opadowych do kwatery**.** Zagrożeniem dla produkcji szkółkarskiej jest także zmęczenie gleby, które występuje przy złym płodozmianie lub jego braku. Zjawisko uwidacznia się poprzez utratę gruzełkowatej struk-

tury przez glebę, co powoduje pogorszenie właściwości utworu oraz wzrost zachwaszczenia. W efekcie zmęczenia gleby, jakość produkowanego materiału sadzeniowego w szkółkach ulega obniżeniu, a siewki stają się mniej odporne na niesprzyjające czynniki zewnętrzne. Zapobiegać temu zjawisku, poza właściwym płodozmianem i następstwem roślin, można poprzez odpowiednie nawożenie mineralno-organiczne, odpowiednią pielęgnację gleby oraz racjonalne zabiegi agromelioracyjne **(Urbański 1999).** Zasady Hodowli Lasu, w celu wyeliminowania tego zjawiska, wskazują na konieczność stosowania w szkółkach kompostów, a także systematycznego ugorowania 30% powierzchni produkcyjnej **(Grygier i in. 2012).** Ważnymi zabiegami w produkcji materiału rozmnożeniowego, zwłaszcza wieloletniego, są szkółkowanie i podcinanie korzeni **(Kłoskowska 1996, Kłoskowska 1999, Landis 2008, Walczyk, Tylek 2010).** Szkółkowanie polega na przesadzaniu siewek w luźniejszą rozsadę i wykonuje się je zazwyczaj na rocznych siewkach. Wpływa ono pozytywnie na ukorzenienie siewek i kształt ich bryły korzeniowej **(Kłoskowska 1996, Kłoskowska 1999).** Optymalnym terminem na wykonanie tego zabiegu jest wiosna, lecz przy odpowiednim uwilgotnieniu gleby zabieg ten można wykonywać w całym okresie wegetacyjnym. W zależności od okresu produkcyjnego i szybkości wzrostu gatunku stosuje się różne rozstawy szkółkowanych siewek. Dla przykładu sosna w trzyletnim systemie produkcji po pierwszym roku winna być szkółkowana w rzędach odległych o 25 cm, przy więźbie siewek 10-15 cm i obsadzie w granicach 4000-2667 sadzonek x ar^{-1} **(Kłoskowska 1999).** Zabiegiem o podobnych właściwościach do szkółkowania jest podcinanie korzeni. Umożliwia ono ukształtowanie skupionego systemu korzeniowego o dużej liczbie drobnych korzeni, a także pozwala uzyskać korzystną relację ich masy do masy części nadziemnej **(Kłoskowska 1996, Landis 2008).** Podcinanie jest zabiegiem korzystniejszym od szkółkowania, zwłaszcza w produkcji 2 letnich sadzonek, ponieważ nie powoduje deformacji korzeni, na którą wrażliwa jest m. in. Sosna zwyczajna. Podcinanie powoduje skupienie się korzeni w bliskim sąsiedztwie szyi korzeniowej roślin oraz wzrost liczebności mikoryz na jednostce długości, co zwiększa powierzchnię poboru składników pokarmowych. Termin i głębokość wykonania podcięcia zależy od gatunku i sposobu produkcji **(Kłoskowska 1996).** Dla Sosny zwyczajnej nieszkółkowanej w drugim roku wzrostu zaleca się wykonanie tego zabiegu w pierwszej połowie kwietnia lub w połowie czerwca, na głębokość 6-8 cm. Po wykonaniu tego zabiegu, ze względu na utrudnione pobieranie wody przez rośliny, zaleca się nawadnianie przez okres 12-16 dni, a także nawożenie azotowe **(Kłoskowska 1999).**

Szczegółowe wytyczne uprawy Sosny zwyczajnej wskazują, iż optymalny termin wysiewu nasion przypada w pierwszej połowie kwietnia, ale w zależności od warunków pogodowych wysiew może nastąpić wcześniej. W literaturze wskazuje się na termin 20 kwietnia jako graniczną datę późnego siewu nasion sosny **(Puchniarski 2008).** Głębokość wysiewu nasion większości drzew leśnych o nasionach drobnych nie przekracza 1 cm **(Walczyk, Tylek 2010).** W zależności od zdolności i energii kiełkowania zostały określone klasy jakości

nasion. Nasiona mieszczące się w I klasie cechuje zdolność kiełkowania minimum 91% o energii kiełkowania minimum 85%, II klasa odpowiednio 81% i 70%, natomiast III 70% i 50%. Ważnym czynnikiem jest także czystość nasion wyrażona w trzech poziomach tj. wysokim - minimum 98%, średnim - minimum 95% oraz dopuszczalnym min. 90% **(PN-R-65700 1998, Puchniarski 2008).** W praktyce zaleca się stosowanie w szkółkach jedynie nasion klasy I **(Rozwałka 2003, Grygier i in. 2012)**, pozyskanych z drzew i drzewostanów miejscowych, podobnych klimatycznie dla docelowego miejsca przeznaczenia sadzonek. Chodzi o to, aby wyprodukowane w szkółce rośliny były odporne na lokalnie występujące anomalia pogodowe tj. silne mrozy, długotrwałe susze, w takim stopniu jak przystosowane przez wielolecia rośliny mateczne **(Gil i in. 1999).** W związku z powyższym pozyskuje się materiał sadzeniowy z tzw. makroregionów nasiennych, znajdujących się w obszarze działania Regionalnych Dyrekcji Lasów Państwowych **(Rozwałka 2003).** Powyższe zasady dotyczące regionalizacji nasiennej zostały usankcjonowane prawnie. Ustawodawca mówi wprost, że leśny materiał rozmnożeniowy Sosny zwyczajnej Pinus sylvestris L. „ ... może być wykorzystywany do uprawy w lasach lub na gruntach przeznaczonych do zalesienia wyłącznie w regionie pochodzenia, w którym znajduje się źródło nasion, drzewostan lub drzewa mateczne, z których został wyprodukowany". Wyjątek stanowią szczególne przypadki określone przez właściwego ministra w drodze rozporządzenia. Ponadto, kto działa niezgodne z ww. zasadami, w myśl ustawy „ ... podlega grzywnie, karze ograniczenia wolności lub karze pozbawienia wolności do lat 3" **(Ustawa 2001).** W oparciu o klasy jakości nasion, przy wykorzystaniu wzorów obliczeniowych, ustala się normy wysiewu w przeliczeniu na jednostkę powierzchni **(Puchniarski 2008).** Norma wysiewu zależy także od cyklu produkcyjnego, przy czym w cyklu 2-3 letnim normę należy obniżyć o ok. 30% **(Rozwałka 2003, Puchniarski 2008).** W związku z tym ilość wysianych nasion Sosny zwyczajnej, przy masie tysiąca nasion równej 5 g, z I klasy winna wynosić 0,3 kg x ar^{-1}, natomiast II klasy 0,45 kg x ar^{-1} **(Rozwałka 2003).** W jednorocznym cyklu produkcji sadzonek optymalna ich liczba, w I i II klasie jakości, uzyskana z 1 ara winna wynosić ok. 18 tys., a w cyklu dwuletnim poniżej 10 tys. Po wykonanych zasiewach, w całym okresie uprawy, należy przeprowadzać zabiegi odchwaszczania, spulchniania gleby oraz nawadniania. Przyjmuje się, iż w pierwszym okresie tj. do 15 czerwca należy codziennie podawać roślinom wodę w dawce 2 mm, a po tym terminie dawki polewowe należy zwiększyć do 5 mm przy dwudniowej częstotliwości nawadniania. W drugim roku uprawy siewek sosny, w kwietniu lub drugiej połowie czerwca należy przeprowadzić zabieg podcinania korzeni na głębokości 6-8 cm **(Puchniarski 2008).** Celem produkcji szkółkarskiej Sosny zwyczajnej w szkółce jest osiągnięcie jak największej liczby sadzonek mieszczących się w I klasie jakości. Ocenę jakościową sadzonek przeprowadza się po zakończonym cyklu uprawowo-produkcyjnym Sosny zwyczajnej. Kryteria jakościowe sadzonek zależą od długości cyklu uprawowego i przeznaczenia roślin, a określone zostały przez Polski Komitet Normalizacyjny**.** Oceny produkcji szkółkarskiej, w szkółkach leśnych podlegających określonym

nadleśnictwom, dokonuje komisja powołana przez nadleśniczego **(Grygier i in. 2012).** Sadzonki drzew do upraw leśnych i na plantacje podlegają dwóm klasom jakości uwzględniając parametry wzrostowe, wiek, sposób rozmnażania i produkcji, przy czym I klasa określa sadzonki o najwyższej jakości. Minimalne kryteria jakości sadzonek dla klasy I, Sosny zwyczajnej Pinus sylvestris L., uprawianej w warunkach nizinnych, nieszkółkowanych, w cyklu jednorocznym z nasienia, dla wysokości części nadziemnej wynoszą 6 cm, średnicy w szyi korzeniowej co najmniej 1,5 mm oraz długości korzeni szkieletowych min. 20 cm. Dla sadzonek w cyklu dwuletnim z nasienia uprawianych w warunkach nizinnych, nieszkółkowanych minimalne wartości przyjmują poziomy odpowiednio 15 cm, 3 mm i 25 cm **(PN-R-67025 1999).** W przypadku sadzonek Sosny zwyczajnej Pinus sylvestris L. z przeznaczeniem do zadrzewień i zakrzewień, produkowanych w cyklu trzyletnim z nasienia, szkółkowanych po pierwszym roku minimalna wysokość pędu w klasie I winna wynosić 20 cm, a długość korzeni 25 cm, brak wartości dla średnicy w szyjce korzeniowej. Tymczasem w uprawie trzyletniej, szkółkowanej po drugim roku, minimalne wartości kształtują się odpowiednio na poziomie 71 cm i 25 cm **(PN-R-67026 2002).**

2.3.1. Znaczenie materii organicznej w szkółce leśnej

Występowanie materii organicznej w glebie jest głównym czynnikiem warunkującym prowadzenie efektywnej produkcji szkółkarskiej **(Niski 1992, Niski 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Biologiczne i chemiczne procesy glebowe, zachodzące nieustannie powodują zmniejszenie ilości substancji organicznej w glebie, przez co następuje obniżenie jej żyzności. Zjawisko to jest powszechne i pociąga za sobą konieczność wprowadzania do gleby nawozów organicznych w celu utrzymania wysokiej produktywności gleb w szkółkach **(Niski 1992, Niski 1999).** Częstotliwość nawożenia organicznego szkółek leśnych, pozwalająca utrzymać stan równowagi pomiędzy aktywnością biologiczną, a stosunkiem węgla do azotu wynoszącym 10, to okres 5-6 letni przy dwukrotnej dawce w granicach 200-300 m^3 x ha^{-1} **(Niski 1999).** Ważnym jest, aby jednorazowa dawka materii organicznej była większa niż 3 mp x ar^{-1}, w przeciwnym razie nawet stosowana częściej nie przyniesie oczekiwanego rezultatu. Glebowa materia organiczna dzięki dużym możliwościom sorpcyjnym magazynuje składniki pokarmowe, wodę, witaminy, enzymy, antybiotyki oraz inne związki mineralno-organiczne pozytywnie wpływające na rozwój roślin **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Jest to możliwe dzięki kompleksowi sorpcyjnemu gleby, który uczestniczy w wymianie jonowej korzeni roślin z roztworem glebowym. Kompleks ten składa się z mineralno-organicznej frakcji koloidalnej, przy czym gleby większości szkółek są piaszczyste, czyli ubogie we frakcję mineralną. Wobec tego znaczenie koloidów organicznych jest większe, tym bardziej, że nawet niewielka zawartość substancji organicznej w glebie wiąże około 50% kationów wymiennych **(Niski 1999).** Głównym źródłem materii organicznej w ekosystemach leśnych jest ściółka, która przeciwdziała zmianom mikroklima-

tycznym siedliska, zapobiega erozji i zagęszczeniu gleby oraz zwiększa retencję. Pozytywny wpływ ściółki potwierdzono w różnych typach siedliskowych lasu i w różnych warunkach glebowych **(Sayer 2006).**

Odpowiedni poziom materii organicznej jest niezbędny dla występowania grzybów mikoryzowych i saprofitycznych, ponieważ wpływa na zwiększenie ich różnorodności i liczebności. Stwierdzono, iż ponad 60% wszystkich mikoryz rozwija się w warstwie próchnicznej gleby. Wprowadzenie do gleby mieszaniny świeżej ściółki i rozłożonego torfu powoduje szybki 80% wzrost liczebności mikoryz w porównaniu z powierzchnią nie wzbogaconą **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Mikoryzy korzeniowe są niezbędnym elementem warunkującym prawidłowy rozwój roślin drzewiastych, zarówno w stadium młodocianym siewki jak i dorosłej rośliny. Polegają na obopólnie korzystnym współżyciu roślin drzewiastych z grzybami znajdującymi się w ich strefie korzeniowej **(Pachlewski 1999, Kowalski 2007).** Grzyby dzięki symbiozie pobierają od rośliny drzewiastej składniki pokarmowe, natomiast roślina dzięki mikoryzom zwiększa powierzchnię pobierania wody **(Gil i in. 1999)**, zostaje zaopatrzona w makro i mikroelementy z gleby oraz substancje wzrostowe. Przyjmuje się, że rośliny drzewiaste z ektomikoryzą pobierają dwukrotnie więcej azotu i trzykrotnie więcej fosforu niż drzewa bez mikoryzy. Zwiększają także odporność korzeni na biotyczne i abiotyczne czynniki chorobotwórcze, chronią przed atakiem grzybów patogenicznych **(Kowalski 2007)**, przez co wzrasta odporność roślin na niekorzystne warunki środowiskowe **(Gil i in. 1999).** Mikoryzy umożliwiają także pobieranie składników przekształcając nawet trudno rozpuszczalne związki. Ponadto powodują zwiększenie żywotności i wzrostu korzeni krótkich tworząc liczne rozgałęzienia mikoryzowe **(Pachlewski 1999).**

Drzewa leśne tworzą trzy typy mikoryz korzeniowych tj. ektomikoryzy, endomikoryzy oraz ektendomikoryzy. Dominującym typem mikoryz wśród drzew leśnych Polski, występującym m. in. u Sosny zwyczajnej, są mikoryzy zewnętrzne - ektomikoryzy **(Pachlewski 1999)**, które powstają z grzybami z klasy podstawczaków (Basidiomycetes) oraz workowców (Ascomycetes) i tworzą opilśnie. Wewnętrzne, zwane endomikoryzami występują u niektórych gatunków tj. klon, jesion, topola i powstają z grzybami z klasy pleśniaków (Phycomycetes). Ostatnie, ektendomikoryzy, czyli mikoryzy pośrednie, tworzone są przez grzyby z klasy workowców (Ascomycetes) i występują wyłącznie u sadzonek sosny, modrzewia oraz świerka w szkółkach **(Pachlewski 1999, Grzywacz 2007)**, przy czym występują liczniej w podłożach nienawadnianych **(Hilszczańska 2003).** Szacuje się, iż w Polsce około 900 gatunków grzybów może tworzyć ektomikoryzy, przy czym do celów praktycznych wykorzystuje się w kraju dwa gatunki włośniankę i lakówkę (**Grzywacz 2007).** Każdy gatunek drzew leśnych cechuje inna specjalizacja mikoryzowa umożliwiająca współżycie z grzybami. Bardzo dużą liczbą grzybów symbiotycznych charakteryzuje się Sosna zwyczajna, która tworzy symbiozy z ponad 50 gatunkami grzybów **(Pachlewski 1999).**

Intensywna produkcja szkółkarska, zwłaszcza w szkółkach stałych wielkoobszarowych, wymusza intensyfikację nawożenia mineralnego oraz sto-

sowanie pestycydów, herbicydów, fungicydów itp. Działania te powodują zmiany fizykochemiczne i mikrobiologiczne w glebie m. in. wzrost odczynu pow. pH 7, które mogą zakłócać relacje ekto- i endomikoryzowe sadzonek. W związku z powyższym często w szkółkach leśnych zachodzi potrzeba stosowania sztucznej mikoryzacji sadzonek **(Pachlewski 1999).** Początkowo podejmowano próby mikoryzowania gleby w szkółce próchnicą leśną, ale mała udatność zabiegów potwierdziła fakt wnoszenia do gleby niewłaściwych szczepów grzybów **(Pachlewski 1999, Kowalski 2007).** Inne badania wskazują na fakt pozytywnego wpływu ściółki sosnowej i dębowej na wzrost sadzonek sosny. Dowodzą, że zastosowanie ściółki leśnej poprawia właściwości fizykochemiczne gleby powodując wzrost przeżywalności sadzonek oraz zwiększenie wysokości pędu nadziemnego. Ponadto wpływają na zwiększenie ilości mikoryz typu Suillus w strefie korzeniowej roślin, korzystnych zwłaszcza dla sosny **(Leski i in. 2009).** Ostatecznie stwierdzono jednak, że najlepsze efekty widoczne są przy wykorzystaniu inokulum w postaci wyselekcjonowanej grzybni z czystych kultur ektomikoryzowych **(Pachlewski 1999, Kowalski 2007),** przy wyborze gatunków charakterystycznych w naturze dla młodników **(Grzywacz 2007).** Jednakże w warunkach korzystnych dla rozwoju grzybów i związków ektomikoryzowych inokulacja może spowodować istotnie niższy przyrost roczny sadzonek w 1 roku wzrostu w uprawie w porównaniu z siewkami nie inokulowanymi **(Aleksandrowicz-Trzcińska 2004),** co jest szczególnie widoczne w zakresie długości pędu części nadziemnej siewek inokulowanych grzybem Thelephora terrestris **(Hilszczańska, Sierota 2006).** Zjawisko to jest spowodowane odprowadzaniem przez rośliny inokulowane większych ilości produktów fotosyntezy do struktur mikoryzowych **(Aleksandrowicz-Trzcińska 2004).** Podsumowując, można stwierdzić, iż gleba zasiedlona grzybami ektomikoryzowymi, przy odpowiednich warunkach mikroklimatycznych umożliwia wyprodukowanie materiału sadzeniowego wartościowszego biologicznie. Może to wpływać na większą udatność i wzrost sadzonek w uprawach, nawet w skażonych siedliskach leśnych **(Walendzik 1999b, Kowalski 2007).** Badania dowodzą, iż mikoryzowane siewki sosny wysadzane na gruncie porolnym charakteryzują się większą przeżywalnością niż niemikoryzowane **(Hilszczańska, Sierota 2006).** Z ww. względów siewki w szkółkach poddaje się mikoryzacji, przy czym często stosuje się inokulację z powietrza atmosferycznego lub zalewanie podłoża **(Campbell i in. 2003).**

Materia organiczna wpływa korzystnie także na cechy fizyczne utworu glebowego. Na glebach ciężkich polepsza warunki powietrzne, a na lekkich powoduje poprawę ich spójności. Jednocześnie akumuluje metale ciężkie i pestycydy, ograniczając ich negatywny wpływ na rozwój roślin. Substancja organiczna ulega procesom rozkładu w glebie, określanych mianem mineralizacji, których intensywność ściśle związana jest z temperaturą, uwilgotnieniem, przewiewnością, odczynem oraz rodzajem gleby. W szkółkach leśnych założonych na glebach piaszczystych materia organiczna w krótszym czasie ulega destrukcji, stąd wynika potrzeba częstszego jej dostarczania, w porównaniu z warunkami gleb ciężkich. Stymulująco na przebieg mineralizacji i rozwój mikroorganizmów

wpływają zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne, nawożenie mineralne oraz wapnowanie. Warunkiem prawidłowego rozwoju roślin jest utrzymanie intensywności procesów mineralizacji na optymalnym poziomie, zapewniającym odpowiednią dostępność składników pokarmowych. Przy czym intensywność mineralizacji nie powinna znacząco zubażać gleby w materię organiczną **(Niski 1992, Niski 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003).** W wyniku przemian wymienionych powyżej, przy udziale organizmów glebowych, materia organiczna zostaje przekształcona w próchnicę **(Niski 1999).** Można zatem stwierdzić, iż próchnica to ilościowa zawartość materii organicznej w glebie **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Z punktu widzenia gleboznawstwa próchnica, zwana humusem, to dobrze zhumifikowana, bezpostaciowa materia organiczna występująca w glebie. W ujęciu pojęciowym próchnicą nazywamy zgromadzone w glebach, lub na ich powierzchni w lasach, szczątki, w przeważającej części roślinne, podlegające przemianom w procesach humifikacji i mineralizacji **(Więcko 1996).**

Wyróżnia się kilka typów próchnic pod względem ich właściwości, a mianowicie:

- nasycone - posiadają charakter alkaliczny, gdyż ilość związanych wymiennie jonów zasadowych przewyższa ilość kationów wodoru i glinu,
- kwaśne - o odczynie kwaśnym decyduje przewaga jonów glinu i wodoru nad jonami zasadowymi,
- iluwialne - substancje humusowe znajdują się na poziomie wmywania **(Więcko 1996).**

Próchnicę leśną należy rozumieć jako substancje organiczne i mineralno-organiczne występujące w glebie leśnej oraz na jej powierzchni, złożone z fragmentów roślin i szczątków zwierząt znajdujących się w różnych stadiach naturalnych przekształceń **(Prusinkiewicz 1994).** Wyróżnia się dwa rodzaje próchnicy leśnej tj. endopróchnicę i ektopróchnicę. Endopróchnica zwana wewnątrzglebową, to substancja organiczna występująca w mineralnych poziomach profilu glebowego**.** Ektopróchnica, zwana próchnicą nadkładową lub podściółką, stanowi warstwę materii organicznej pokrywającej powierzchniową warstwę gleby mineralnej w zbiorowisku leśnym. Stanowią ją pozostałości opadu leśnego w różnych etapach przemian procesów humifikacji i mineralizacji. Miąższość tego poziomu jest odwrotnie proporcjonalna do intensywności biologicznego rozkładu w glebie **(Prusinkiewicz 1994, Więcko 1996).** Ze względu na zawartość próchnicy, różnicuje się gleby na średnio i silnie próchniczne, pierwsze zawierają od 2-5%, drugie mieszczą się w przedziale 5-10%. Warto nadmienić, iż zawartość substancji organicznej jest ściśle związana z wilgotnością gleby **(Niski 1999, Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Szacuje się, iż w szkółkach leśnych zawartość próchnicy nie powinna być niższa niż 5% **(Puchniarski 2008).** W przypadku niskiej zasobności gleby w próchnicę, można ją wzbogacić przeprowadzając próchnicowanie. Ten melioracyjny zabieg polega na wprowadzeniu do gleby materii organicznej w postaci torfu, murszu, kompostu **(Więcko 1996)**, kory, obornika, a także nawozu zielonego powstałego poprzez przyoranie roślin upra-

wianych w tym celu. Największe znaczenie w szkółkarstwie i najbardziej rozpowszechnione jest stosowanie kompostów i nawozów zielonych **(Niski 1999).** Jednakże wprowadzenie materii organicznej w postaci sosnowej lub dębowej ściółki leśnej może być dobrą alternatywą dla kompostów, zwłaszcza w produkcji sadzonek sosny **(Leski i in. 2009).** Ściółka leśna wprowadzona do gleby powoduje wzrost mineralizacji starszej materii zwiększając dostępność składników pokarmowych i wzbogacając zasoby świeżej materii **(Sayer 2006).** Ponadto materia wnoszona do gleby w istotny sposób wpływa na zasobność utworu w wodę dostępną dla roślin. Jest to spowodowane wiązaniem-przytrzymywaniem wody przez koloidy glebowe siłą ssącą o wartości powyżej 15-16 at. Siła ssąca korzeni roślin charakteryzuje się niższą wartością, stąd pobieranie wody przez system korzeniowy ustaje **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Ponadto właściwe nawożenie organiczne pozwala przeciwdziałać zjawisku zmęczenia gleby w szkółkach poprzez poprawę struktury i właściwości utworu glebowego **(Urbański 1999).** Jest to szczególnie istotne dla rozwoju siewek, gdyż zwarta struktura gleby wpływa negatywnie na ich korzenie, a tym samym na wzrost i rozwój całych roślin **(Campbell i in. 2003).** Nawożenie organiczne wpływa także na zwiększenie aktywności mikroorganizmów glebowych żyjących w symbiozie z siewkami, przez co wydłuża okres przydatności produkcyjnej gleby w szkółce, zmniejszając negatywny wpływ monokultury na warunki siedliskowe **(Urbański 1999).**

2.3.2. Optymalne uwilgotnienie gleby gwarancją efektywnej produkcji sadzonek

Woda w znacznym stopniu kształtuje warunki wzrostu i rozwoju roślin, dlatego zachowanie odpowiedniego uwilgotnienia gleby jest niezbędne do osiągnięcia zamierzonych celów produkcyjnych. Regulacja stosunków wodnych siedliska polega na ograniczeniu strat wody, dostarczeniu odpowiednich jej ilość w warunkach deficytu, a także odprowadzenia w warunkach nadmiaru. Jest to możliwe dzięki omówionym wcześniej odpowiednim zabiegom agrotechnicznym i melioracyjnym, dobieranym przy uwzględnieniu kategorii ciężkości gleby, wymagań roślin, warunków meteorologicznych, a także dostępności maszyn i urządzeń do ich wykonania **(Drozd, Nowak 2006).** Największe znaczenie dla produkcji szkółkarskiej, przypisuje się warunkom wilgotnościowym okresu wegetacji, a dokładnie zasobności gleby w wodę dostępną dla roślin. Przy czym największa wrażliwość na niedobór wody występuje w czasie kiełkowania nasion, szkółkowania siewek oraz uprawy w okresie od maja do sierpnia **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).** Woda w profilu glebowym staje się łatwo dostępna dla roślin, jeżeli jest luźno związana z cząsteczkami glebowymi **(Babiński, Białkiewicz 1999).** Pobieranie wody kapilarnej z gleby przez roślinę jest możliwe dzięki sile ssącej korzeni **(Pierzgalski i in. 2002).** W większości gleb woda staje się dostępna dla roślin przy poziomie uwilgotnienia mieszczącym się pomiędzy polową pojemnością wodną, a początkiem hamowa-

nia rozwoju roślin, czyli uwilgotnieniem w tzw. punkcie trwałego więdnięcia. Jeżeli siła ssąca korzeni przyjmuje wartości od 0,015 do 1,5 MPa, czyli odpowiednio z przedziału pF od 2,2-4,2 to następuje pobieranie wody przez roślinę. Woda łatwo dostępna, czyli produkcyjna jest pobierana siłą o wartości od 2,2–3,7 pF. Powyżej pF 2,7 możliwość poboru wody maleje, a po przekroczeniu wartości pF 4,2 ustaje **(Dzieżyc 1986, Babiński 1987, Pierzgalski i in. 2002)**, jest to woda trudnodostępna, nieprodukcyjna, umożliwiająca jedynie podtrzymanie procesów życiowych rośliny **(Babiński 1987).** Stosunek ilościowy wody łatwo i trudno dostępnej w glebie jest ściśle zależny od składu mechanicznego utworu glebowego i struktury gleby **(Babiński 1987, Pierzgalski i in. 2002)**, zwłaszcza od zawartości porów średnich – mezoporów oraz zasobności w substancję organiczną **(Pierzgalski i in. 2002).** Przyjmuje się, iż zapas wody łatwo dostępnej mieści się w przedziale 45-25% polowej pojemności wodnej **(Drupka 1986).** Optymalne uwilgotnienie gleby dla wzrostu i rozwoju większości roślin uprawnych mieści się w zakresie 70-100% polowej pojemności wodnej **(Drozd, Nowak 2006)**, przy czym **w**iększość roślin osiąga zadowalające plony, gdy wilgotność gleby nie spada poniżej 80% polowej pojemności wodnej **(Dzieżyc 1986).** Wykorzystanie przez rośliny zasobów wody łatwo dostępnej zachodzi najszybciej w warunkach gleb piaszczystych, a najpóźniej w glebach gliniastych, ilastych i torfowych. Wobec tego produkcja szkółkarska na glebach piaszczystych jest bardzo wrażliwa nawet na krótkotrwałe posuchy **(Babiński 1987, Babiński, Białkiewicz 1999).** Ponadto odpowiednie uwilgotnienie gleby stymuluje wzrost liczebności mikoryz korzeniowych, zwiększając możliwości chłonne i odporność na patogeny roślin szkółkarskich **(Szołtyk, Hilszczańska 2003).** Badania dowiodły, że ilość wytworzonych mikoryz u siewek nawadnianych jest istotnie większa w porównaniu z siewkami nienawadnianymi **(Hilszczańska 2003).** Dlatego szczególne znaczenie w produkcji szkółkarskiej, ma utrzymanie uwilgotnienia gleby na optymalnym poziomie, które istotnie zwiększa ilość i jakość materiału sadzeniowego **(Babiński, Białkiewicz 1999).** Jest to najbardziej istotne w okresie kiełkowania nasion, kiedy to równomierny rozkład opadów warunkuje powodzenie zasiewów. Przy czym korzystniejsze dla produkcji szkółkarskiej są częste opady o małej intensywności niż rzadkie obfite deszcze **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).** Utrata wody z profilu glebowego spowodowana jest fizycznym parowaniem gleby oraz transpiracją. Pierwszy proces, w którym przesycha głównie wierzchnia warstwa gleby, dominuje od wysiewu nasion do rozwinięcia siewek i powoduje niewielkie straty wody łatwo dostępnej dla roślin. Wobec czego w fazie kiełkowania stosuje się częste i małe dawki służące zwilżeniu nasion. Transpiracyjny ubytek wody z gleby przeważa w pozostałych fazach rozwojowych siewek, dotyczy głębszych warstw gleby, dlatego dawki nawodnieniowe należy ustalać na podstawie ilości wody łatwo dostępnej dla roślin **(Babiński, Białkiewicz 1999).** Ponadto w licznych badaniach stwierdzono, iż nawet niewielkie niedobory wody mogą wpłynąć na zakłócenie procesów fizjologicznych rośliny **(Hewelke 1993).** Wobec tego w przypadku wystąpienia niedoborów wody w glebie koniecznym staje się regulowanie

uwilgotnienia gleby w szkółce poprzez nawadnianie **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002, Rzekanowski i in. 2011).**

W warunkach Polski występuje nierównomierność potrzeb nawadniania, która wynika ze zmienności częstotliwości opadów **(Leciejewski 2011),** ze zbyt niskiej podaży wody opadowej względem zapotrzebowania roślin **(Rzekanowski i in. 2011)** oraz z częściej występujących w ostatnich latach, w różnych rejonach bezśnieżnych zim i posuch wczesnowiosennych **(Leciejewski 2011).** Potrzeba nawodnień w szkółkach występuje najczęściej w kwietniu po wysiewie nasion i od maja do sierpnia, kiedy siewki, wskutek działania wysokich temperatur powietrza i niedostatecznych opadów stają się najbardziej wrażliwe na niedobory wody. Zjawisko takie ma miejsce zwłaszcza w szkółkach założonych na piaszczystych glebach mineralnych o niskiej zawartości próchnicy. Zaprzestanie nawadniania szkółek leśnych przypada na koniec sierpnia i ma na celu przygotowanie roślin do spoczynku zimowego **(Pierzgalski i in. 2002).** Wielkość i częstotliwość dawek wody uzależniona jest od rodzaju gleby oraz wymagań poszczególnych gatunków drzew. Przyjmuje się, iż w okresie kiełkowania nasion, czyli od wysiewu do masowych wschodów Sosny zwyczajnej, w szkółkach leśnych, na glebach piaszczystych, częstotliwość nawadniania winna być codzienna. Wielkość dawek polewowych należy określać na podstawie wielkości opadów atmosferycznych, a maksymalna dawka nie powinna przekraczać 2 mm, aby zapobiec pleśnieniu nasion. Za opad miarodajny uznaje się jednorazowy opad na poziomie 2-2,5 mm. Wobec tego, kolejną dawkę polewową obniża się o wartość opadu miarodajnego, który wystąpił od ostatniego nawadniania, a jeżeli opad przewyższał 2-2,5 mm lub był równy tym wartościom należy zaniechać nawadniania. W kolejnym okresie rozwoju roślin tj. od masowych wschodów do 15 czerwca, na glebach piaszczystych, częstotliwość nawodnień winna być dwu dniowa, a jednorazowa dawka nie powinna przekraczać 5 mm. Ponadto uwzględnia się skład mechaniczny utworu, pożądaną głębokość zwilżenia w zakresie 10-20 cm, ewapotranspirację i wielkość opadów wykorzystując wzory przeliczeniowe. Przy czym, ilość wody zużytej na ewapotranspirację w ciągu doby ustala się w oparciu o poziom opadów tj. w rejonie Bydgoszczy na poziomie 2,7 mm **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).**

Jednym z nowoczesnych sposobów zarządzania nawadnianiem w praktyce szkółkarskiej jest stosowanie metody TDR. Umożliwia ona kontrolowanie uwilgotnienia gleby, a tym samym optymalizację procesu podawania wody roślinom **(Lamhamedi, Gagnon 2003).** Badania **Łyczko i in. (2000)** porównujące tę metodę z tradycyjną suszarkowo-wagową do oceny wilgotności różnych typów gleb wskazują na porównywalność ich wyników. Ponadto ze względu na szybkość i niedestruktywny dla gleby charakter pomiaru metoda TDR jest polecana przez wspomnianych autorów do oceny aktualnej wilgotności różnych typów gleb. Stosowanie TDR w Chinach, Tunezji, Maroko, Francji, Nikaragui, Gwatemali i Boliwii, w połączeniu z innymi nowoczesnymi technologiami, pozwoliło zredukować zużycie wody w produkcji szkółkarskiej **(Lamhamedi, Gagnon 2003).**

Wobec powyższego, utrzymywanie wilgotności gleby w szkółce na takim poziomie, aby woda była łatwo dostępna dla roślin, warunkuje zwiększenie ilości i polepszenie jakości siewek, a tym samym także sadzonek. Badania Instytutu Badawczego Leśnictwa dowodzą, że nawadnianie połączone z nawożeniem mineralnym powoduje zwiększenie wschodów siewek sosny o czterdzieści procent. Jednakże możliwość stosowania systemów nawodnieniowych w szkółkach jest warunkowana ilościową i jakościową dostępnością wody powierzchniowej lub podziemnej. Przy czym do nawadniania szkółek można wykorzystywać wodę odpowiadającą III klasie czystości **(Pierzgalski i in. 2002).**

2.3.3. Właściwości i charakterystyka nawodnień kroplowych

Mikronawodnienia to jedyne systemy spośród metod nawodnieniowych, które umożliwiają utrzymanie optymalnej wilgotności gleby przy bieżącym zaspokajaniu potrzeb roślin w zmieniających się warunkach środowiskowych **(Hewelke 1993).** Ponadto jako jedyne systemy nawodnieniowe umożliwiają precyzyjne sterowanie warunkami troficznymi, biologicznymi i wodnymi strefy korzeniowej roślin przy jednoczesnym spełnieniu warunków zrównoważonego rozwoju i racjonalnego gospodarowania zasobami **(Jeznach, Pierzgalski 1996).** Ze względu na poziom natężenia wypływu wody z emiterów, w obrębie mikronawodnień, wyróżnia się trzy odmiany systemów różniących się parametrami technicznymi i konstrukcyjnymi, a mianowicie kroplowe i podpowierzchniowe, strużkowe oraz rozpryskowe. Urządzenia wydatkujące wodę z natężeniem poniżej 12 $dm^3 \times h^{-1}$ zaliczane są do pierwszej grupy, strużkowe mieszczą się w przedziale 12-100 $dm^3 \times h^{-1}$, natomiast rozpryskowe emituję wodę o natężeniu wypływu mieszczącym się w przedziale 25-100 $dm^3 \times h^{-1}$ **(Pierzgalski i in. 2002).** Inny podział wyróżnia nawodnienia wgłębne, kroplowe i mikrodeszczownie **(Nyc 1996, Pierzgalski i in. 2002).** W Polsce na szeroką skalę wykorzystuje się nawadnianie kroplowe i mikrodeszczownie **(Jeznach 1996, Pierzgalski i in. 2002).** Przy czym w 80% szkółek leśnych stosuje się mało wydajne, przestarzałe, wymagające modernizacji urządzenia deszczujące **(Pierzgalski i in. 2002),** najczęściej nieumiejętnie wykorzystując zraszacze obrotowe niskiej jakości **(Leciejewski 2011).**

Idea mikronawodnień polega na dostarczaniu do gleby niewielkich porcji wody lub roztworów nawozowych w formie kropli, strug, rozprysku lub mgły **(Drupka 1986, Jeznach 1996, Pierzgalski i in. 2002).** Ponadto, w odróżnieniu od innych metod nawodnieniowych w których nawadnia się całą powierzchnię uprawową, w nawodnieniach kroplowych podaje się wodę punktowo, poszczególnym roślinom. Przy czym zwilża się objętość gleby, będącą w przewidywanym zasięgu systemu korzeniowego uprawianych roślin **(Drupka 1986).** Za pomocą częstych i małych dawek polewowych i nawozowych, powoduje zwilżanie gleby wodą lub wodą z rozpuszczonym w niej związkiem chemicznym. Wielkości dawek odpowiadają dobowym lub kilkudniowym potrzebom

wodnym i pokarmowym roślin, w zależności od przebiegu warunków atmosferycznych **(Jeznach 1996, Jeznach 2009).** Ponadto odpowiednia automatyzacja systemów kroplowych umożliwia podawanie dawki polewowej kilkunastokrotnie w ciągu doby, przy zachowaniu niewielkich dawek jednorazowych **(Jeznach, Pierzgalski 1993).** Umożliwia to precyzyjne sterowanie porcją wody odpowiednią dla fazy rozwoju roślin i zasięgu ich systemu korzeniowego **(Pływaczyk 2006, Hewelke i in. 1995)**, a także regulację gospodarki pokarmowej gleby **(Jeznach 1996).** Do głównych elementów tworzących te systemy należą; przewody doprowadzające, emitery, filtry, aparatura uzdatniająca, urządzenia dozujące nawozy oraz elementy kontrolno-sterujące **(Jeznach 1996, Pierzgalski i in. 2002).** Nawadnianie odbywa się poprzez system rur doprowadzających i elastycznych przewodów zakończonych emiterami **(Pływaczyk 2006).** Kompletny system nawodnień kroplowych składa się z urządzenia pompowego, elementu filtrującego, dozownika nawozów, rurociągów doprowadzających, rozdzielczych i nawadniających zakończonych wykraplaczami. Ponadto zawiera zawory, manometry i wodomierze umożliwiające sterowanie ciśnieniem, które przekłada się na ilość wydatkowanej cieczy. Wszystkie elementy systemu mogą znajdować się zarówno na powierzchni gleby jak i pod jej powierzchnią. Jednakże najczęściej spotyka się rozwiązanie mieszane, w którym rurociągi doprowadzające i rozprowadzające są umieszczone w glebie, a nawadniające na jej powierzchni **(Marcilonek 1994).** Elementy wydatkujące ciecze z systemu nawadniającego zwane są emiterami, mogą występować w postaci mikrozraszaczy, otworów w przewodach doprowadzających, lub kroplowników **(Pierzgalski i in. 2002).** Ich zadaniem jest wytracenie ciśnienia panującego w układzie do wartości zerowej i spowodowanie grawitacyjnego wypływu cieczy **(Drupka 1986).** Emitują one wodę bezpośrednio, punktowo do poszczególnych roślin w postaci strużek lub pojedynczych kropel. Istotną kwestią jest takie rozmieszczenie emiterów, na lub pod powierzchnią gleby, aby wydostająca się z nich woda trafiała bezpośrednio do strefy korzeniowej nawadnianych roślin **(Jeznach 2009).** Wśród kroplowników wyróżnia się przystawki kapilarne, mikrorurki kapilarne proste i spiralne, nasadkowe, przewody z podwójną ścianą oraz aparaty pulsacyjne **(Marcilonek 1994).** Częstotliwość występowania emiterów, na elastycznych przewodach doprowadzających, zależy od specyfiki gatunku nawadnianych roślin, zwięzłości gleby oraz wydatku emiterów **(Pływaczyk 2006).** Jest to szczególnie istotne w warunkach gleb piaszczystych, które charakteryzują się małą przewodnością w stanie nienasyconym. W takich warunkach nie jest możliwe osiągnięcie dużych zasięgów nawodnienia z pojedynczego emitera, głównie z powodu szybkiego pionowego zwilżenia gleby i małych przyrostach poziomej strefy nawodnionej **(Hewelke 1993).** W celu uniknięcia strat wody poprzez odpływ pionowy poza strefę korzeniową należy odpowiednio dobrać rozstawę emiterów na linii kroplującej, jak i natężenie wypływu z emiterów **(Hewelke 1993, Hewelke i in. 1995).** W celu uzyskania ciągłego pasa zwilżanej powierzchni gleby, należy zastosować odpowiednio gęsto rozmieszczone emitery na liniach nawadniających **(Pływaczyk 2006).** Najlepsze efekty zwilżenia gleby można uzyskać stosując kilka

emiterów o mniejszej wydajności w mniejszej rozstawie, niż jednego o skumulowanej wydajności. Wpływa to na poszerzenie i ograniczenie pionowe zasięgu frontu uwilgotnienia w nawadnianym profilu. Zjawisko to jest szczególnie istotne podczas nawadniania roślin drzewiastych na glebach przepuszczalnych, gdzie mimo zastosowania nawodnień kroplowych mogą wystąpić znaczne odpływy grawitacyjne w głąb profilu **(Reinhard i in. 2007).** Wielkość dawki polewowej zależy natomiast od pojemności wodnej i dopuszczalnego deficytu wody w glebie. Wydatkowanie wody przez emitery mieści się w przedziale 0,7 – 10,0 $dm^3 \times h^{-1}$ **(Pływaczyk 2006).** Ten rodzaj nawodnień znajduje zastosowanie w rzędowym, liniowym systemie uprawy roślin, a zwłaszcza w uprawach polowych o szerokiej rozstawie międzyrzędzi. W Polsce na największą skalę wykorzystywany jest w warzywnictwie i sadownictwie **(Marcilonek 1994).**

Główną zaletą nawodnień kroplowych jest możliwość oszczędnego gospodarowania zasobami **(Jeznach 2009, Nyc, Pokładek 2009),** przez które należy rozumieć wodę, nawozy mineralne, energię, a także siłę roboczą **(Jeznach 2009).** Ponadto jedną z najważniejszych cech nawodnień kroplowych jest wysoki współczynnik wykorzystania wody **(Marcilonek 1994, Pływaczyk 2006)**, a także duża efektywność nawadniania. Obydwa wymienione powyżej kryteria przyjmują najwyższą wartość spośród wszystkich metod nawodnieniowych **(Pierzgalski, Jeznach 1993).** Straty wody podczas nawadniania kroplowego wynoszą zaledwie 2-3% **(Nyc 1996).** Powyższe umożliwia oszczędne wykorzystanie zasobów wodnych, optymalizację efektów, zmniejszenie dawek nawozów i środków ochrony roślin podawanych wraz z wodą, co warunkuje efektywne ich wykorzystanie **(Pierzgalski, Jeznach 1993)** i ogranicza presję szkółek leśnych na środowisko **(Juntunen 2003).** W efekcie system ten daje możliwość zachowania równowagi pomiędzy dostarczaniem wody i składników pokarmowych, a pobraniem ich przez roślinę **(Nyc, Pokładek 2009).** Skutkuje to ograniczeniem rozwoju chwastów i umożliwia polepszenie jakości i ilości plonów **(Marcilonek 1994).** Wymienione korzyści powodują, iż nawodnienia kroplowe znajdują zastosowanie na każdym rodzaju gleb, a także na obszarach, gdzie stosowanie innych rodzajów mikronawodnień jest niemożliwe tj. tereny o ograniczonych zasobach wodnych **(Pierzgalski, Jeznach 1993).** Przemawia za tym fakt mniejszego zużycia wody w zakresie 20-70% w porównaniu z systemami deszczownianymi **(Nyc 1996, Leciejewski 2011)** oraz najwyższa równomierność nawodnienia sięgająca 90-95% **(Nyc 1996).** Ponadto systemy kroplowe charakteryzują się niską energochłonnością instalacji, spowodowaną stosowaniem przewodów średnio i niskociśnieniowych, które generują stosunkowo niskie koszty eksploatacji układu **(Jeznach 1996, Pływaczyk 2006).** Obliczono, iż zużycie energii przy nawadnianiu kroplowym osiąga poziom zaledwie 20-25% w stosunku do potrzeb nawodnień deszczownianych **(Nyc 1996).** Do prawidłowego funkcjonowania systemu wystarcza ciśnienie wynoszące zaledwie 0,01-0,02 MPa, dla porównania mikrodeszczownie funkcjonują przy ciśnieniu 0,05-0,20 MPa natomiast deszczownie 0,20-1,00 MPa **(Jeznach 1996, Nyc 1996).** Kolejną zaletą jest łatwość utrzymania pożądanego poziomu uwilgotnienia gleby oraz brak wrażliwości

instalacji na niekorzystne warunki klimatyczne **(Pływaczyk 2006).** Ponadto istnieje możliwość całkowitej automatyzacji procesu podawania wody, a także jednoczesnego dozowania roślinom nawozów mineralnych **(Nyc 1996, Pływaczyk 2006).** Zjawisko fertygacji, czyli połączenia funkcji nawadniania z nawożeniem mineralnym, umożliwia precyzyjne dozowanie odpowiedniej dawki nawozowej w konkretnej fazie rozwoju fizjologicznego rośliny. Ponadto pozwala ograniczyć zanieczyszczenie wód gruntowych nawozami, a także zoptymalizować ekonomikę tego zabiegu zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju gospodarki rolnej **(Jeznach, Pierzgalski 1996).** Zalety tego systemu nawadniania znajdują odzwierciedlenie w badaniach, gdzie udowodniono, iż umożliwiły osiągnięcie siewek o wyższym pędzie w porównaniu z roślinami mikrozraszanymi zachowując istotność wpływu na ten parametr dla rocznych i dwuletnich siewek sosny **(Klimek i in. 2008).**

Główną wadą nawodnień kroplowych jest wysoka wrażliwość kroplowników na jakość wody stosowanej do nawodnień **(Pływaczyk 2006).** Wobec czego, przed wprowadzeniem do instalacji mikronawodnieniowej, należy przeprowadzić analizę jakościową wody z danego ujęcia. Jakość wody musi sprostać wymaganiom sanitarnym, fizjologicznym i technicznym, choć dotychczas nie opracowano przedmiotowych norm dla nawodnień kroplowych. Kryteria sanitarne dotyczą wolności cieczy od czynników chorobotwórczych, fizjologiczne określają związki chemiczne i sól, które mogą wpływać hamująco na rozwój roślin, natomiast techniczne dotyczą zjawisk częściowego lub całkowitego zatykania emiterów **(Jeznach, Pierzgalski 1993).** W przypadku korzystania z ujęcia wód powierzchniowych największy problem stanowią zanieczyszczenia mineralne w postaci piasku, a także organiczne w postaci glonów. Natomiast wykorzystując wody podziemne, których jakość w zależności od ich pochodzenia i cech warstw wodonośnych jest różna, główny problem stanowią zanieczyszczenia chemiczne. Szacuje się, iż około 66% wód podziemnych wymaga odżelaziania, a 50% odżelaziania i odmanganiania. Występujące w wodzie związki żelaza, wapnia i manganu, w kontakcie z powietrzem atmosferycznym mogą zostać wytrącone w emiterach **(Jeznach, Pierzgalski 1993, Pierzgalski i in. 2002).** Szacuje się, iż zaledwie 23% wód podziemnych nie wymaga uzdatniania **(Jeznach, Pierzgalski 1993).** Przy zawartości żelaza w wodzie przekraczającej poziom 0,2 mg x dm^{-3} istnieje konieczność zastosowania zamkniętych odżelaziaczy, natomiast przy zawartości przekraczającej 4 mg x dm^{-3} zaleca się stosowanie układu szeregowego z dwóch połączonych urządzeń odżelaziających **(Jeznach 1996).** Wspomniane wcześniej zanieczyszczenia mechaniczne i chemiczne powodują blokowanie odpływu wody z emiterów, natomiast rozwój mikroorganizmów przyczynia się do zarastania kroplowników od wewnątrz. W celu ograniczenia rozwoju drobnoustrojów produkuje się emitery w kolorze czarnym z tworzyw sztucznych tj. polichlorek winylu, polietylenu, propylenu, **(Pływaczyk 2006)**, polipropylenu, a także poliwinichlorydu **(Marcilonek 1994).** W zależności od potrzeb podyktowanych rodzajem występujących zanieczyszczeń, możliwe jest stosowanie zautomatyzowanych urządzeń i instalacji oczyszczających,

uzdatniających, a także wzbogacających wodę w nawozy mineralne bądź środki chemiczne **(Jeznach, Pierzgalski 1993).** W przypadku stosowania fertygacji, w systemach kroplowych, istnieje także ryzyko ograniczenia wypływu bądź całkowitego zatkania emiterów wskutek odparowania wody, z roztworu polewowego, z końcowej części emitera. Można zapobiec temu zjawisku przepłukując każdorazowo instalację czystą wodą po zakończonej fertygacji **(Jeznach, Treder 2006, Leciejewski 2011).** Za wadę nawodnień kroplowych można także uznać małą dostępność na krajowym rynku wysokiej jakości urządzeń uzdatniających, odpornych na zmienną jakość wody i upływ czasu oraz niedostateczną wiedzę użytkowników względem eksploatacji i optymalizacji ich funkcjonowania. Skutkuje to obniżeniem równomierności nawadniania wskutek zatykania emiterów, a w konsekwencji obniżeniem efektywności instalacji **(Jeznach 1996).** Z drugiej strony, rosnąca dostępność materiałów i urządzeń z importu, produkowanych przez wyspecjalizowane firmy, charakteryzujących się wysoką jakością, zapewnia prawidłowe funkcjonowanie układu nawadniającego w ujęciu 8-10 letnim. Za przykład mogą posłużyć przewody nawadniające z emiterami kompensującymi ciśnienie, dozowniki nawozów sterowane komputerowo, a także filtry samooczyszczające się, które w połączeniu z automatyzacją i komputeryzacją niemalże nie wymagają nadzoru. Jednakże warunkiem prawidłowego funkcjonowania, a w efekcie długiej żywotności układu jest prawidłowe zaprojektowanie oraz właściwa efektywna eksploatacja **(Jeznach 2009).** Za złą stronę tego systemu nawadniającego można uznać także brak możliwości regulowania mikroklimatu nawadnianej powierzchni, co cechuje nawodnienia deszczowniane **(Marcilonek 1994).** Podsumowując należy stwierdzić, iż spośród metod nawodnieniowych, nawodnienia kroplowe pozwalają najbardziej racjonalnie gospodarować zasobami przy zachowaniu zasad zrównoważonego rozwoju. Zawdzięczają to możliwości precyzyjnej regulacji warunków wilgotnościowych, biologicznych i troficznych strefy korzeniowej nawadnianych roślin. Może to spowodować, iż staną się głównym systemem nawadniania stosowanym w uprawach pod osłonami, w sadach, warzywnictwie, na plantacjach jagodowych, a także w szkółkach **(Jeznach 1996).**

2.3.4. Sposoby określania potrzeb nawadniania roślin

Warunkiem dokładnego, odpowiadającego potrzebom roślin, sterowania uwilgotnieniem gleby jest prawidłowe określenie zapotrzebowania roślin na wodę **(Pierzgalski i in. 2002).** Poszczególne gatunki charakteryzują się odmiennymi potrzebami wodnymi w zależności od fazy rozwojowej, zwłaszcza w tzw. okresach krytycznych zapotrzebowania na wodę. Potrzeby wodne poszczególnych gatunków roślin można przedstawić za pomocą kilku wskaźników tj. opadów optymalnych, polowego zużycia wody, ewapotranspiracji łanu, wymaganego uwilgotnienia gleby **(Dzieżyc 1986, Dmowski, Chmura 2006)** lub o większym znaczeniu praktycznym, zastosowane w niniejszej pracy, wyznaczanie ewapotranspiracji w warunkach optymalnego uwilgotnienia w celu precyzyjnego

nawadniania **(Rzekanowski i in. 2011).** Ponadto wyróżnia się trzy grupy metod służących do oceny potrzeb stosowania nawodnień roślin. Należą do nich metody hydrologiczne, biologiczne i rolniczo-doświadczalne. Hydrologiczne bazują na bilansie wodnym szczegółowym lub wskaźnikach bilansu wodnego. Biologiczne polegają na obserwacji wskaźników fitosocjologicznych i fizjologicznych roślin. Ostatnia grupa opiera się na relacjach liczbowych pomiędzy plonem, a zabiegiem nawodnieniowym. Najefektywniejsze wydaje się połączenie wszystkich ww. metod **(Ostromęcki 1973).** Inny podział wyróżnia metody bezpośrednie i pośrednie **(Pierzgalski i in. 2002, Pęczkowski i in. 2007).** Bezpośrednie bazują na laboratoryjnej analizie właściwości fizycznych i wodnych utworu glebowego z wyznaczeniem krzywej pF. Krzywa ta przedstawia zależność liniową pomiędzy uwilgotnieniem, a siłą ssącą gleby **(Pierzgalski i in. 2002).** W praktyce oznacza siłę ssącą gleby wyrażoną logarytmem dziesiętnym wartości F w cm słupa wody **(Dzieżyc 1986).** Zależność ta jest stała dla danego rodzaju gleby, jednakże ulega zmianom po wykonaniu zabiegów agrotechnicznych. W oparciu o wartość krzywej wyznacza się ilość wody łatwo dostępnej dla roślin w profilu glebowym, a po uwzględnieniu współczynnika i miąższości strefy zwilżania otrzymuje dawkę polewową w mm. W praktyce, gdy nie dysponuje się krzywą pF stosuje się metody pośrednie, które należy uzupełnić organoleptyczną oceną uwilgotnienia zwilżonej warstwy gleby bądź za pomocą urządzeń służących do pomiaru siły ssącej lub wilgotności gleby. Spośród metod pośrednich wymienić należy dwie metodę Varallyaya i Somorowskiego. Pierwsza w oparciu o dane uziarnienia i objętościowej gęstości gleby przy uwzględnieniu współczynników pozwala wyznaczyć 9 współrzędnych punktów krzywej pF, a na ich podstawie po wykreśleniu krzywej retencyjności pozwala odczytać ilość wody łatwo dostępnej. Dalej postępuje się analogicznie do metody bezpośredniej. Somorowski opracował przybliżone ilości wody łatwo dostępnej dla określonych rodzajów gleb szkółek leśnych. Na ich podstawie, analogicznie do metody bezpośredniej, wylicza się wielkość dawki polewowej. W warunkach eksploatacyjnych wielkość dawek polewowych, poza zdolnościami retencyjnymi gleby, zależy od fazy rozwojowej rośliny i od warunków klimatycznych, zatem szacowanie dawki polewowej należy poprzedzić kontrolą zmian uwilgotnienia gleby **(Pierzgalski i in. 2002).**

Potrzeby wodne roślin można określić za pomocą klimatycznego bilansu wodnego (KBW) **(Łabędzki 2006)** lub klimatycznego niedoboru lub nadmiaru opadów **(Grabarczyk i in. 1994).** Wskaźniki te umożliwiają wyznaczenie obszarów, charakteryzujących się niedoborem opadów atmosferycznych w danym okresie względem ewapotranspiracji wskaźnikowej **(Rojek 1987, Łabędzki 2006, Szejba, Szatyłowicz 2007).** Klimatyczny bilans wodny wyznacza się obliczając różnicę wartości sumy opadów danego okresu i ewapotranspiracji wskaźnikowej w tym okresie. Im niższe wartości przyjmuje bilans, tym większy deficyt opadowy wystąpił w rozpatrywanym okresie i większe prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków niedoboru wody podczas wegetacji roślin **(Rojek 1987, Łabędzki 2006).** Klimatyczny niedobór lub nadmiar opadów wyznacza się odejmując sumy opadów od wartości ewapotranspiracji wskaźni-

kowej. Przeciwnie niż w KBW wartości ujemne świadczą o nadmiarze opadów **(Grabarczyk i in. 1994).**

Ewapotranspiracja wskaźnikowa wyraża sumę wartości transpiracji roślin i parowania z powierzchni gleby i wody **(Kędziora 1995, Łabędzki i in. 1996, Łabędzki 2006).** Transpiracja, czyli parowanie wody z powierzchni rośliny, jest złożonym procesem pobierania, transportu oraz parowania w liściach i dyfuzji pary wodnej poprzez aparaty szparkowe rośliny do atmosfery. Zależy od czynników oddziałujących na procesy fizjologiczne w roślinie tj. fazy rozwojowej, masy części podziemnej i nadziemnej oraz stopnia pokrycia gleby. Druga składowa ewapotranspiracji określa wielkość ubytku wody z głębszych warstw ku powierzchni gleby, a także dyfuzji pary wodnej z porów glebowych do atmosfery. Istotne znaczenie mają zatem składowe wpływające na proces dyfuzji pary wodnej. Wobec powyższego wartość ewapotranspiracji zależy od szeregu czynników meteorologicznych, roślinnych oraz glebowych **(Kędziora 1995, Łabędzki i in. 1996).**

Istnieje wiele metod służących do obliczenia ewapotranspiracji. Najdokładniejszym sposobem jej wyznaczenia jest metoda lizymetryczna, ale ze względu na koszt aparatury i pracochłonność nie może być stosowana powszechnie, dlatego opracowano szereg metod obliczeniowych **(Szejba, Szatyłowicz 2007).** Metody bezpośrednie bazują na równaniach fizycznych, empirycznych i fizyczno-empirycznych, należą do nich m. in.: metoda bilansu wodnego, równanie Penmana i Penmana-Monteitha **(Łabędzki i in. 1996, Łabędzki 2006)**, równanie bilansu energii powierzchni łanu, stosunek Bowena. Spośród metod umożliwiających wyznaczenie ewapotranspiracji wskaźnikowej w oparciu o dane meteorologiczne zalecaną i najczęściej stosowaną jest metoda Penmana i Penmana-Monteitha. Wymienione metody wymagają szeregu parametrów meteorologicznych, glebowych i roślinnych, przez co ich stosowanie w praktyce jest trudne bądź niemożliwe **(Łabędzki i in. 1996, Treder i in. 2010).** Ponadto niektóre badania dowodzą, iż błąd metody Penmana-Monteitha w niektórych warunkach atmosferycznych może sięgać aż 30 % **(Widmoser 2009 za Treder i in. 2010).** W praktyce najpowszechniej stosowaną metodą określania ewapotranspiracji rzeczywistej i potrzeb wodnych roślin jest metoda pośrednia. Polega ona na wyznaczeniu ewapotranspiracji rzeczywistej w oparciu o obliczoną ewapotranspirację wskaźnikową po uwzględnieniu współczynników glebowo-wodnych i roślinnych. Ze względu na ograniczoną dostępność danych meteorologicznych, zastosowanie znajduje metoda Hargreaves-a **(Łabędzki i in. 1996, Treder i in. 2010),** Grabarczyka **(Łabędzki 2006, Treder i in. 2010)**, Szarowa **(Grabarczyk 1989)** oraz metoda Drupki określająca zużycie wody w określonej warstwie gleby **(Pierzgalski i in. 2002).** Metoda Hargreaves-a polega na uproszczeniu modelu Penmana i umożliwia wyznaczenie ewapotranspiracji wskaźnikowej na podstawie minimalnej i maksymalnej temperatury powietrza oraz wartości promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery **(Treder i in. 2010).** Równanie Grabarczyka pozwala określić wartość ewapotranspiracji wskaźnikowej na podstawie temperatury i niedosytu wilgotności powietrza **(Grabarczyk, Żarski**

1986). Wyznaczenie ewapotranspiracji metodą Szarowa polega na obliczeniu iloczynu średniej temperatury powietrza atmosferycznego i współczynnika, którego wartość uzależniona jest od warunków wilgotnościowych **(Grabarczyk 1989).** Metoda przeliczeniowa zaproponowana przez Drupkę w oparciu o średnią temperaturę powietrza atmosferycznego pozwala ustalić dobowe zużycie wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu, uwzględniając transpiracyjne zużycie wody i parowanie terenowe. Polega na odczytaniu wartości dobowego zużycia wody, z opracowanej przez autora tabeli **(Pierzgalski i in. 2002).**

Spośród metod pośrednich, wykorzystujących właściwości elektryczne gleby, jedną z najczęściej stosowanych na świecie jest metoda TDR - Time Domain Reflactometry - Reflektometria domenowo-czasowa. Bazuje ona na pomiarze prędkości przepływu fali elektromagnetycznej w ośrodku. Dokładność pomiaru odpowiada dokładności metody grawimetrycznej suszarkowo-wagowej, ale ze względu na niedestruktywny charakter i szybkość pomiaru znajduje szerokie zastosowanie w różnych typach gleb **(Pęczkowski i in. 2007).**

3. MATERIAŁY I METODY

3.1. CHARAKTERYSTYKA DOŚWIADCZEŃ I WARUNKI GLEBOWE

Badania polowe przeprowadzono w sezonach wegetacyjnych lat 2010-2011-2012 w zadrzewieniowej, zespolonej szkółce leśnej Białe Błota, podlegającej Nadleśnictwu Bydgoszcz i Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Toruniu. Szkółka zlokalizowana jest przy ul. Leśnej 1 w Białych Błotach około 2 km na południowy zachód od granic miasta Bydgoszcz. Rejon Bydgoszczy należy do strefy o największej celowości stosowania nawodnień ze względu na kryterium klimatyczne w Polsce (Żarski 2011). Szkółka prowadzi produkcję materiału sadzeniowego drzew i krzewów leśnych na powierzchni 7,53 ha. Roczna produkcja materiału sadzeniowego kształtuje się w przedziale 100-150 tysięcy siewek i sadzonek drzew leśnych. Do nawadniania upraw wykorzystuje trzydziestoletnie zraszacze, wydatkujące wodę w ilości 5 dm^{-3} x $min.^{-1}$. W zależności od przebiegu warunków atmosferycznych okresu wegetacji i rozkładu opadów atmosferycznych szkółka zużywa rocznie ok. 5-15 m^3 wody do nawodnień.

Badania wykonano na glebie zakwalifikowanej wg Systematyki Gleb Polski do rzędu rdzawoziemne, typu rdzawe, podtypu rdzawe typowe **(Marcinek, Komisarek 2011),** wytworzonej z piasku aluwialnego. Poziom powierzchniowy tej gleby cechuje tekstura piasku słabogliniastego drobnoziarnistego o zawartości frakcji ilastej 6-7% (średnica ziaren poniżej 0,002 mm). Zawartość węgla organicznego w powierzchniowej warstwie gleby kształtuje się w granicach 35,7-38,4 g x kg^{-1}, co wskazuje na to, że można ją zaliczyć do gleb mineralno-próchnicznych. Ponadto gleba charakteryzuje się niską kwasowością wymienną, pH w 1M KCl przyjmowało wartość 6,9-7,0, przy jednocześnie niskiej zawartości przyswajalnego potasu i fosforu **(Klimek i in. 2013).** Odczyn gleby pomierzony po zakończeniu 2 roku uprawy dla poletek nawożonych próchnicą nadkładową oscylował w okolicach 6,5, natomiast na poletkach nienawożonych przyjmował wartość 6,3. Pomiaru pH dokonano przy użyciu pH-metru polowego. Ponadto po założeniu doświadczeń w roku 2010 wykonano oznaczenia właściwości fizyczno-wodnych gleby w Katedrze Gleboznawstwa i Ochrony Gleb Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Gęstość fazy stałej gleby dla poletek nienawożonych wynosiła 2,497 Mg x cm^{-3}, a nawożonych 2,417 Mg x cm^{-3}, gęstość objętościowa 1,398 Mg x cm^{-3} i 1,297 Mg x cm^{-3}. Porowatość ogólna przyjęła wartość 44% obj. dla poletek nienawożonych i 46,3% obj. dla nawożonych. Zawartość wody przy pF 2,0; 2,7; 3,0; 4,2 wynosiła odpowiednio dla poletek nienawożonych 19,8; 16,9; 12,7; 8,4% obj., a dla nawożonych próchnicą 20,8; 18,1; 13,6; 8,9% obj. W glebie nienawożonej makropory stanowiły 24,2% obj., mezopory 11,4% obj. (PRU), 7,1% obj. (ERU), 4,3% obj. (DKR) natomiast mikropory 8,4% obj. W glebie nawożonej organicznie makropory

stanowiły 25,5% obj., mezopory 11,9% obj. (PRU), 7,2% obj. (ERU), 4,7% obj. (DKR), a mikropory 8,9% obj**.**

Doświadczenia zostały założone w siewie rzędowym 4 pasowym w 2 letnim systemie uprawy Sosny zwyczajnej (Aneks - fot. 1-7). Celem produkcyjnym było uzyskanie wysokiej jakości nieszkółkowanych, dwuletnich sadzonek z nasienia z podciętymi korzeniami w pierwszym i 2 roku uprawy. W każdym roku badań wysiew miał miejsce w 3 dekadzie kwietnia (Aneks - fot. 1). Corocznie po uzyskaniu pełni wschodów ok. 10 maja (Aneks - fot. 2), na wszystkich poletkach doświadczalnych wyznaczono rośliny wskaźnikowe, które w odstępach 30 dniowych w danym okresie wegetacyjnym posłużyły do oznaczania cech biometrycznych siewek, a na końcu okresów wegetacji do określenia świeżej masy części nadziemnej roślin. Wysiew nasion, na odpowiednich, wylosowanych w bloku poletkach w określonych wariantach doświadczenia, poprzedzony był nawożeniem organicznym w dawce przeliczeniowej 100 m^3 x ha^{-1}, co odpowiada 0,01 m^3 na pojedynczym poletku. Materię organiczną stanowiła próchnica nadkładowa pozyskana z powierzchni zrębowej boru świeżego z okolic Torunia, z Nadleśnictwa Dobrzejewice i każdorazowo została ona wymieszana z glebą na głębokość ok. 10 cm. Nawadnianie prowadzono w oparciu o wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych **(Pierzgalski i in. 2002)**, przy uwzględnieniu dobowych sum opadów atmosferycznych, z zastosowaniem mikronawadniania kroplowego. System nawodnieniowy składał się z grubościennych linii kroplujących, w kolorze czarnym, z emiterami rozmieszczonymi w odstępach ok. 30 cm, bez kompensacji ciśnienia, o wydatku wody z emitera na poziomie 2,4 dm^3 x min^{-1} (Aneks - fot. 6). Źródłem wody do nawodnień była komunalna sieć wodociągowa, dlatego nie zastosowano systemów filtrowania i uzdatniania wody.

Przedmiotem badań były siewki Sosny zwyczajnej w 1 i 2 sezonie wzrostu, a badano potrzeby i efekty nawadniania siewek w warunkach nawożenia organicznego i zwiększonego nawadniania kroplowego.

Czynnikami doświadczalnymi były:

- Nawożenie organiczne
- Nawadnianie

Wyodrębniono następujące poziomy czynników:

- Nawożenie organiczne, brak nawożenia (2 poziomy)
- Nawadnianie 100%, 200%, 300%, 400% (4 poziomy).

Zróżnicowanie jednorazowych dawek polewowych uzyskano poprzez zwiększenie liczby emiterów na jednostce powierzchni, co z kolei osiągnięto poprzez wykorzystanie odpowiednio 2,3,4 linii kroplujących dla jednego rzędu siewek (Aneks - fot. 6).

Wobec powyższego powstało 8 obiektów doświadczalnych (2 poziomy 1 czynnika x 4 poziomy 2 czynnika), rozmieszczonych w 4 powtórzeniach - blokach, czyli powstały 32 poletka doświadczalne. Jednostkę eksperymentalną tworzyło poletko o powierzchni 2 m^2 zawierające 4 rzędy siewek Sosny zwyczaj-

nej. W doświadczeniach zastosowano zmodyfikowany, zależny układ losowanych bloków, gdzie w każdym bloku znalazł się każdy wariant doświadczenia. Wybór układu został podyktowany ułatwieniem technicznym zastosowania pierwszego czynnika (nawożenie), a modyfikacja układu wymuszona została specyfiką zastosowanego systemu nawodnieniowego.

We wszystkich okresach badawczych w odstępach 10-cio dniowych monitorowano poziom uwilgotnienia gleby na poletkach doświadczalnych przy użyciu urządzenia TDR. Mierzono procentową zawartość wilgoci (zasobność w wodę) w glebie na trzech głębokościach pomiarowych tj. 7 cm, 12 cm, 20 cm.

Po osiągnięciu pełni wschodów, w odstępach 30 dni, wykonywano pomiary biometryczne wybranych wskaźnikowych siewek sosny tj.:

- Wysokości pędu - długość części nadziemnej siewki,
- Średnicy pędu - grubość w szyi korzeniowej,
- Liczby igieł.

Na końcu każdego okresu wegetacji pobrane zostały siewki wskaźnikowe, na których wykonywano pomiary biometryczne w całym okresie wegetacji, po czym dokonano pomiaru ich cech biometrycznych oraz określono świeżą masę części nadziemnych (Aneks - fot. 7-11). Zabiegi sylwotechniczne wykonywano w oparciu o wytyczne produkcji siewek w szkółkach leśnych i zadrzewieniowych.

W badaniach doświadczalnych opisanych w niniejszym opracowaniu zastosowano łącznie kilka zabiegów melioracyjnych. Nawożenie organiczne w postaci wprowadzonej do gleby próchnicy nadkładowej, pochodzącej z terenów zrębowych Sosny zwyczajnej, należy zaliczyć do melioracji biologicznych i glebowych, a ze względu na obecne w niej mikroorganizmy (m. in. mechowce) do zabiegów zoomelioracyjnych. Nawozy mineralne zastosowane w uprawie należy zakwalifikować do szeroko pojętych melioracji chemicznych. Nawadnianie kroplowe reprezentuje melioracje wodne, z grupy nawadniających i napowierzchniowych.

3.2. PRZEBIEG WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH W SEZONACH BADAWCZYCH

Charakterystykę warunków meteorologicznych okresów wegetacji w latach 2010-2012, w których prowadzono ścisłe doświadczenia polowe, opracowano na podstawie parametrów meteorologicznych udostępnionych przez Nadleśnictwo Bydgoszcz. Parametry charakteryzujące przebieg warunków pogodowych pochodzą z automatycznej stacji meteorologicznej wykonanej przez firmę TRAX elektronik A. Moryc, M. Tomecki, L. Turczyński, sp. j. ul. Ks. Truszkowskiego 54, 31-352 Kraków. Stacja zlokalizowana jest na terenie szkółki leśnej w Białych Błotach, w której realizowane były niniejsze badania doświadczalne.

Dane meteorologiczne z 30-lecia 1981-2010 zostały udostępnione przez Katedrę Melioracji i Agrometeorologii z Wydziału Rolnictwa i Biotechnologii UTP. Pomiary meteorologiczne wykonano metodą standardową w stacji meteo-

rologicznej zlokalizowanej na terenie obiektów doświadczalnych UTP w miejscowości Mochełek. Stacja jest oddalona o ok 20 km w kierunku północnym od szkółki leśnej w Białych Błotach, w której realizowane były niniejsze badania. Pomiary metodą standardową w ww. stacji prowadzone są nieprzerwanie od roku 1949, znajduje się ona poza wpływem miejskich czynników antropogenicznych, a standardowa procedura pomiarowa jest zgodna z wytycznymi Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej **(Żarski 2011).**

3.2.1. Fluktuacja temperatury powietrza atmosferycznego

Najcieplejszym miesiącem okresu wegetacyjnego w latach badań był lipiec 2010 r., który charakteryzował się najwyższą średnią temperaturą powietrza wynoszącą 21,6°C, wyższą od normy dla wielolecia o 3°C (116,1% normy). Z kolei najzimniejszym miesiącem okresu wegetacyjnego w latach badań okazał się kwiecień 2010 r., który cechował się najniższą średnią temperaturą, przyjmującą wartość 7,8°C, która pokrywa się z wartością normy wieloletniej (tab. 1). Najwyższą wartością względem normy wieloletniej 134,6% cechował się kwiecień roku 2011, w którym średnia temperatura wyniosła 10,5°C (norma 7,8°C). Najniższą wartością względem normy 86,5% cechował się maj roku 2010, w którym średnia temperatura wyniosła 11,5°C (norma 13,3°C). Na uwagę zasługuje ponadto fakt, iż średnie temperatury czerwca, lipca i sierpnia 2011 r. charakteryzowały się zbliżonymi wartościami, odpowiednio 17,7°C; 17,5°C; 17,7°C, co odpowiada 109,9; 94,1; 98,9% normy wieloletniej. Najcieplejszym sezonem wegetacyjnym w badanych latach okazał się rok 2011, w którym średnia temperatura wynosiła 15,2°C (104,8% normy wieloletniej).

Tabela 1. Średnie temperatury powietrza atmosferycznego w sezonach wegetacyjnych lat 1981-2012 wg danych ze stacji meteorologicznej w Mochełku.

Miesiąc okresu wegetacji	Średnie temperatury powietrza w ºC			
	2010	2011	2012	1981-2010
Kwiecień	7,8	10,5	8,4	7,8
Maj	11,5	13,5	14,5	13,3
Czerwiec	16,7	17,7	15,2	16,1
Lipiec	21,6	17,5	18,8	18,6
Sierpień	18,4	17,7	17,6	17,9
Wrzesień	12,2	14,3	13,3	13,1
Średnia:	14,7	15,2	14,6	14,5

Dane dotyczące średnich temperatur powietrza pochodzące z automatycznej stacji w Białych Błotach (tab. 2) przedstawiają podobne cechy i zależności badanych okresów wegetacji, jednakże wartości uzyskanych odczytów temperatur różnią się od wartości pomierzonych metodą standardową w Mochełku. Przy-

czyn owych różnic należy się doszukiwać w oddaleniu stacji meteorologicznych o ok. 20 km względem siebie **(Treder i in. 2011)**, a także w fakcie zastosowania różnych metod pomiarowych. Dane literaturowe wskazują, iż pomiary meteorologiczne wykonywane przy wykorzystaniu metody klasycznej w porównaniu z odczytami automatycznej stacji cechują się istotnymi statystycznie różnicami wartości pomiaru **(Kamińska i in. 2007).** Różnice wynikają z częstotliwości próbkowania mierzonych parametrów oraz metod obliczeń średnich wartości dla danych parametrów **(Kajewska, Rojek 2007).** Dla uzyskania jednorodności ciągów pomiarowych koniecznym staje się stosowanie współczynników korygujących **(Kamińska i in. 2007).**

Tabela 2. Średnie temperatury powietrza atmosferycznego w sezonach wegetacyjnych lat 2010-2012 wg danych stacji meteorologicznej w Białych Błotach.

Miesiąc okresu wegetacji	Średnie temperatury powietrza w ºC			
	2010	2011	2012	1981-2010
Kwiecień	8,8	11,7	9,8	7,8
Maj	12,7	14,7	15,6	13,3
Czerwiec	17,4	19,4	16,5	16,1
Lipiec	22,9	18,6	20,2	18,6
Sierpień	19,3	19,2	19,1	17,9
Wrzesień	13,1	15,4	14,4	13,1
Średnia:	15,7	16,5	15,9	14,5

3.2.2. Rozkład opadów atmosferycznych

Sezon wegetacyjny roku 2010 charakteryzował się największą sumą opadów okresu wegetacji spośród lat doświadczeń wynoszącą 477,3 mm, co stanowi 162,4% normy wielolecia (307,5 mm)(tab. 3). Ponadto pozostałe lata doświadczeń cechowała wyższa suma opadów od średniej z wielolecia odpowiednio 389,9 mm w 2011 (126,8% normy) i 378,2 mm w 2012 (123% normy). Najbardziej obfitym w opady miesiącem okresu badań 150,7 mm był sierpień 2010 (240,7% normy), natomiast najniższą sumę opadów 13,5 mm odnotowano w kwietniu 2011 (50% normy wieloletniej). Duża ilość opadów odpowiednio 190,9 i 253,4% normy 30-letniej charakteryzowała miesiąc czerwiec w 2011 i 2012 r. (100,8 mm, 133,8 mm). Najsuchszym miesiącem badawczych okresów wegetacji (18,1 mm) względem średniej wieloletniej (52,8 mm) okazał się czerwiec 2010, w którym opad wyniósł 34,3% normy. Najniższe wartości tego parametru w miesiącach najbardziej istotnych w produkcji szkółkarskiej względem normy wieloletniej (27 i 49,3 mm) odnotowano w kwietniu 2011 (50% normy) i maju 2012 (51,5% normy), odpowiednio 13,5 i 38,4 mm.

Tabela 3. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w sezonach wegetacyjnych lat 1981-2012 wg danych ze stacji meteorologicznej w Mochełku

Miesiąc okresu wegetacji	Sumy opadów w mm			
	2010	2011	2012	Średnio 1981-2010
Kwiecień	33,8	13,5	26,5	27,0
Maj	92,6	38,4	25,4	49,3
Czerwiec	18,1	100,8	133,8	52,8
Lipiec	107,4	132,5	115,6	69,8
Sierpień	150,7	67,7	51,8	62,6
Wrzesień	74,7	37,0	25,1	46,0
Suma:	477,3	389,9	378,2	307,5

Rozkład opadów atmosferycznych w okresach badawczych mierzonych poprzez automatyczną stację meteorologiczną przedstawia się nieco inaczej od danych pozyskanych metodą klasyczną (tab. 4). Najwyższą sumą opadów charakteryzował się sezon wegetacyjny roku 2010, gdzie opad osiągnął wartość 494 mm, co stanowi 160,7% normy wielolecia. Najniższą sumę opadów odnotowano w okresie wegetacji roku 2011, a wynosiła ona 290,3 mm i stanowiła 94,4% normy. Miesiącem najbardziej obfitym w opady atmosferyczne (460,0% normy 30-letniej) był czerwiec 2012, w którym odnotowano opad w wysokości 242,9 mm. Najniższą sumę opadów w badawczych okresach i najniższą sumę opadów względem średniej wieloletniej (5,9% normy) odnotowano w czerwcu 2010, w którym opad wyniósł zaledwie 3,1 mm.

Tabela 4. Miesięczne sumy opadów atmosferycznych w sezonach wegetacyjnych lat 2010-2012 wg danych ze stacji meteorologicznej w Białych Błotach

Miesiąc okresu wegetacji	Sumy opadów w mm			
	2010	2011	2012	Średnio 1981-2010
Kwiecień	36,8	24,6	19,2	27,0
Maj	100,6	42,9	24,3	49,3
Czerwiec	3,1	63,6	242,9	52,8
Lipiec	104,2	110,0	89,8	69,8
Sierpień	162,4	27,5	35,7	62,6
Wrzesień	86,9	21,7	11,0	46,0
Suma:	494,0	290,3	422,9	307,5

Niskie wartości opadu (11 i 21,7 mm) odnotowano we wrześniu 2012 i sierpniu 2011, gdzie opad wyniósł odpowiednio 23,9 i 43,9% normy wieloletniej. Spośród miesięcy najbardziej istotnych w produkcji szkółkarskiej, czyli w kwietniu i

maju największe deficyty odnotowano w 2012 roku, gdzie osiągnęły odpowiednio 71,7 i 49,3% normy (19,2 i 24,3 mm).

Rozbieżności danych pochodzących z automatycznej stacji pomiarowej i standardowych pomiarów dotyczących sum opadów, podobnie jak rozkładu temperatur, należy tłumaczyć odległością lokalizacji obydwu stacji **(Treder i in. 2011)** oraz specyfiką pomiarową różniącą wykorzystane metody pomiaru.

Do charakterystyki przebiegu opadów atmosferycznych wykorzystano wskaźnik względnego opadu, który znajduje szerokie zastosowanie w analizach meteorologicznych do charakterystyki nadmiaru lub niedoboru opadu **(Łabędzki 2006).** Pozwolił on skonfrontować sumy opadów w badanym okresie z sumami średnimi charakteryzującymi określone wielolecie, które uznaje się za normę. Umożliwił klasyfikację badanych okresów - miesięcy ze względu na warunki opadowe i przyporządkowanie ich według wybranej klasyfikacji, do jednej z kategorii charakteryzujących zasobność w opady **(Gąsiorek, Musiał 2011, Gąsiorek i in. 2012).**

Wskaźnik względnego opadu RPI obliczono wg wzoru:

$$\mathbf{RPI} = \frac{\mathbf{P}}{\overline{\mathbf{P}}} \mathbf{x\ 100}\ \%$$

Gdzie:

P – suma opadu w badanym okresie,

$\overline{P}$ – średnia wartość opadu w badanym wieloleciu **(Łabędzki 2006, Gąsiorek i in. 2012).**

W oparciu o sumy opadów przedstawione powyżej obliczono wartości wskaźnika RPI dla poszczególnych miesięcy badanych okresów wegetacji. Przyporządkowanie badanych miesięcy do poszczególnych kategorii na podstawie RPI dokonano w oparciu o klasyfikację Kaczorowskiej **(Kaczorowska 1962 za Gąsiorek, Musiał 2011).** Wartości wskaźnika RPI dla danych opadowych ze stacji standardowej pozwoliły sklasyfikować cztery miesiące jako deficytowe w opady (tab. 5). Były to czerwiec 2010 i kwiecień 2011 określone jako bardzo suche względem średnich wieloletnich oraz jako suche maj i wrzesień 2012. Jednocześnie dwa miesiące, sierpień 2010 i czerwiec 2012, zostały zakwalifikowane jako nadmiernie bogate w opady określone jako skrajnie wilgotne.

Tabela 5. Klasyfikacja kategorii RPI wg danych ze stacji w Mochełku

Miesiąc okresu wegetacji	Wartości RPI w %		
	2010	2011	2012
Kwiecień	Wilgotny	Bardzo suchy	Normalny
Maj	Bardzo wilgotny	Normalny	Suchy
Czerwiec	Bardzo suchy	Bardzo wilgotny	Skrajnie wilgotny
Lipiec	Bardzo wilgotny	Bardzo wilgotny	Bardzo wilgotny
Sierpień	Skrajnie wilgotny	Normalny	Normalny
Wrzesień	Bardzo wilgotny	Normalny	Suchy

Charakterystyka wskaźnika względnego opadu w oparciu o dane pochodzące ze stacji automatycznej umożliwiła wyodrębnienie 6 miesięcy najbardziej deficytowych w opady i trzech najbardziej zasobnych (tab. 6). Czerwiec 2010 i wrzesień 2012 określone zostały jako skrajnie suche, sierpień i wrzesień 2011 oraz maj 2012 okazały się bardzo suche natomiast kwiecień i sierpień 2012 jako suche. Jednocześnie maj i sierpień 2010 oraz czerwiec 2012 zostały zakwalifikowane jako miesiące skrajnie wilgotne.

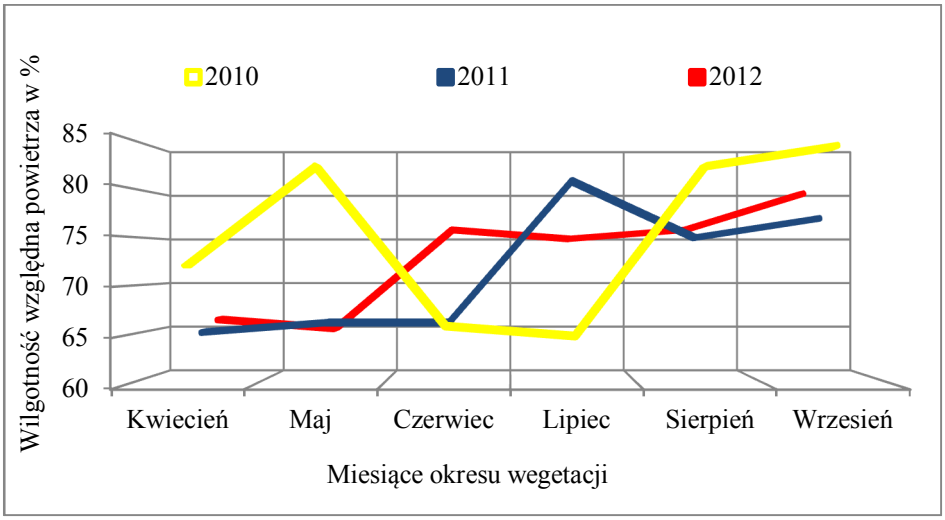
Tabela 6. Klasyfikacja kategorii RPI wg danych ze stacji w Białych Błotach

Miesiąc okresu wegetacji	Wartości RPI w %		
	2010	2011	2012
Kwiecień	Wilgotny	Normalny	Suchy
Maj	Skrajnie wilgotny	Normalny	Bardzo suchy
Czerwiec	Skrajnie suchy	Normalny	Skrajnie wilgotny
Lipiec	Wilgotny	Bardzo wilgotny	Wilgotny
Sierpień	Skrajnie wilgotny	Bardzo suchy	Suchy
Wrzesień	Bardzo wilgotny	Bardzo suchy	Skrajnie suchy

Przedstawione powyżej wskaźniki względnego opadu, wyznaczone w oparciu o dane z obu stacji, doskonale potwierdzają tezę o zmiennych w czasie zasobach wodnych **(Jeznach 1996)** i częstotliwości opadów **(Leciejewski 2011)**, a ponadto o związanej z nimi występującej nierównomiernie w czasie potrzebie nawodnień uzupełniających w Polsce **(Jeznach 1996).** Ze względu na duże przestrzenne zróżnicowanie sum i terminów opadów w kraju **(Babiński 1987, Babiński, Białkiewicz 1999, Treder i in. 2011)** do obliczeń w niniejszej pracy wykorzystano dane meteorologiczne z automatycznej stacji pomiarowej zlokalizowanej na obiekcie badawczym. Takie postępowanie zalecają **Treder i in. (2011)**, którzy twierdzą, że nawet wśród obiektów oddalonych od siebie od kilku do kilkunastu kilometrów występują duże różnice częstotliwości oraz intensywności opadu.

3.2.3. Przebieg wilgotności względnej powietrza

W oparciu o dane meteorologiczne ze stacji automatycznej w Białych Błotach z lat doświadczeń polowych opracowano wykres przebiegu średniej wilgotności względnej powietrza atmosferycznego dla okresów wegetacji (rys. 1). W sezonach wegetacyjnych lat prowadzenia doświadczeń polowych najwyższą średnią miesięczną wilgotność względną powietrza atmosferycznego 84% odnotowano we wrześniu 2010 roku. Sezon wegetacyjny tego roku charakteryzował się najwyższą 75,2% średnią wartością tego parametru spośród lat doświadczeń, pomimo iż czerwiec i lipiec tego roku cechowała niska 66% i 65% wartość tego czynnika. Najniższą średnią miesięczną wilgotność względną powietrza wynoszącą ok. 65% odnotowano w lipcu 2010, kwietniu 2011 i maju 2012. Jednakże najniższą średnią wilgotnością względną cechował się sezon wegetacyjny roku 2011 (71,7%).



Rys. 1. Średnia miesięczna wilgotność względna powietrza w okresach wegetacyjnych w latach 2010-2012.

3.3. WYZNACZENIE WSPÓŁCZYNNIKÓW KC DLA SOSNY ZWYCZAJNEJ

Ewapotranspirację rzeczywistą wyrażoną w mm charakteryzuje równanie:

$$\mathbf{ET = k_s \text{ x } k_c \text{ x } ET_o}$$

gdzie:
k_s - współczynnik glebowo-wodny,
k_c - współczynnik roślinny,
Et_o - ewapotranspiracja wskaźnikowa w mm **(Łabędzki i in. 1996).**

Zakładając dostateczne zaopatrzenie roślin w wodę, czyli optymalny poziom uwilgotnienia gleby, współczynnik k_s przyjmuje wartość 1, a równanie postać:

$$\mathbf{ET_p = k_c \text{ x } ET_o}$$

przy czym:
ETp - ewapotranspiracja potencjalna w mm **(Drupka 1986, Łabędzki i in. 1996, Łabędzki 2006).**

Po przekształceniu powyższego równania otrzymujemy zależność umożliwiającą wyznaczenie współczynników roślinnych Sosny zwyczajnej **(Łabędzki 2006)**:

$$\mathbf{k_c} = \frac{ET_p}{ET_o}$$

Ewapotranspirację potencjalną, czyli polowe zużycie wody (S) wyrażone w mm obliczono w oparciu o wzór:

$$\mathbf{S = W_p + P - W_k}$$

gdzie:
W_p - wilgotność początkowa (mm),
W_k - wilgotność końcowa (mm),
P - przychód (opady efektywne + nawadnianie) (mm) **(Roguski, Gabrych 1974, Drozd, Nowak 2006)**.

Wilgotność początkową i końcową wyznaczono w oparciu o zapas wody użytecznej w glebie w mm (Q_u) wg równania:

$$\mathbf{Q_u = (W_a - PTWR) \times h/10}$$

przy czym:
W_a - wilgotność aktualna (% obj. = $cm^3 \times cm^{-3}$),
PTWR - wilgotność w punkcie trwałego więdnięcia ($cm^3 \times cm^{-3}$),
h - miąższość badanej warstwy gleby (cm),
10 - przelicznik wody na mm **(Drozd, Nowak 2006).**

W niniejszej pracy wyznaczono współczynniki k_c dla poletek nawożonych i nienawożonych dla maja, czerwca, lipca i sierpnia, czyli miesięcy najbardziej istotnych z punktu widzenia zapotrzebowania na wodę Sosny zwyczajnej. Do obliczeń wykorzystano ET_o obliczone metodami Hargreavesa i Grabarczyka dla warunków pełnego zaopatrzenia w wodę w ramach drugiego wariantu wodnego dla roślin rocznych i 2 letnich z sezonu 2011. Wilgotność aktualną stanowiły odczyty pomiarowe (tab. 7) wykonywane w odstępach dekadowych przy użyciu urządzenia TDR na właściwych poletkach.

Tabela 7. Wilgotność aktualna mierzona TDR-em w sezonie wegetacyjnym 2011r.

Miesiąc	Dekada	Brak nawożenia	Nawożenie organiczne	Brak nawożenia	Nawożenie organiczne
		1 rok uprawy	1 rok uprawy	2 rok uprawy	2 rok uprawy
maj	1	12,6	12,0	11,3	9,6
	2	12,2	10,9	15,4	15,1
	3	16,8	17,2	16,9	12,6
czerwiec	1	16,7	16,2	14,3	10,6
	2	15,3	15,0	12,6	9,3
	3	26,5	24,7	25,8	21,7
lipiec	1	19,8	17,0	17,8	14,8
	2	13,9	13,7	9,2	6,5
	3	17,8	17,7	13,5	10,6
sierpień	1	22,0	25,4	12,5	8,4
	2	19,6	20,1	10,2	8,1
	3	12,6	13,8	4,1	3,0

3.4. METODY OCENY POTRZEB WODNYCH SOSNY ZWYCZAJNEJ

3.4.1. Klimatyczny Bilans Wodny

W celu określenia potrzeb wodnych Sosny zwyczajnej wyznaczono klimatyczny bilans wodny w oparciu o cztery metody wyznaczania ubytku wody z rozpatrywanego obszaru badawczego. Trzy spośród nich tj. Szarowa, Hargreaves-a, Grabarczyka, bazują na wyznaczeniu ewapotranspiracji wskaźnikowej, a czwarta - metoda Drupki na określeniu dobowego zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu.

Klimatyczny bilans wodny (KBW) obliczano wg wzoru:

$$\mathbf{KBW = P - ET_o}$$

przy czym:
ET_o - ewapotranspiracja wskaźnikowa dla miesięcy okresu wegetacji (mm),
P - suma opadu dla miesięcy okresu wegetacji (mm) **(Łabędzki 2006).**

Do obliczeń wykorzystano wartości sum opadu zarejestrowanych poprzez automatyczną stację meteorologiczną w Białych Błotach po uprzednim usunięciu niemiarodajnych wartości dobowych wynoszących poniżej 2,5 mm **(Babiński, Białkiewicz 1999, Pierzgalski i in. 2002).** Wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczono dla każdego dnia w rozpatrywanym okresie i dokonano sumowania jej wartości w okresach dekadowych, po czym obliczono KBW dla dekadowych wartości opadów miarodajnych. Następnie policzono różnice pomiędzy potrzebami wodnymi, a ilościami wody dostarczonej do poletek zgodnie z wariantami nawadniania, dzięki czemu uzyskano bilans wodny obrazujący, w jakim stopniu nawadnianie zaspokoiło obliczone potrzeby.

W metodzie Szarowa ewapotranspirację wskaźnikową, nazywaną przez autora parowaniem terenowym obliczono wykorzystując współczynniki dotyczące powierzchni parującej zaproponowane przez Grabarczyka. Przyjmują one różne wartości w zależności od miesiąca, którego dotyczą obliczenia. Dla kwietnia przyjmują wartość 0,25, dla maja 0,24, czerwca 0,23, lipca 0,21, sierpnia 0,20, a dla września 0,19 **(Grabarczyk 1976).** Wartość parowania wyznaczono w oparciu o wzór:

$$\mathbf{ETp = \alpha \times \Sigma t,}$$

gdzie:
ETp - parowanie terenowe (mm),
α - współczynnik zależny od stanu powierzchni parującej (mm x $1°C^{-1}$),
Σt - średnia dobowa temperatura powietrza (°C) **(Grabarczyk 1989).**

Do wyznaczania ewapotranspiracji przy wykorzystaniu modelu Hargreaves-a niezbędne są wartości maksymalnej i minimalnej temperatury powietrza oraz dane dotyczące promieniowania słonecznego docierającego do atmosfery ziemi (odczytywane z tabel opracowanych przez autora metody) **(Treder i in. 2010).** Wartości ewapotranspiracji wyznaczono w oparciu o wzór:

$$ET_o = HC\ Ra\ (Tmax\ -\ Tmin)^{HE}\left(\frac{Tmax + Tmin}{2} + HT\right)$$

w którym:
HC - współczynnik empiryczny autora = 0,0023,
Ra - radiacja ponad atmosferą (mm dzień-1),
Tmax - temperatura maksymalna powietrza (ºC),
Tmin - temperatura minimalna powietrza (ºC),
HE - współczynnik empiryczny autora = 0,5,
HT - współczynnik empiryczny autora = 17,8 **(Treder i in. 2010).**

Ewapotranspirację metodą Hargreaves-a obliczono korzystając ze strony internetowej, obsługującej aplikację umożliwiającą wyznaczenie tego parametru. Aplikacja wymaga wprowadzenia lokalizacji terenu badań, daty oraz temperatury maksymalnej i minimalnej rozpatrywanego dnia i w oparciu o te dane dokonuje wyznaczenia wartości ETp **(Strona internetowa).**

Metoda zaproponowana przez Grabarczyka, umożliwia określenie wielkości ewapotranspiracji wskaźnikowej, zwanej przez autora potencjalnym parowaniem terenu na podstawie temperatury i niedosytu wilgotności powietrza, wg wzoru:

$$\mathbf{Ep = 0,32(\sum d + \frac{1}{3}\sum t)}$$

przy czym:
Ep - parowanie potencjalne,
d - średni dobowy niedosyt wilgotności powietrza (hPa),
T - średnia dobowa temperatura powietrza (°C) **(Grabarczyk 1976, Grabarczyk, Żarski 1986).**

Ewapotranspirację metodą Grabarczyka obliczono korzystając ze strony internetowej**,** na której po wprowadzeniu średniej temperatury dobowej i średniej dobowej wilgotności powietrza uzyskuje się wartości Ep **(Strona internetowa).**

W metodzie zaproponowanej przez Drupkę na podstawie średniej dobowej temperatury powietrza odczytano wartości dobowego zużycia wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu, korzystając z opracowanej przez autora tabeli **(Pierzgalski i in. 2002).**

3.4.2. Ewapotranspiracja rzeczywista

W oparciu o równanie ewapotranspiracji rzeczywistej uwzględniając fakt, iż rośliny Sosny zwyczajnej w uprawie rzędowej pokrywają jedynie określoną część powierzchni gleby, w obliczeniach ewapotranspiracji potencjalnej wprowadzono współczynnik redukcyjny wg wzoru:

$$\mathbf{ET_p = k_c \ x \ k_r \ x \ ET_o}$$

w którym:
Et_o - ewapotranspiracja wskaźnikowa w mm,
k_c - współczynnik roślinny,
k_r - współczynnik wykorzystania powierzchni przez rośliny **(Drupka 1986).**

W niniejszej pracy wykorzystano zalecane przez IMUZ i Bipromel wartości współczynnika k_r dla poszczególnych miesięcy, które zaproponowali Freeman i Garzoli (tab. 8) **(Vermeiren, Jobling 1980 za Drupką 1986)** na podstawie procentowego pokrycia powierzchni gleby przez rośliny (PP), wg zależności:

$$\mathbf{PP = 100 \ x \ \frac{f_k}{f_1}}$$

gdzie:
f_k - szerokość 1 mb rzędu roślin,
f_1 - rozstawa rzędów roślin **(Drupka 1986).**

Tabela 8. Wartości współczynnika redukcyjnego kr w zależności od stopnia pokrycia powierzchni przez roślinę

Pokrycie powierzchni gleby wyrażone w %	Wartości współczynnika kr, które opracowali Freeman i Garzoli
10	0,10
20	0,20
30	0,30
40	0,40
50	0,75
60	0,80
70	0,85
80	0,90
90	0,95
100	1

Ewapotranspirację rzeczywistą wyznaczono wykorzystując obliczoną wcześniej według metod Hargreaves-a i Grabarczyka ewapotranspirację wskaźnikową dla sezonu wegetacyjnego 2011 r. dla siewek w 1 i 2 roku uprawy. Na podstawie tak obliczonej ewapotranspiracji rzeczywistej, po uwzględnieniu sum

opadu określono potrzeby nawadniania sosny w okresie wegetacyjnym na poletkach nawożonych próchnicą i nienawożonych. Po skorelowaniu potrzeb z dawkami nawodnieniowymi określono prawidłowość stosowania nawodnień w okresach badawczych wyznaczając niedobory i nadmiary wody w poszczególnych okresach.

3.5. OCENA PARAMETRÓW BIOMETRYCZNYCH SIEWEK

Wartości pomierzonych parametrów dla cech biometrii siewek z poszczególnych pomiarów (4 terminy pomiarowe w każdym sezonie wegetacyjnym), posłużyły do wyznaczenia trendów i określenia dynamiki zmian poszczególnych parametrów podczas wzrostu siewek sosny w 1 i 2 roku uprawy. W wynikach ujęto dynamikę zmian cech biometrycznych siewek sosny w 1 i 2 roku uprawy w sezonach 2010-2011 według drugiego wariantu wodnego. Wybrano przykładowe lata badań, a wybór 2 wariantu wodnego podyktowany był najodpowiedniejszym zaopatrzeniem roślin w wodę przejawiającym się istotnym wpływem badanych parametrów wzrostowych siewek.

Dane dotyczące badanych cech biometrycznych, rocznych i 2 letnich siewek sosny, z pomiarów wykonywanych na końcu badawczych sezonów wegetacyjnych, opracowano wyznaczając średnie wartości tych parametrów dla poszczególnych poletek (12 roślin testowych z każdego wariantu doświadczenia). Uzyskane średnie poddano analizie statystycznej przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego ANALWAR wersja 5.1 udostępnionego przez prof. dr hab. inż. Franciszka Rudnickiego (Katedra Podstaw Produkcji Roślinnej i Doświadczalnictwa UTP w Bydgoszczy). Dane poddano analizie wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego wielokrotnego, dla układu losowanych bloków w modelu łączonych nieścisłości, przy wykorzystaniu testu Tukey'a, w przedziale ufności 95% (£ = 0,05).

W oparciu o ww. dane wyznaczono średnie wartości poszczególnych parametrów dla każdego wariantu doświadczenia (średnia wartość z 12 roślin testowych), które posłużyły do opracowania wykresów obrazujących tendencje i trendy parametrów wzrostowych roślin po 1 i 2 sezonie uprawy. Wartości charakteryzujące wysokość pędu nadziemnego i średnicę w szyi korzeniowej siewek Sosny zwyczajnej, po 1 i 2 sezonie uprawy, pozwoliły na przyporządkowanie siewek do poszczególnych klas jakościowych. Ocenę dla siewek uprawianych w warunkach nizinnych, nieszkółkowanych, w cyklu jednorocznym i dwuletnim z nasienia oparto na kryteriach obowiązujących Polskich norm do upraw leśnych i na plantacje **(PN-R-67025 1999).** Ponadto dokonano oceny wg kryteriów dla sadzonek sosny do zadrzewień i zakrzewień. W związku z tym, iż kryteria jakościowe dla tego typu przeznaczenia siewek nie obejmują okresu uprawy krótszego niż 3 letni w ocenie zastosowano kryteria dla roślin uprawianych w trzy letnim cyklu z nasienia, szkółkowanych po pierwszym roku **(PN-R-67026 2002).**

4. WYNIKI

4.1. WSPÓŁCZYNNIKI ROŚLINNE SOSNY ZWYCZAJNEJ

Uzyskane wartości współczynników roślinnych Sosny zwyczajnej różnią się w zależności od wieku sadzonek oraz zastosowanej metody obliczeniowej ewapotranspiracji wskaźnikowej (tab. 9). Zarówno w 1 jak i 2 sezonie uprawowym wyższe wartości współczynników uzyskano dla metody Grabarczyka. Najwyższe wartości współczynników roślinnych sosny w 1 roku uprawy dla ET_o obliczonej metodą Hargreaves-a uzyskano dla sierpnia i maja, odpowiednio 1,7 i 1,6 dla poletek nienawożonych oraz 1,6 dla nawożonych w obydwu miesiącach. W drugim roku uprawy najwyższe wartości uzyskano dla sierpnia i lipca, dla poletek nienawożonych odpowiednio 1,8 i 1,5 oraz dla nawożonych 1,7 i 1,5.

Tabela 9. Wartości współczynnika k_c dla 2 wariantu wodnego w 2011 roku.

Miesiąc	Nawożenie	I rok uprawy		II rok uprawy	
		Hargreaves	Grabarczyk	Hargreaves	Grabarczyk
Maj	Brak nawożenia	1,6	3,0	1,3	2,5
	Nawożenie	1,6	3,0	1,3	2,6
Czerwiec	Brak nawożenia	1,4	2,4	1,2	2,2
	Nawożenie	1,4	2,5	1,2	2,2
Lipiec	Brak nawożenia	1,5	2,1	1,5	2,2
	Nawożenie	1,4	2,1	1,5	2,2
Sierpień	Brak nawożenia	1,7	2,2	1,8	2,3
	Nawożenie	1,6	2,1	1,7	2,3

Współczynniki roślinne sosny w 1 roku uprawy obliczone przy wykorzystaniu równania Grabarczyka przyjęły najwyższe wartości w maju i czerwcu, gdzie dla roślin nienawożonych uzyskano odpowiednio wartości 3,0 i 2,4, a dla nawożonych 3,0 i 2,5. W 2 roku uprawy współczynniki o najwyższym walorze wyznaczono dla maja i sierpnia, odpowiednio dla braku nawożenia 2,5 i 2,3 natomiast dla warunków z zastosowaną próchnicą nadkładową 2,6 i 2,3.

4.2. POTRZEBY WODNE SOSNY ZWYCZAJNEJ WG KBW

Przebieg warunków meteorologicznych oraz nierównomierny rozkład opadów w badanych sezonach wegetacyjnych wpłynęły na zróżnicowanie potrzeb wodnych roślin w poszczególnych dekadach okresów badawczych. Spowodowało to wystąpienie zarówno niedoborów, jak i nadmiarów opadów w każdym z sezonów badawczych.

4.2.1. Metoda Szarowa

Największy niedobór opadów określony metodą Szarowa wystąpił w sezonie wegetacyjnym 2011 r. i wyniósł 384,2 mm, a najniższy w roku 2010 294,7 mm (tab. 10). Najwyższy łączny zsumowany dekadowo nadmiar opadów 178,6 mm cechował sezon roku 2010, a najniższy 15,8 mm wystąpił w 2011.

Tabela 10. Potrzeby nawadniania w mm obliczone na podstawie metody Szarowa

Miesiąc	Dekada	2010	2011	2012
Kwiecień	1	2,8	-12,5	-4,1
	2	-22,9	-16,4	-19,9
	3	-9,4	-34,5	-30,5
Maj	1	-10,3	-20,3	-31,4
	2	32,7	-4,0	-14,1
	3	-13,5	-42,0	-46,0
Czerwiec	1	-34,7	-36,1	-25,1
	2	-27,2	-21,7	64,7
	3	-43,2	-12,3	89,1
Lipiec	1	-42,3	-10,8	-7,9
	2	-50,0	15,8	-23,8
	3	47,3	-16,2	-10,0
Sierpień	1	51,7	-33,1	-4,2
	2	-35,7	-29,3	-37,4
	3	26,4	-28,8	-41,3
Wrzesień	1	-4,4	-21,6	-23,9
	2	-1,1	-18,2	-24,0
	3	17,7	-26,4	-23,1
Suma deficytu:		-294,7	-384,2	-366,7
Suma nadmiaru:		178,6	15,8	153,8

Największa liczba dekad deficytowych w opady (17) charakteryzowała rok 2011, mniejsza (16) rok 2011, a najmniejsza (12) rok 2010. Najwięcej (6) dekad o nadmiernej ilości opadów posiadał 2010 r., następnie (2) sezon 2012 a najmniej (1) sezon 2011. Łącznie w latach badań wydzielono 45 dekad deficytowych, co stanowi 83,3% wszystkich badanych dekad (54) i 9 z nadwyżką opadów

(16,7%). Rozkład nadmiarów i niedoborów obejmował różne wartości, przy czym najwyższa wartość deficytu wystąpiła w 2 dekadzie lipca 2010 i wyniosła 50 mm. Dekadą o najwyższym nadmiarze opadu 89,1 mm okazała się 3 dekada czerwca 2012. Przeważająca liczba okresów z niedoborem opadów przedstawia potrzebę stosowania nawodnień uzupełniających w szkółkach leśnych.

Po uwzględnieniu dawek nawodnieniowych zastosowanych w doświadczeniach polowych zauważono, iż zapotrzebowanie na wodę nie zostało zaspokojone we wszystkich dekadach rozpatrywanych okresów wegetacyjnych. Dwie pierwsze dekady kwietnia ze względu na brak nawodnień w 1 roku uprawy, spowodowany wysiewem nasion w 3 dekadzie tego miesiąca w wielu przypadkach posiadają wartości deficytowe.

W sezonie 2010, w 1 roku uprawy, pomimo nawadniania wystąpił deficyt wody w 2 dekadzie kwietnia i 1 września we wszystkich wariantach nawadniania, 2 sierpnia w 2 wariancie wodnym (W2) oraz 3 kwietnia, 1 i 3 maja, 1 czerwca, 1 i 2 lipca w wariancie 1 (tab. 11). Jednakże za deficytowe należy uznać jedynie ujemne wartości z 2 i 3 dekady kwietnia, 1 maja i 2 lipca, a pozostałe dekady z ujemnymi wartościami ze względu na nadwyżki w okresach bezpośrednio je poprzedzających należy traktować jak odpowiednio zasobne w wodę.

Tabela 11. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2010 obliczony metodą Szarowa

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	2,8	2,8	2,8	2,8
	2	-21,7	-22,0	-22,3	-22,6
	3	27,8	18,5	9,2	-0,1
Maj	1	15,7	9,2	2,7	-3,8
	2	32,7	32,7	32,7	32,7
	3	16,1	8,7	1,3	-6,1
Czerwiec	1	58,5	35,2	11,9	-11,4
	2	87,2	58,6	30,0	1,4
	3	137,2	92,1	47,0	1,9
Lipiec	1	121,3	80,4	39,5	-1,4
	2	118,4	76,3	34,2	-7,9
	3	47,3	47,3	47,3	47,3
Sierpień	1	51,7	51,7	51,7	51,7
	2	12,3	0,3	-11,7	-23,7
	3	26,4	26,4	26,4	26,4
Wrzesień	1	-4,4	-4,4	-4,4	-4,4
	2	8,5	6,1	3,7	1,3
	3	17,7	17,7	17,7	17,7
Suma deficytu:		-26,1	-26,4	-38,4	-81,4
Suma nadmiaru:		781,6	564	358,1	183,2

Suma niedoborów wyznaczonych metodą Szarowa z wszystkich wariantów wyniosła 172,3 mm, a po uwzględnieniu zapasów wody z poprzednich dekad jedynie 100,4 mm. Rozpatrując dostępność wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach najbardziej istotnych dla rozwoju sosny tj. maj-sierpień niedobory, obliczone wg Szarowa uwzględniające zapasy wyniosły zaledwie 23,1 mm. Wobec powyższego należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2010 w 1 roku uprawy w pełni zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Szarowa we wszystkich wariantach z wyjątkiem W1.

W sezonie 2011, w 1 roku uprawy, za deficytowe w wodę uznano 1 dekadę kwietnia, 1 i 3 lipca, 1, 2, 3 września we wszystkich wariantach wodnych, 2 kwietnia w 3 wariantach (W1, W2, W3) oraz 3 kwietnia i maja, 1-3 czerwca i sierpnia (tab. 12). Pierwszą i 3 dekadę lipca dla wszystkich wariantów, 1 i 2 września dla dwóch wariantów (W3 i W4) należy traktować jako nie deficytowe ze względu na zapasy wody z poprzednich okresów, które były nadmiernie zaopatrzone w wodę. Rozpatrując deficyty września należy zwrócić uwagę na fakt, iż w tym miesiącu ograniczono nawadnianie w celu przygotowania sadzonek do spoczynku zimowego.

Tabela 12. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Szarowa

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
	2	0,4	-3,8	-8,0	-12,2
	3	57,9	34,8	11,7	-11,4
Maj	1	84,9	58,6	32,3	6,0
	2	48,4	35,3	22,2	9,1
	3	58,0	33,0	8,0	-17,0
Czerwiec	1	82,3	52,7	23,1	-6,5
	2	58,3	38,3	18,3	-1,7
	3	25,3	15,9	6,5	-2,9
Lipiec	1	-3,2	-5,1	-7,0	-8,9
	2	20,2	19,1	18,0	16,9
	3	-1,4	-5,1	-8,8	-12,5
Sierpień	1	55,7	33,5	11,3	-10,9
	2	40,3	22,9	5,5	-11,9
	3	43,6	25,5	7,4	-10,7
Wrzesień	1	-5,6	-9,6	-13,6	-17,6
	2	-18,2	-18,2	-18,2	-18,2
	3	-13,6	-16,8	-20,0	-23,2
Suma deficytu:		-54,5	-71,1	-88,1	-178,1
Suma nadmiaru:		575,3	369,6	164,3	32

Łączna wartość deficytów wyznaczonych metodą Szarowa z wszystkich wariantów wyniosła 391,8 mm, a po uwzględnieniu zapasów wody z poprzednich okresów wyniosła 340,5 mm. Rozpatrując zasobność w wodę po zastosowaniu nawadniania w miesiącach najbardziej istotnych dla sosny tj. maj-sierpień niedobory, wg Szarowa uwzględniające zapasy wyniosły zaledwie 70,5 mm. Wobec powyższego należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2011 w 1 roku uprawy zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Szarowa we wszystkich wariantach wodnych z wyjątkiem pierwszego (W1).

W sezonie 2011, w 2 roku uprawy, niedoborem wody cechowały się 1 i 2 dekada kwietnia, 3 lipca, 2 i 3 września we wszystkich wariantach nawodnieniowych, 1 lipca i 1 września dla 2 wariantów (W1, W2) oraz dla wszystkich dekad z wyjątkiem 2 maja i 2 lipca w wariancie 1 (tab. 13). Deficyty 3 dekady lipca (W1-W4), 1 lipca i 1 września (W2) należy uznać za odpowiednio zaopatrzone w wodę ze względu na nadwyżki występujące w poprzedzających je dekadach. Suma deficytów wyznaczonych metodą Szarowa z wszystkich wariantów wyniosła 389,2 mm, a po uwzględnieniu nadmiarów wody z poprzednich okresów 339,8 mm.

Tabela 13. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Szarowa

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-12,5	-12,5	-12,5	-12,5
	2	-6,4	-8,9	-11,4	-13,9
	3	84,7	54,9	25,1	-4,7
Maj	1	41,3	25,9	10,5	-4,9
	2	12,8	8,6	4,4	0,2
	3	83,6	52,2	20,8	-10,6
Czerwiec	1	86,3	55,7	25,1	-5,5
	2	27,5	15,2	2,9	-9,4
	3	21,7	13,2	4,7	-3,8
Lipiec	1	6,8	2,4	-2,0	-6,4
	2	15,8	15,8	15,8	15,8
	3	-9,0	-10,8	-12,6	-14,4
Sierpień	1	53,3	31,7	10,1	-11,5
	2	58,7	36,7	14,7	-7,3
	3	32,0	16,8	1,6	-13,6
Wrzesień	1	20,4	9,9	-0,6	-11,1
	2	-18,2	-18,2	-18,2	-18,2
	3	-19,2	-21,0	-22,8	-24,6
Suma deficytu:		-65,3	-71,4	-80,1	-172,4
Suma nadmiaru:		544,9	339	135,7	16

Podsumowując dostępność wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach istotnych dla sosny (maj-sierpień) niedobory, wg Szarowa uwzględniające zapasy osiągnęły wartość 73 mm. Wobec powyższego należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2011 w 2 roku uprawy zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Szarowa we wszystkich wariantach wodnych z wyjątkiem pierwszego (W1).

W sezonie 2012, w 2 roku uprawy, określono 3 deficytowe okresy wszystkich wariantów wodnych, były to 1 dekada sierpnia, 2 i 3 września. Ponadto dla 2 wariantu (W2) 1 dekada września była deficytowa, a pierwszego wariantu wodnego (W1) jedynie 3 dekady nie okazały się niedoborowe (tab. 14). Były to 2 maja, oraz 2 i 3 czerwca. Niedobory w wariancie 3 i 4 (W3 i W4) 1 dekady sierpnia oraz 2 września (W4) zostały pokryte zapasami z poprzednich okresów. Podobna sytuacja miała miejsce w 1 dekadzie września (W2) oraz 1 i 2 lipca (W1). Łączna wartość niedoborów wyznaczonych metodą Szarowa z wszystkich wariantów wyniosła 256,3 mm, a po uwzględnieniu nadwyżek wody z poprzednich dekad wyniosła 222,6 mm.

Tabela 14. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2012 obliczony metodą Szarowa

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	5,5	3,1	0,7	-1,7
	2	52,5	34,4	16,3	-1,8
	3	45,1	26,2	7,3	-11,6
Maj	1	79,4	51,7	24,0	-3,7
	2	51,5	35,1	18,7	2,3
	3	107,6	69,2	30,8	-7,6
Czerwiec	1	59,3	38,2	17,1	-4,0
	2	64,7	64,7	64,7	64,7
	3	89,1	89,1	89,1	89,1
Lipiec	1	18,1	11,6	5,1	-1,4
	2	41,0	24,8	8,6	-7,6
	3	12,4	6,8	1,2	-4,4
Sierpień	1	-4,2	-4,2	-4,2	-4,2
	2	75,8	47,5	19,2	-9,1
	3	79,9	49,6	19,3	-11,0
Wrzesień	1	12,9	3,7	-5,5	-14,7
	2	-10,8	-14,1	-17,4	-20,7
	3	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
Suma deficytu:		-38,1	-41,4	-50,2	-126,6
Suma nadmiaru:		794,8	555,7	322,1	156,1

Analizując zasobność wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach istotnych dla uprawy szkółkarskiej sosny (maj-sierpień) niedobory, wg Szarowa

uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających okresy deficytowe osiągnęły 71,9 mm. Wobec powyższego należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2012 w 2 roku uprawy zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Szarowa we wszystkich wariantach wodnych z wyjątkiem pierwszego (W1).

4.2.2. Równanie Hargreaves-a

Najwyższą wartością niedoboru opadów charakteryzował się sezon wegetacyjny roku 2012 (279,9 mm), a najniższą sezon 2010 r. (247,6 mm) (tab. 15). Suma nadmiaru opadów dekadowych przyjęła najwyższą wartość w roku 2010 i wyniosła 240,8 mm, a najniższą 23,9 mm w 2011 r. Metoda Hargreaves-a pozwoliła na wyodrębnienie 16 dekad deficytowych w opady w 2011 r., 14 w 2012 i najmniej 10 w 2010 r. Jednocześnie wyznaczono 8 dekad w 2010 r., 4 w 2012 i 2 w 2011 r. o nadmiernej ilości opadów w sezonie. W trakcie badań analizowano 54 dekady okresu wegetacji, 40 spośród nich zakwalifikowano jako deficytowe w opady, co stanowi 74,1%. Dekadami o najwyższej wartości deficytu dla tego parametru okazały się 2 dekada lipca 2010 (41,7 mm) i 3 maja 2012 (41,6 mm). Jednocześnie najwyższą wartość nadmiaru opadu przyjęła 3 dekada czerwca 2012 r. osiągając 96,4 mm.

Tabela 15. Potrzeby nawadniania w mm obliczone na podstawie metody Hargreaves-a

Miesiąc	Dekada	2010	2011	2012
Kwiecień	1	3,6	-3,8	-6,9
	2	-22,6	-14,6	-17,2
	3	-9,0	-28,5	-24,1
Maj	1	-4,7	-24,8	-27,0
	2	40,2	2,0	-12,4
	3	-9,8	-37,9	-41,6
Czerwiec	1	-29,5	-29,3	-24,1
	2	-25,1	-18,1	70,3
	3	-41,2	-8,0	96,4
Lipiec	1	-40,2	-4,1	0,2
	2	-41,7	21,9	-20,2
	3	58,9	-2,7	-3,7
Sierpień	1	61,3	-26,3	1,8
	2	-23,8	-20,9	-29,6
	3	38,2	-17,1	-29,6
Wrzesień	1	1,8	-12,9	-15,4
	2	7,6	-5,7	-13,6
	3	29,2	-17,3	-14,5
Suma deficytu:		-247,6	-272,0	-279,9
Suma nadmiaru:		240,8	23,9	168,7

Po uwzględnieniu nawadniania w sezonie 2010, w 1 roku uprawy, niedobory wody cechowały 2 dekadę kwietnia dla wszystkich poziomów nawadniania oraz dla 1 wariantu wodnego 3 dekadę maja, 1 czerwca i 2 sierpnia (tab. 16). Nadwyżki wody dla okresów bezpośrednio poprzedzających 3 dekadę maja, 1 czerwca i 2 sierpnia zapewniły odpowiednią dostępność wody pomimo wyliczonych ujemnych wartości. Suma deficytów wyznaczonych metodą Hargreaves-a dla wszystkich wariantów wyniosła 107,8 mm, a po uwzględnieniu nadwyżek wody z poprzednich dekad wyniosła 87,4 mm. Rozpatrując zasobność w wodę po zastosowaniu nawadniania w miesiącach maj-sierpień (istotnych dla uprawy szkółkarskiej sosny) niedobory, wg Hargreaves-a uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających okresy deficytowe osiągnęły zaledwie 6,2 mm. Wobec powyższego należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2010 w 1 roku uprawy w pełni zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Hargreaves-a we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 16. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2010 obliczony metodą Hargreaves-a

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	3,6	3,6	3,6	3,6
	2	-21,4	-21,7	-22,0	-22,3
	3	28,2	18,9	9,6	0,3
Maj	1	21,3	14,8	8,3	1,8
	2	40,2	40,2	40,2	40,2
	3	19,8	12,4	5,0	-2,4
Czerwiec	1	63,7	40,4	17,1	-6,2
	2	89,3	60,7	32,1	3,5
	3	139,2	94,1	49,0	3,9
Lipiec	1	123,4	82,5	41,6	0,7
	2	126,7	84,6	42,5	0,4
	3	58,9	58,9	58,9	58,9
Sierpień	1	61,3	61,3	61,3	61,3
	2	24,2	12,2	0,2	-11,8
	3	38,2	38,2	38,2	38,2
Wrzesień	1	1,8	1,8	1,8	1,8
	2	17,2	14,8	12,4	10,0
	3	29,2	29,2	29,2	29,2
Suma deficytu:		-21,4	-21,7	-22	-42,7
Suma nadmiaru:		886,2	668,6	451	253,8

W sezonie wegetacyjnym 2011 roku, w 1 roku uprawy, 1 dekada kwietnia, 2 i 3 września (W1-W4), 2 kwietnia i 1 września (W1-W3), 1 lipca (W1, W2) oraz 3 maja 1 i 2 sierpnia (W1) charakteryzowały się deficytowymi zasobami wodnymi (tab. 17). Należy uwzględnić fakt, iż okresy września nawadniano

w sposób ograniczony, aby przygotować siewki do spoczynku zimowego i zapobiec nadmiernemu ich wzrostowi. Ponadto potrzeby wodne dekad 3 maja (W1), 1 lipca (W2), 1 września (W2, W3) należy uznać za zaspokojone, ponieważ okresy je poprzedzające cechowały się nadwyżkami wody pokrywającymi obliczone niedobory. Łączna wartość deficytów wyznaczonych metodą Hargreaves-a z wszystkich wariantów wyniosła 136,9 mm, a po uwzględnieniu nadwyżek wyniosła 117,9 mm. Określając dostępność wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach maj-sierpień niedobory, wg Hargreaves-a, po uwzględnieniu nadmiarów w dekadach poprzedzających okresy deficytowe wyniosły zaledwie 9,8 mm. W związku z powyższym należy stwierdzić, iż nawadnianie w sezonie 2011 w 1 roku uprawy w pełni pokryło potrzeby wodne obliczone metodą Hargreaves-a we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 17. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Hargreaves-a

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8
	2	2,2	-2,0	-6,2	-10,4
	3	63,9	40,8	17,7	-5,4
Maj	1	80,4	54,1	27,8	1,5
	2	54,4	41,3	28,2	15,1
	3	62,1	37,1	12,1	-12,9
Czerwiec	1	89,1	59,5	29,9	0,3
	2	61,9	41,9	21,9	1,9
	3	29,6	20,2	10,8	1,4
Lipiec	1	3,5	1,6	-0,3	-2,2
	2	26,3	25,2	24,1	23,0
	3	12,1	8,4	4,7	1,0
Sierpień	1	62,5	40,3	18,1	-4,1
	2	48,7	31,3	13,9	-3,5
	3	55,3	37,2	19,1	1,0
Wrzesień	1	3,1	-0,9	-4,9	-8,9
	2	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7
	3	-4,5	-7,7	-10,9	-14,1
Suma deficytu:		-14	-20,1	-31,8	-71
Suma nadmiaru:		655,1	438,9	228,3	45,2

W sezonie 2011, w 2 roku uprawy, niedobory wody przypadały na 1 i 2 dekadę kwietnia, 2 i 3 września we wszystkich poziomach wodnych (W1-W4), a także w 1, 3 maja, 2 czerwca, 3 lipca, 1 i 3 sierpnia oraz 1 września w pierwszym wariancie (tab. 18). Jednakże niedobory 3 dekady lipca (W1) i 1 sierpnia (W1), 2 i 3 września (W3-W4), 2 września (W2) należy uznać za niebyłe zważywszy na znaczne nadwyżki wody w okresach je poprzedzających. Suma deficytów okre-

ślonych metodą Hargreaves-a dla wszystkich wariantów wyniosła 154,2 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek okresów poprzedzających wyniosła 109,5 mm. Analiza zasobności wodnej po zastosowaniu nawadniania w okresie maj-sierpień (istotnych dla uprawy sosny), wg Hargreaves-a uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających okresy deficytowe osiągnęły zaledwie 23,6 mm. Należy zatem stwierdzić, że nawadnianie w sezonie 2011 w 2 roku uprawy w pełni zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Hargreaves-a we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 18. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Hargreaves-a

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-3,8	-3,8	-3,8	-3,8
	2	-4,6	-7,1	-9,6	-12,1
	3	90,7	60,9	31,1	1,3
Maj	1	36,8	21,4	6,0	-9,4
	2	18,8	14,6	10,4	6,2
	3	87,7	56,3	24,9	-6,5
Czerwiec	1	93,1	62,5	31,9	1,3
	2	31,1	18,8	6,5	-5,8
	3	26,0	17,5	9,0	0,5
Lipiec	1	13,5	9,1	4,7	0,3
	2	21,9	21,9	21,9	21,9
	3	4,5	2,7	0,9	-0,9
Sierpień	1	60,1	38,5	16,9	-4,7
	2	67,1	45,1	23,1	1,1
	3	43,7	28,5	13,3	-1,9
Wrzesień	1	29,1	18,6	8,1	-2,4
	2	-5,7	-5,7	-5,7	-5,7
	3	-10,1	-11,9	-13,7	-15,5
Suma deficytu:		-24,2	-28,5	-32,8	-68,7
Suma nadmiaru:		624,1	416,4	208,7	32,6

Sezon wegetacyjny 2012, w 2 roku uprawy, po zastosowaniu nawadniania cechował się niedoborem wody w 2 i 3 dekadzie września we wszystkich wariantach wodnych, 1 kwietnia w pierwszym i drugim wariancie (tab. 19). W ramach pierwszego wariantu nawodnieniowego niedobory wystąpiły w 3 dekadzie kwietnia, 3 maja, 1 czerwca, 2 lipca, 2 sierpnia oraz 1 września. Spośród okresów niedoborowych 3 dekadę maja (W1), 2 lipca i 2 sierpnia (W1) oraz 2 września (W3 i W4) należy traktować jak odpowiednio zaopatrzone w wodę ze względu na nadwyżki w okresach je poprzedzających. Suma deficytów określonych metodą Hargreaves-a dla wszystkich wariantów wyniosła 108,9 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek okresów poprzedzających wyniosła 96,3 mm. Niedobory

wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach maj-sierpień (najistotniejszych dla sosny), wg Hargreaves-a uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających deficytowe wyniosły jedynie 9,2 mm. Powyższe pozwala zauważyć, że nawadnianie w sezonie 2012 w 2 roku uprawy w pełni pokryło zapotrzebowanie wodne obliczone metodą Hargreaves-a we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 19. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2012 obliczony metodą Hargreaves-a

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	2,7	0,3	-2,1	-4,5
	2	55,2	37,1	19,0	0,9
	3	51,5	32,6	13,7	-5,2
Maj	1	83,8	56,1	28,4	0,7
	2	53,2	36,8	20,4	4,0
	3	112,0	73,6	35,2	-3,2
Czerwiec	1	60,3	39,2	18,1	-3,0
	2	70,3	70,3	70,3	70,3
	3	96,4	96,4	96,4	96,4
Lipiec	1	26,2	19,7	13,2	6,7
	2	44,6	28,4	12,2	-4,0
	3	18,7	13,1	7,5	1,9
Sierpień	1	1,8	1,8	1,8	1,8
	2	83,6	55,3	27,0	-1,3
	3	91,6	61,3	31,0	0,7
Wrzesień	1	21,4	12,2	3,0	-6,2
	2	-0,4	-3,7	-7,0	-10,3
	3	-14,5	-14,5	-14,5	-14,5
Suma deficytu:		-14,9	-18,2	-23,6	-52,2
Suma nadmiaru:		873,3	634,2	397,2	183,4

4.2.3. Zależność Grabarczyka

Sezonem wegetacyjnym o najwyższym niedoborze opadów 156,3 mm okazał się sezon roku 2012, a najniższy niedobór 130,2 mm odnotowano dla roku 2010 (tab. 20). Najwyższą wartością zsumowanego dekadowo nadmiaru opadów 294 mm cechował się sezon roku 2010, a najniższą 70,9 mm sezon 2011. W sezonach wegetacyjnych 2011, 2012, 2010 wydzielono odpowiednio 12, 11 i 7 dekad deficytowych w opady. Jednakże w latach 2010, 2011, 2012 określono odpowiednio 11, 7 i 6 dekad o nadmiarze opadu. Do deficytowych łącznie w okresach badań zakwalifikowano 30 dekad, co stanowi 55,6%. Najwyższą war-

tość deficytu (27,4 mm) wyznaczono dla 2 dekady lipca 2010 r., a najwyższą wartość dla nadmiaru (109,8 mm) określono dla 3 dekady czerwca 2012r.

Tabela 20. Potrzeby nawadniania w mm obliczone na podstawie metody Grabarczyka

Miesiąc	Dekada	2010	2011	2012
Kwiecień	1	12,1	1,2	1,9
	2	-11,6	-3,7	-8,0
	3	4,0	-15,4	-9,7
Maj	1	2,3	-8,4	-12,3
	2	48,2	16,3	1,9
	3	6,5	-19,0	-23,4
Czerwiec	1	-16,2	-12,5	-8,8
	2	-13,3	-1,0	84,7
	3	-22,0	9,3	109,8
Lipiec	1	-21,6	6,5	12,8
	2	-27,4	34,8	-8,1
	3	68,1	2,8	11,1
Sierpień	1	68,9	-17,5	11,9
	2	-18,1	-14,0	-22,4
	3	42,3	-11,6	-24,3
Wrzesień	1	5,2	-10,4	-12,2
	2	8,6	-6,1	-12,9
	3	27,8	-16,8	-14,2
Suma deficytu:		-130,2	-136,4	-156,3
Suma nadmiaru:		294,0	70,9	234,1

W sezonie wegetacyjnym roku 2010, w 1 roku uprawy, w 2 dekadzie kwietnia we wszystkich wariantach nawodnieniowych oraz 2 sierpnia w 1 wariancie wystąpiły deficyty wodne (tab. 21). Jednakże wymienione okresy deficytowe, ze względu na znaczący nadmiar wody w dekadach bezpośrednio je poprzedzających, należy uznać za odpowiednio zaopatrzone w wodę. Pozostałe okresy tego sezonu wegetacyjnego charakteryzowały się odpowiednim zaopatrzeniem w wodę. Suma niedoborów określonych metodą Grabarczyka dla wszystkich wariantów nawadniania wyniosła 49,5 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek okresów poprzedzających brak niedoborów. Rozpatrując zastosowanie nawadniania w okresie maj-sierpień, dla obliczeń wg metody Grabarczyka uwzględniających nadmiary w dekadach poprzedzających okresy deficytowe nie uzyskano wartości deficytowych. Powyższe obrazuje, iż nawadnianie w sezonie 2010 w 1 roku uprawy w pełnym zakresie zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Grabarczyka we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 21. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2010 obliczony metodą Grabarczyka

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	12,1	12,1	12,1	12,1
	2	-10,4	-10,7	-11,0	-11,3
	3	41,2	31,9	22,6	13,3
Maj	1	28,3	21,8	15,3	8,8
	2	48,2	48,2	48,2	48,2
	3	36,1	28,7	21,3	13,9
Czerwiec	1	77,0	53,7	30,4	7,1
	2	101,1	72,5	43,9	15,3
	3	158,4	113,3	68,2	23,1
Lipiec	1	142,0	101,1	60,2	19,3
	2	141,0	98,9	56,8	14,7
	3	68,1	68,1	68,1	68,1
Sierpień	1	68,9	68,9	68,9	68,9
	2	29,9	17,9	5,9	-6,1
	3	42,3	42,3	42,3	42,3
Wrzesień	1	5,2	5,2	5,2	5,2
	2	18,2	15,8	13,4	11,0
	3	27,8	27,8	27,8	27,8
Suma deficytu:		-10,4	-10,7	-11	-17,4
Suma nadmiaru:		1045,8	828,2	610,6	399,1

Sezon wegetacyjny roku 2011, w 1 roku uprawy, charakteryzował się dwiema dekadami deficytowymi we wszystkich wariantach wodnych i jedną w 1 i 2 wariancie (W1 i W2)(tab. 22). Były to odpowiednio 2 i 3 dekada września oraz 1 września. W analizie wartości zaspokojenia potrzeb wodnych po zastosowanym nawadnianiu należy uwzględnić fakt ograniczonego stosowania nawodnień we wrześniu ze względu na konieczność przygotowania siewek do spoczynku zimowego. Ponadto niedobory 1 dekady września (W1, W2) należy uznać za zaspokojone poprzez nadwyżki z 3 dekady sierpnia. Wartość deficytów określonych metodą Grabarczyka dla wszystkich wariantów nawadniania wyniosła 68,4 mm, a po uwzględnieniu nadwyżek okresów poprzedzających 59,6 mm. W okresie najistotniejszym dla rozwoju siewek sosny tj. maj-sierpień po zastosowaniu nawadniania nie uzyskano wartości deficytowych dla dostępności w wodę, co obrazuje, iż nawadnianie w sezonie 2011 w 1 roku uprawy w pełnym zakresie zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Grabarczyka.

Tabela 22. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Grabarczyka

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	1,2	1,2	1,2	1,2
	2	13,1	8,9	4,7	0,5
	3	77,0	53,9	30,8	7,7
Maj	1	96,8	70,5	44,2	17,9
	2	68,7	55,6	42,5	29,4
	3	81,0	56,0	31,0	6,0
Czerwiec	1	105,9	76,3	46,7	17,1
	2	79,0	59,0	39,0	19,0
	3	46,9	37,5	28,1	18,7
Lipiec	1	14,1	12,2	10,3	8,4
	2	39,2	38,1	37,0	35,9
	3	17,6	13,9	10,2	6,5
Sierpień	1	71,3	49,1	26,9	4,7
	2	55,6	38,2	20,8	3,4
	3	60,8	42,7	24,6	6,5
Wrzesień	1	5,6	1,6	-2,4	-6,4
	2	-6,1	-6,1	-6,1	-6,1
	3	-4,0	-7,2	-10,4	-13,6
Suma deficytu:		-10,1	-13,3	-18,9	-26,1
Suma nadmiaru:		833,8	614,7	398	182,9

W sezonie wegetacyjnym 2011, w 2 roku uprawy, wystąpiły 2 dekady deficytowe we wszystkich wariantach i 1 w pierwszym wariancie wodnym (tab. 23). Były to odpowiednio 2 i 3 dekada września oraz 2 kwietnia. Po zweryfikowaniu nadwyżek wody w dekadach poprzedzających okresy deficytowe tj. 2 dekadę kwietnia (W1) i 2 września (W2, W3, W4) należy zakwalifikować do odpowiednio zasobnych pomimo wartości ujemnych. Suma deficytów określonych na podstawie równania Grabarczyka dla wszystkich wariantów nawadniania przyjęła wartość 74,8 mm, a po uwzględnieniu nadwyżek z okresów poprzedzających 55,3 mm. W okresie największego zapotrzebowania w wodę siewek sosny (maj-sierpień) po zastosowaniu nawadniania nie uzyskano wartości deficytowych dla zasobności w wodę, co pozwala stwierdzić, że nawadnianie w sezonie 2011 w 2 roku uprawy w pełnym stopniu pokryło potrzeby wodne obliczone metodą Grabarczyka.

Tabela 23. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Grabarczyka

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	1,2	1,2	1,2	1,2
	2	6,3	3,8	1,3	-1,2
	3	103,8	74,0	44,2	14,4
Maj	1	53,2	37,8	22,4	7,0
	2	33,1	28,9	24,7	20,5
	3	106,6	75,2	43,8	12,4
Czerwiec	1	109,9	79,3	48,7	18,1
	2	48,2	35,9	23,6	11,3
	3	43,3	34,8	26,3	17,8
Lipiec	1	24,1	19,7	15,3	10,9
	2	34,8	34,8	34,8	34,8
	3	10,0	8,2	6,4	4,6
Sierpień	1	68,9	47,3	25,7	4,1
	2	74,0	52,0	30,0	8,0
	3	49,2	34,0	18,8	3,6
Wrzesień	1	31,6	21,1	10,6	0,1
	2	-6,1	-6,1	-6,1	-6,1
	3	-9,6	-11,4	-13,2	-15,0
Suma deficytu:		-15,7	-17,5	-19,3	-22,3
Suma nadmiaru:		798,2	588	377,8	168,8

W 2012 roku, w 2 roku uprawy, wystąpiły niedobory (tab. 24) w 3 dekadzie września (W1-W4), w 2 września (W1-W3) oraz 1 września (W1). Potrzeby 2 dekady września (W3 i W2) oraz 1 września (W1) należy uznać za zaspokojone ze względu na spore nadwyżki wody, które wystąpiły w poprzedzających je dekadach. Ponadto należy zauważyć, że zgodnie z dobrą praktyką szkółkarską, we wrześniu stosowano ograniczone nawadnianie, aby przygotować rośliny do spoczynku zimowego. Suma niedoborów określonych metodą Grabarczyka dla wszystkich wariantów wodnych wyniosła 78,7 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek okresów 66,4 mm. W miesiącach maj-sierpień po zastosowaniu nawadniania nie uzyskano wartości deficytowych dla zasobności w wodę, co potwierdza, że nawadnianie w sezonie 2012 w 2 roku uprawy w pełni zaspokoiło potrzeby wodne obliczone metodą Grabarczyka.

Tabela 24. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2012 obliczony metodą Grabarczyka

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	11,5	9,1	6,7	4,3
	2	64,4	46,3	28,2	10,1
	3	65,9	47,0	28,1	9,2
Maj	1	98,5	70,8	43,1	15,4
	2	67,5	51,1	34,7	18,3
	3	130,2	91,8	53,4	15,0
Czerwiec	1	75,6	54,5	33,4	12,3
	2	84,7	84,7	84,7	84,7
	3	109,8	109,8	109,8	109,8
Lipiec	1	38,8	32,3	25,8	19,3
	2	56,7	40,5	24,3	8,1
	3	33,5	27,9	22,3	16,7
Sierpień	1	11,9	11,9	11,9	11,9
	2	90,8	62,5	34,2	5,9
	3	96,9	66,6	36,3	6,0
Wrzesień	1	24,6	15,4	6,2	-3,0
	2	0,3	-3,0	-6,3	-9,6
	3	-14,2	-14,2	-14,2	-14,2
Suma deficytu:		-14,2	-17,2	-20,5	-26,8
Suma nadmiaru:		1061,6	822,2	583,1	347

4.2.4. Sposób Drupki

Najwyższa suma niedoborów opadów cechowała sezon wegetacyjny roku 2011 i wynosiła 246,8 mm, a najniższa 182,4 mm sezonu 2010 r. (tab. 25). Najwyższą wartość sumowanego dekadowo nadmiaru opadu w sezonie wynoszącą 228,6 mm cechował się rok 2010, a najniższą 19,9 mm rok 2011. W sezonach 2011, 2012 i 2010 wystąpiło odpowiednio 16, 14, 9 dekad deficytowych i 2, 4, 9 dekad cechujących się nadmiarem opadowym. Łączna liczba dekad cechujących się deficytową ilością opadu wyniosła 39, co stanowi 72,2% wszystkich analizowanych dekad. Najwyższe wartości deficytu 36,6 i 36 mm odnotowano w 3 dekadzie sierpnia 2012 i 3 dekadzie czerwca 2010. Najwyższą wartość nadmiaru opadu 95,7 mm wyznaczono dla 3 dekady czerwca 2012 r.

Tabela 25. Potrzeby nawadniania w mm obliczone metodą Drupki

Miesiąc	Dekada	2010	2011	2012
Kwiecień	1	13,0	-3,6	5,6
	2	-12,4	-6,4	-9,5
	3	2,2	-23,3	-7,6
Maj	1	-4,4	-12,5	-17,4
	2	36,1	4,2	-5,7
	3	-6,1	-24,7	-35,2
Czerwiec	1	-27,9	-23,4	-6,4
	2	-21,0	-14,4	74,1
	3	-36,0	-4,8	95,7
Lipiec	1	-31,2	-11,6	-4,1
	2	-10,0	15,7	-24,2
	3	59,5	-16,1	5,7
Sierpień	1	56,4	-28,9	-1,1
	2	-33,4	-24,5	-33,6
	3	30,5	-19,6	-36,6
Wrzesień	1	1,6	-9,9	-15,3
	2	5,1	-3,2	-13,7
	3	24,2	-19,9	-17,2
Suma deficytu:		-182,4	-246,8	-227,6
Suma nadmiaru:		228,6	19,9	181,1

W sezonie wegetacyjnym roku 2010, w 1 roku uprawy, deficytowe wartości wody wyznaczono w 2 dekadzie kwietnia (W1-W4), 1 czerwca (W1), 2 sierpnia (W1 i W2)(tab. 26). We wszystkich okresach deficytowych z wyjątkiem 1 czerwca dla pierwszego wariantu wodnego (W1) potrzeby wodne należy uznać za zaspokojone ze względu na nadwyżki występujące w poprzedzających je okresach. Suma niedoborów określonych metodą Drupki dla wszystkich wariantów nawadniania wyniosła 82,0 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek okresów jedynie 4,6 mm. Niedobory wody po zastosowaniu nawadniania w miesiącach maj-sierpień (najistotniejszych dla sosny), wg tej metody uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających deficytowe wyniosły zaledwie 4,6 mm. Powyższe pozwala stwierdzić, że nawadnianie w sezonie 2010 w 1 roku uprawy w pełni pokryło zapotrzebowanie wodne obliczone metodą Drupki we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia.

Tabela 26. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2010 obliczony metodą Drupki

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	13,0	13,0	13,0	13,0
	2	-11,2	-11,5	-11,8	-12,1
	3	39,4	30,1	20,8	11,5
Maj	1	21,6	15,1	8,6	2,1
	2	36,1	36,1	36,1	36,1
	3	23,5	16,1	8,7	1,3
Czerwiec	1	65,3	42,0	18,7	-4,6
	2	93,4	64,8	36,2	7,6
	3	144,4	99,3	54,2	9,1
Lipiec	1	132,4	91,5	50,6	9,7
	2	158,4	116,3	74,2	32,1
	3	59,5	59,5	59,5	59,5
Sierpień	1	56,4	56,4	56,4	56,4
	2	14,6	2,6	-9,4	-21,4
	3	30,5	30,5	30,5	30,5
Wrzesień	1	1,6	1,6	1,6	1,6
	2	14,7	12,3	9,9	7,5
	3	24,2	24,2	24,2	24,2
Suma deficytu:		-11,2	-11,5	-21,2	-38,1
Suma nadmiaru:		929	711,4	503,2	302,2

Sezon 2011, w 1 roku uprawy, charakteryzował się deficytem wody w 1 dekadzie kwietnia i lipca, 3 lipca, 2 i 3 września względem wszystkich poziomów wodnych, 1 września dla pierwszego i drugiego poziomu oraz 2, 3 kwietnia i 1-3 sierpnia dla pierwszego (tab. 27). Deficytowe dekady lipca (W2-W4), 1 dekadę września (W2), a także 2 września (W4) można uznać za odpowiednio zasobne w wodę uwzględniając nadwyżki występujące w poprzedzających je dekadach. Pozostałe okresy cechowały się deficytami wodnymi o różnej wartości, przy czym należy zwrócić uwagę na ograniczone stosowanie nawodnień we wrześniu celem przygotowania siewek do spoczynku. Suma niedoborów wodnych określonych sposobem zaproponowanym przez Drupkę dla wszystkich wariantów nawadniania wyniosła 155,1 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek z poprzedzających okresów 132,3 mm. Deficyty wody po zastosowaniu nawadniania w okresie maj-sierpień (krytycznych dla sosny), wg metody Drupki uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających deficytowe wyniosły 25 mm. Wobec powyższego nawadnianie w sezonie 2011 w 1 roku uprawy w pełni

pokryło potrzeby wodne obliczone wg Drupki we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia z wyjątkiem pierwszego.

Tabela 27. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 1 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Drupki

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6
	2	10,4	6,2	2,0	-2,2
	3	69,1	46,0	22,9	-0,2
Maj	1	92,7	66,4	40,1	13,8
	2	56,6	43,5	30,4	17,3
	3	75,3	50,3	25,3	0,3
Czerwiec	1	95,0	65,4	35,8	6,2
	2	65,6	45,6	25,6	5,6
	3	32,8	23,4	14,0	4,6
Lipiec	1	-4,0	-5,9	-7,8	-9,7
	2	20,1	19,0	17,9	16,8
	3	-1,3	-5,0	-8,7	-12,4
Sierpień	1	59,9	37,7	15,5	-6,7
	2	45,1	27,7	10,3	-7,1
	3	52,8	34,7	16,6	-1,5
Wrzesień	1	6,1	2,1	-1,9	-5,9
	2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
	3	-7,1	-10,3	-13,5	-16,7
Suma deficytu:		-19,2	-28	-38,7	-69,2
Suma nadmiaru:		681,5	468	256,4	64,6

W sezonie wegetacyjnym 2011, w 2 roku uprawy, wyodrębniono 4 dekady deficytowe we wszystkich wariantach wodnych, 2 dekady w 1 i 2 wariancie wodnym i 4 w 1 wariancie (tab. 28). Były to odpowiednio 1 dekada kwietnia, 3 lipca, 2 i 3 września, następnie 2 kwietnia i 1 lipca oraz 2 czerwca, 1-3 sierpnia. Niedobory 2 dekady czerwca (W1), 1 lipca (W2), 3 lipca (W1-W4) oraz 2 września (W2-W4) należy uznać za odpowiednio zasobne w wodę ze względu na nadwyżki w poprzednich okresach. Wartości niedoborów wodnych określonych metodą Drupki dla wszystkich wariantów nawadniania osiągnęły 166,8 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek z poprzedzających okresów 105,9 mm. Deficyty wody po zastosowaniu nawadniania w okresie maj-sierpień, wg tej metody uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających deficytowe wyniosły 21,4 mm. Wobec powyższego nawadnianie w sezonie 2011 w 2 roku uprawy w pełni pokryło potrzeby wodne obliczone wg Drupki we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia z wyjątkiem pierwszego.

Tabela 28. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2011 obliczony metodą Drupki

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	-3,6	-3,6	-3,6	-3,6
	2	3,6	1,1	-1,4	-3,9
	3	95,9	66,1	36,3	6,5
Maj	1	49,1	33,7	18,3	2,9
	2	21,0	16,8	12,6	8,4
	3	100,9	69,5	38,1	6,7
Czerwiec	1	99,0	68,4	37,8	7,2
	2	34,8	22,5	10,2	-2,1
	3	29,2	20,7	12,2	3,7
Lipiec	1	6,0	1,6	-2,8	-7,2
	2	15,7	15,7	15,7	15,7
	3	-8,9	-10,7	-12,5	-14,3
Sierpień	1	57,5	35,9	14,3	-7,3
	2	63,5	41,5	19,5	-2,5
	3	41,2	26,0	10,8	-4,4
Wrzesień	1	32,1	21,6	11,1	0,6
	2	-3,2	-3,2	-3,2	-3,2
	3	-12,7	-14,5	-16,3	-18,1
Suma deficytu:		-28,4	-32	-39,8	-66,6
Suma nadmiaru:		649,5	441,1	236,9	51,7

Sezon 2012, w 2 roku uprawy, charakteryzował się niedoborem wody w 1 dekadzie sierpnia, 2 i 3 września (tab. 29) we wszystkich wariantach wodnych. Deficytowe były także 2 dekada lipca (W1), 2 i 3 sierpnia (W1), a także 1 września (W1). Jednakże 1 dekadę sierpnia (wszystkie warianty wodne) i 2 września (W3, W4) należy uznać za odpowiednio zasobne w wodę w związku z nadmiarem w poprzedniej dekadzie. Pozostałe ww. okresy cechowały niedobory wody, jednakże w analizie należy uwzględnić fakt ograniczonego nawadniania we wrześniu. Wartości niedoborów wodnych określonych metodą Drupki dla wszystkich wariantów nawadniania osiągnęły 120,7 mm, a po rozpatrzeniu nadwyżek z poprzedzających okresów 112,0 mm. Deficytowe okresy zasobności w wodę po zastosowaniu nawadniania w miesiącach najistotniejszych dla rozwoju siewek sosny (maj-sierpień), wg metody Drupki uwzględniające nadmiary w dekadach poprzedzających deficytowe osiągnęły 19,6 mm. Wobec powyższego nawadnianie w sezonie 2012 w 2 roku uprawy w pełni pokryło potrzeby wodne obliczone wg Drupki we wszystkich wariantach wodnych doświadczenia z wyjątkiem pierwszego.

Tabela 29. Niedobór wody w mm po zastosowaniu 4 wariantów nawadniania w 2 roku uprawy w sezonie 2012 obliczony metodą Drupki

Miesiąc	Dekada	W4=400%	W3=300%	W2=200%	W1=100%
Kwiecień	1	15,2	12,8	10,4	8,0
	2	62,9	44,8	26,7	8,6
	3	68,0	49,1	30,2	11,3
Maj	1	93,4	65,7	38,0	10,3
	2	59,9	43,5	27,1	10,7
	3	118,4	80,0	41,6	3,2
Czerwiec	1	78,0	56,9	35,8	14,7
	2	74,1	74,1	74,1	74,1
	3	95,7	95,7	95,7	95,7
Lipiec	1	21,9	15,4	8,9	2,4
	2	40,6	24,4	8,2	-8,0
	3	28,1	22,5	16,9	11,3
Sierpień	1	-1,1	-1,1	-1,1	-1,1
	2	79,6	51,3	23,0	-5,3
	3	84,6	54,3	24,0	-6,3
Wrzesień	1	21,5	12,3	3,1	-6,1
	2	-0,5	-3,8	-7,1	-10,4
	3	-17,2	-17,2	-17,2	-17,2
Suma deficytu:		-18,8	-22,1	-25,4	-54,4
Suma nadmiaru:		941,9	702,8	463,7	250,3

4.3. POTRZEBY WODNE SOSNY WG ET

Potrzeby wodne obliczone na podstawie ewapotranspiracji rzeczywistej wyznaczonej w oparciu o metodę Hargreaves-a i równanie Grabarczyka przyjęły jednakowe wartości przy uwzględnieniu obliczonych współczynników k_c i stopnia pokrycia powierzchni przez siewki (tab. 30). Ze względu na niski stopień pokrycia powierzchni w 1 roku uprawy siewek obliczona ewapotranspiracja rzeczywista przyjmowała niższe wartości niż w 2 roku uprawy. Analiza potrzeb wykazała oczywistą tendencję wzrostu wartości, wraz z rozwojem roślin, osiągając maksimum na końcu okresu wegetacji, zarówno w wariantach nie nawożonych jak i nawożonych (tab. 30). Sumowa wartość wody niezbędnej do prawidłowego rozwoju siewek sosny w 1 roku uprawy wynosiła dla roślin nienawożonych 157,9 mm, a dla nawożonych 156,8 mm natomiast w 2 roku uprawy odpowiednio 495,1 mm i 494,2 mm.

Tabela 30. Ewapotranspiracja rzeczywista Sosny zwyczajnej w mm

Miesiąc	Nawożenie	I rok uprawy	II rok uprawy
Maj	Brak nawożenia	18,0	115,3
	Nawożenie	17,8	119,8
Czerwiec	Brak nawożenia	40,5	119,0
	Nawożenie	41,6	118,6
Lipiec	Brak nawożenia	45,8	121,6
	Nawożenie	44,7	119,6
Sierpień	Brak nawożenia	53,6	139,2
	Nawożenie	52,7	136,2
Suma potrzeb wodnych	Brak nawożenia	157,9	495,1
	Nawożenie	156,8	494,2

Po uwzględnieniu sum opadów w okresie wegetacji (zakładając równomierny ich rozkład) oraz skonfrontowaniu ich z ET określono potrzeby nawadniania siewek. Dla 1 roku uprawy deficytowym w wodę okazał się sierpień, gdzie potrzeba nawadniania wyniosła 26,1 mm dla poletek nienawożonych i 25,2 mm dla poletek nawożonych próchnicą (tab. 31). Nadmierną zasobność w wodę zaobserwowano w pozostałych miesiącach, przy czym jej sumowa wartość dla całego okresu wegetacji dla warunków braku nawożenia wyniosła 112,2 mm, a dla nawożenia 112,4 mm. W 2 roku uprawy we wszystkich miesiącach wystąpiły niedobory opadu wskazujące na potrzebę stosowania nawodnień uzupełniających. Łączna wartość deficytów dla nienawożonych roślin w 2 roku uprawy wyniosła 251,1 mm, a dla nawożonych 250,2 mm.

Tabela 31. Potrzeby nawadniania sosny w mm

Miesiąc	Nawożenie	I rok uprawy	II rok uprawy
Maj	Brak nawożenia	24,9	-72,4
	Nawożenie	25,1	-76,9
Czerwiec	Brak nawożenia	23,1	-55,4
	Nawożenie	22	-55,0
Lipiec	Brak nawożenia	64,2	-11,6
	Nawożenie	65,3	-9,6
Sierpień	Brak nawożenia	-26,1	-111,7
	Nawożenie	-25,2	-108,7
Suma deficytu:	Brak nawożenia	-26,1	-251,1
	Nawożenie	-25,2	-250,2
Suma nadmiaru:	Brak nawożenia	112,2	0
	Nawożenie	112,4	0

Nawadnianie zastosowane zgodnie z 2 wariantem wodnym w pełni pokryło obliczone sumowe zapotrzebowanie na wodę w rozpatrywanych miesią-

cach okresu wegetacji przewyższając obliczone potrzeby zarówno w 1 jak i 2 roku uprawy (tab. 32). Łącznie w 1 i 2 roku przewyższenie obliczonych potrzeb w warunkach braku nawożenia wyniosło odpowiednio 461,7 mm i 83,7 mm, a dla siewek nawożonych 462,8 mm i 84,6 mm.

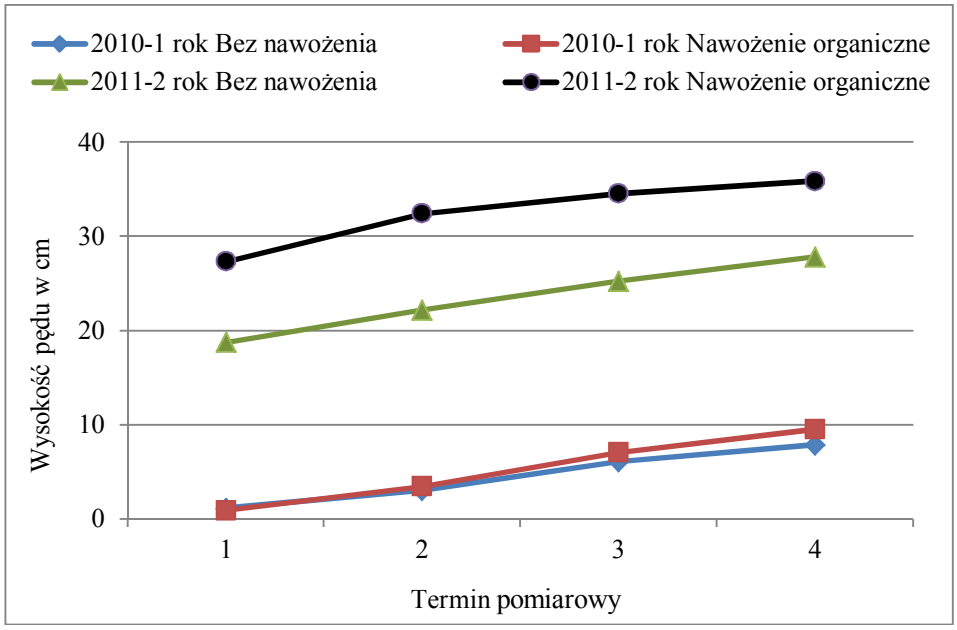
Niedobory i nadmiary wody obliczone powyżej charakteryzują warunki wodne sosny przy założeniu równomiernego rozkładu opadów w każdym z poszczególnych miesięcy okresu wegetacji, przy czym dla warunków Polski takie okresy są rzadkością **(Leciejewski 2011).** Niemniej powyższe założenie pozwala charakteryzować potrzeby wodne Sosny zwyczajnej w poszczególnych okresach sezonu wegetacyjnego.

Tabela 32. Nadmiary wodne sosny po uwzględnieniu nawadniania

Miesiąc	Nawożenie	I rok uprawy	II rok uprawy
Maj	Brak nawożenia	153,7	29,6
	Nawożenie	153,9	25,1
Czerwiec	Brak nawożenia	141,1	47,4
	Nawożenie	140,0	47,8
Lipiec	Brak nawożenia	77,6	0,8
	Nawożenie	78,7	2,8
Sierpień	Brak nawożenia	89,3	5,9
	Nawożenie	90,2	8,9
Suma deficytu:	Brak nawożenia	0,0	0
	Nawożenie	0,0	0
Suma nadmiaru:	Brak nawożenia	461,7	83,7
	Nawożenie	462,8	84,6

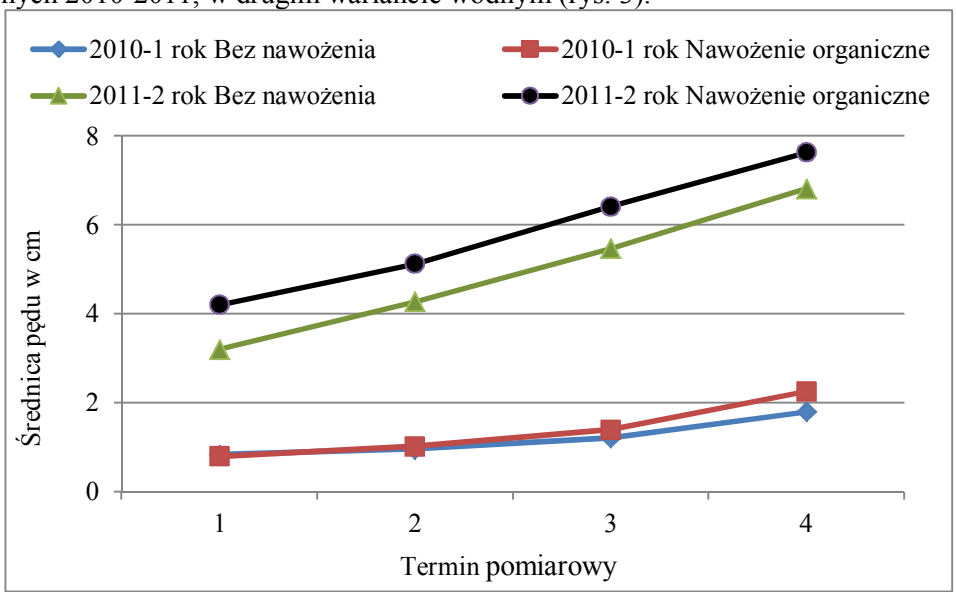
4.4. DYNAMIKA ZMIAN CECH BIOMETRYCZNYCH SIEWEK

W sezonach wegetacyjnych 2010-2011 w 1 i 2 roku uprawy siewek Sosny zwyczajnej, w drugim wariancie wodnym, wysokość pędu nadziemnego wzrastała liniowo w poszczególnych terminach pomiarowych (rys. 2).
Tendencja wzrostowa cechowała się podobnym trendem w pierwszym i drugim roku uprawy. Jednakże w 1 roku uprawy różnica wartości pomiędzy roślinami nawożonymi organicznie i nienawożonymi była niewielka, natomiast w 2 roku rośliny nawożone cechowały się znacząco wyższymi wartościami tego parametru.



Rys. 2. Zmiany wysokości pędu siewek w ramach 2 wariantu wodnego w 1 i 2 roku uprawy

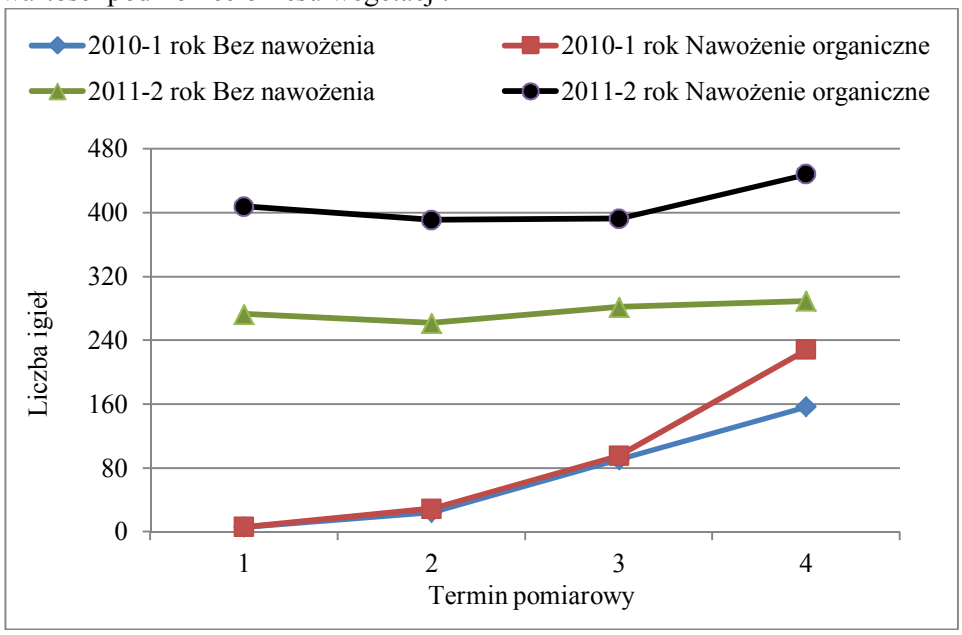
Średnica pędu wzrastała liniowo w poszczególnych terminach pomiarowych w 1 i 2 roku uprawy siewek Sosny zwyczajnej w sezonach wegetacyjnych 2010-2011, w drugim wariancie wodnym (rys. 3).



Rys. 3. Zmiany średnicy pędu siewek w ramach 2 wariantu wodnego w 1 i 2 roku uprawy

W 1 roku uprawy różnica wartości parametru pomiędzy roślinami nawożonymi i nienawożonymi organicznie była niewielka, natomiast w 2 charakteryzowała się większą różnicą. Tendencja zmian wartości parametru w drugim roku uprawy wykazywała znacznie dynamiczniejszy trend wzrostowy niż w pierwszym roku uprawy.

Zmienność sezonowa liczby igieł siewek Sosny zwyczajnej w 1 roku uprawy wzrastała w trakcie sezonu wegetacyjnego, przy czym dopiero w 4 terminie pomiarowym rośliny nawożone organicznie cechowały się znacznie wyższymi wartościami tego parametru niż nienawożone (rys. 4). W drugim roku uprawy liczba igieł w drugim okresie pomiarowym uległa niewielkiemu obniżeniu względem pierwszego terminu, a następnie wzrastała osiągając maksymalne wartości pod koniec okresu wegetacji.



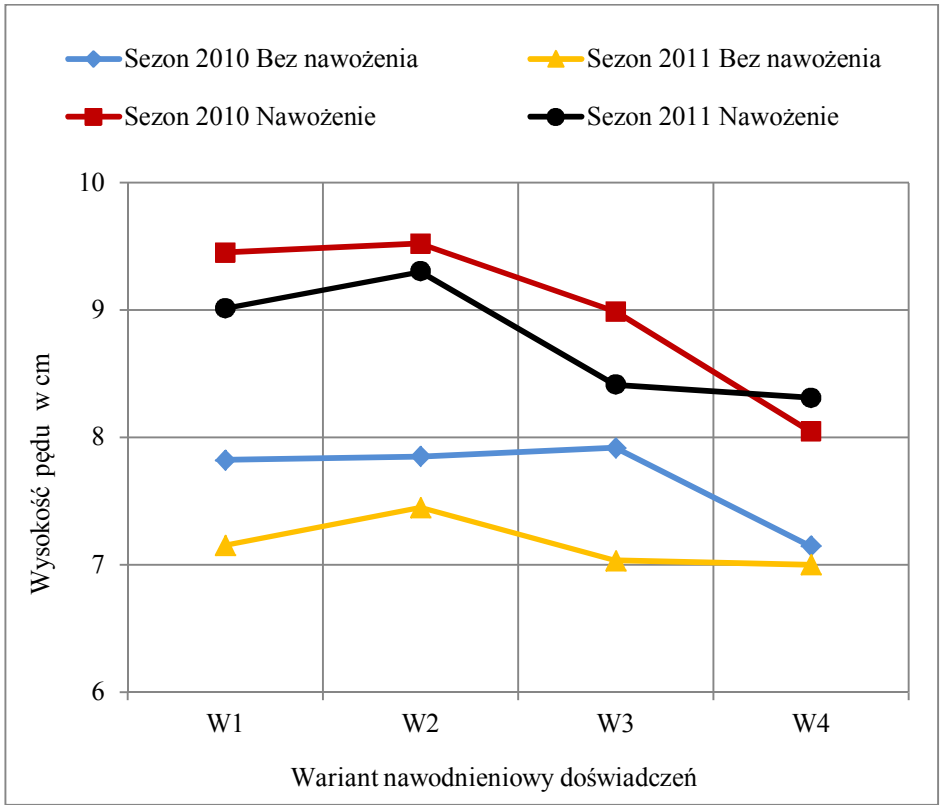
Rys. 4. Zmiany liczby igieł siewek w ramach 2 wariantu wodnego w 1 i 2 roku uprawy

4.5. EFEKTY PRODUKCYJNE SIEWEK

4.5.1. Wysokość pędu nadziemnego

Rośliny nawożone organicznie po pierwszym roku uprawy charakteryzowały się wyższą wartością wysokości części nadziemnej niż rośliny nienawożone, zarówno w 2010 jak i 2011 roku (rys. 5), (Aneks - fot. 8-9). Istotność różnicy została potwierdzona w analizie statystycznej przy poziomie istotności £=0,05, gdzie NIR (Tukey'a) wyniósł 0,307. Zastosowane nawadnianie wpłynęło korzystnie na wysokość pędu sosny po 1 roku uprawy, jedynie w ramach drugie-

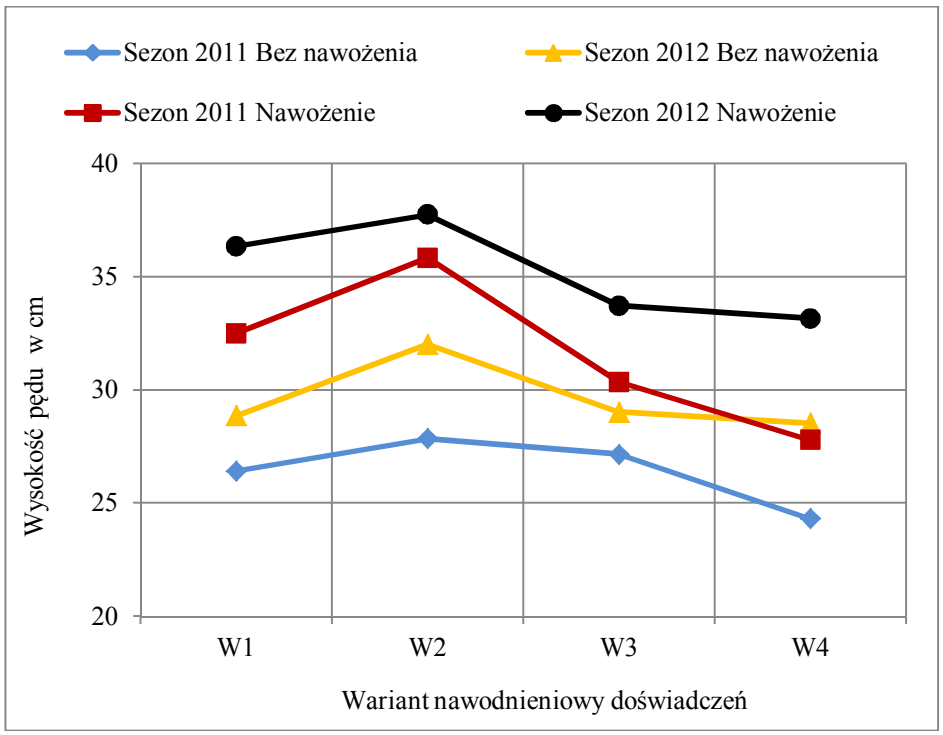
go wariantu nawodnieniowego (200% standardowej dawki stosowanej w szkółkach) nawożonego organicznie. Pomimo najwyższych wartości tego parametru, w obydwu sezonach wegetacyjnych, w 2 wariancie wodnym, pozytywny wpływ tej dawki nie został potwierdzony statystycznie. Jednocześnie zwiększone nawadnianie w wariantach W3 i W4 (300 i 400%) wpłynęło na obniżenie wysokości pędu roślin, za wyjątkiem roślin nienawożonych sezonu 2010, gdzie rośliny 3 wariantu wodnego (W3) były najwyższe. Istotne obniżenie wartości parametru względem W2 wystąpiło w 4 wariancie wodnym. Interakcja pozytywnego wpływu nawożenia próchnicą i nawadniania kroplowego na wysokość pędu sosny w 1 roku nie została potwierdzona statystycznie.



Rys. 5. Wysokość pędu siewek po 1 sezonie uprawy

Siewki sosny po 2 roku uprawy w sezonach 2011-2012, nawożone organicznie cechowały się istotnie wyższymi pędami niż rośliny nienawożone (rys. 6), (Aneks - fot. 10-11), co potwierdziła analiza statystyczna przyjmująca NIR (Tukey'a) na poziomie 0,872 (£=0,05). Istotnie na wysokość pędu wpłynęło nawadnianie kroplowe w ramach 2 wariantu wodnego (200%), gdzie najmniejsza istotna różnica obliczona testem Tukey'a wyniosła 1,645, przy poziomie istotno-

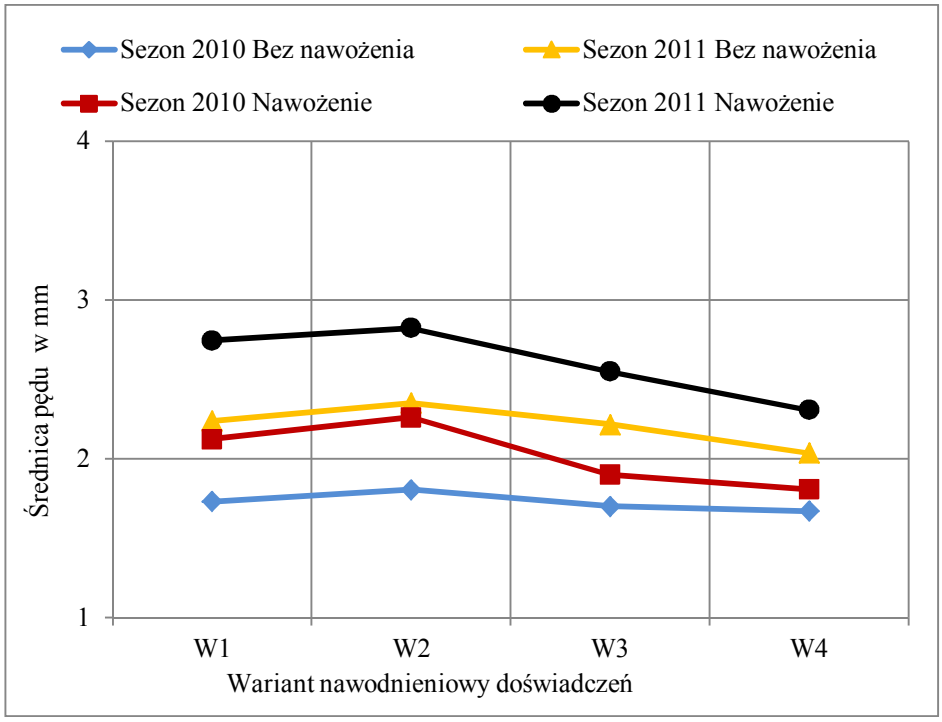
ści £=0,05. Wyższe dawki nawadniania z pozostałych wariantów powodowały istotne obniżenie wartości tego parametru względem W2. Interakcja wpływu obydwu czynników na wysokość pędu siewek została potwierdzona w analizie statystycznej. Istotny wpływ nawożenia w połączeniu z nawadnianiem przyjął wartość NIR (Tukey'a) na poziomie 1,743 (£=0,05), a nawadniania z nawożeniem 2,326 (£=0,05).



Rys. 6. Wysokość pędu siewek po 2 sezonie uprawy

4.5.2. Średnica pędu

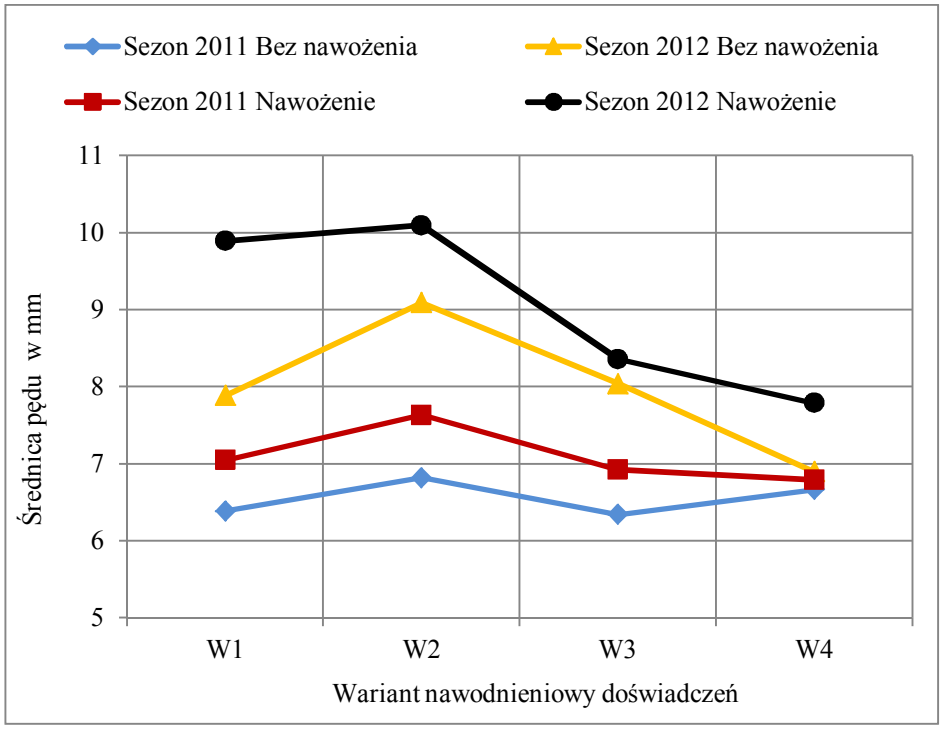
Największą średnicą pędu w szyi korzeniowej, po 1 roku uprawy sezonów 2010-2011, charakteryzowały się siewki sosny nawożone organicznie (rys. 7). Nawożenie istotnie wpłynęło na średnicę pędu, co potwierdzono statystycznie (NIR Tukey'a = 0,126, £=0,05). Nawadnianie pozytywnie wpłynęło na wartość średnicy pędu do poziomu 2 wariantu (200%), którego siewki przyjmowały najwyższe wartości tego parametru, ale analiza statystyczna nie potwierdziła tej relacji. Ponadto ujawniono tendencję do obniżania wartości średnicy pędu wraz ze wzrostem poziomu nawadniania powyżej dawki wariantu drugiego. Istotne obniżenie średnicy względem W2 ujawniono dla wariantu W4.



Rys. 7. Średnica pędu siewek po 1 sezonie uprawy

Analiza statystyczna nie potwierdziła także istotnego współdziałania badanych czynników doświadczalnych dla tego parametru w latach doświadczeń. Ponadto rośliny uprawiane w roku 2011 cechowały się większą średnicą pędu niż uprawiane w 2010 r., a wyższe wartości tego parametru osiągnęły siewki nienawożone z sezonu 2011 od siewek nawożonych w sezonie 2010.

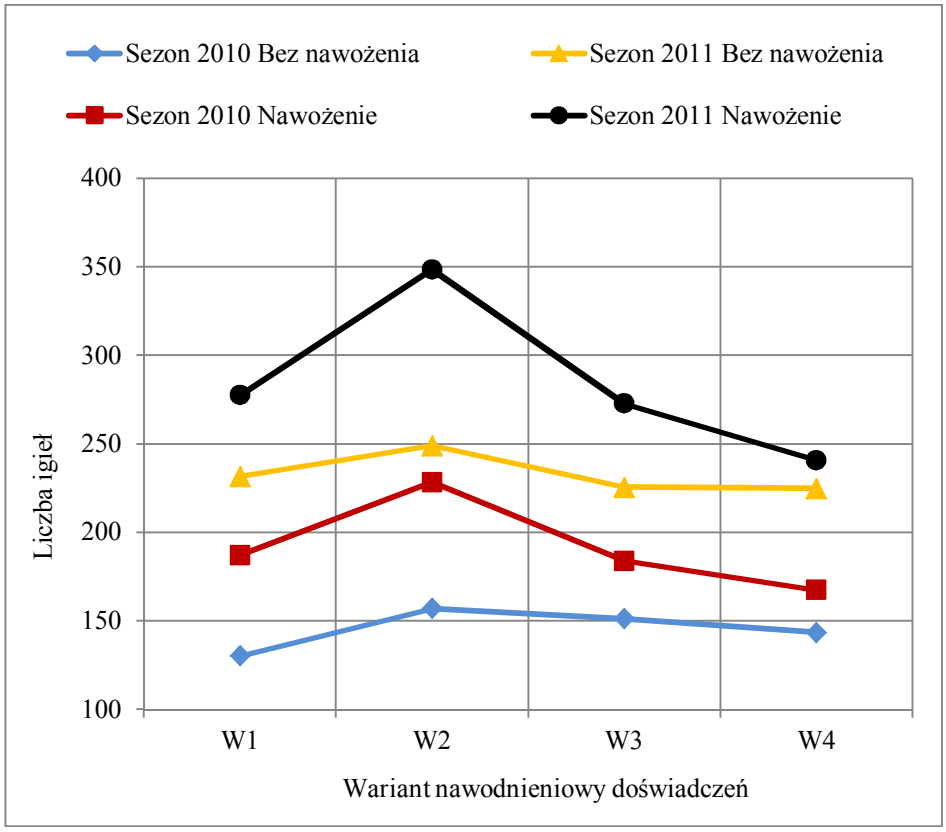
Nawożenie organiczne próchnica nadkładową istotnie wpłynęło na zwiększenie średnicy pędu siewek po 2 sezonie wegetacyjnym (rys. 8). Istotność wpływu potwierdziła analiza statystyczna, gdzie przy poziomie istotności równym 95% NIR (Tukey'a) wyniósł 0,395. Najwyższe wartości parametru przyjmowały rośliny na poletkach 2 wariantu nawodnieniowego (W2), jednak pozytywny wpływ czynnika nie został potwierdzony statystycznie. Rośliny nawadniane obficiej (W3 i W4) cechowały się istotnie niższymi wartościami tego parametru względem W2. Pozytywna interakcja obydwu czynników w latach doświadczeń w ramach średnicy pędu nie znalazła odzwierciedlenia statystycznego. Należy także zauważyć, iż rośliny z sezonu 2011 cechowały się mniejszą średnicą pędu od roślin z 2012 r., a większą wartość tej cechy posiadały siewki nienawożone w sezonie 2012 w stosunku do nawożonych w 2011.



Rys. 8. Średnica pędu siewek po 2 sezonie uprawy

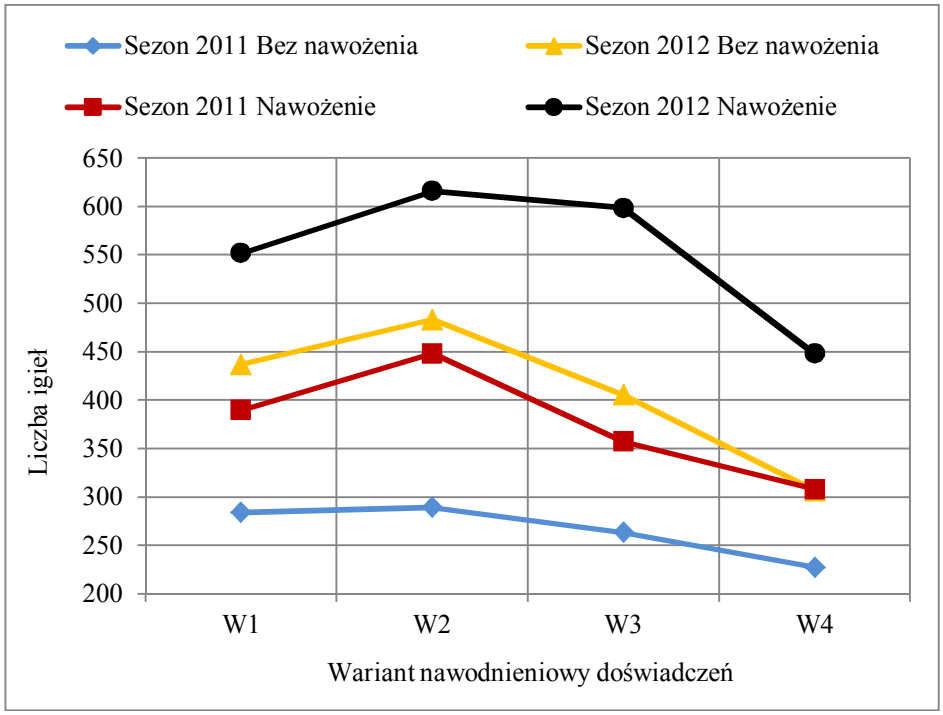
4.5.3. Liczba igieł

Największą liczbą igieł u siewek po 1 roku uprawy w latach 2010-2011 charakteryzowały się rośliny nawożone organicznie (rys. 9). Działanie tego czynnika istotnie wpłynęło na zwiększenie wartości tej cechy biometrycznej u siewek sosny (NIR Tukey'a = 15,965, £=0,05). Nawadnianie kroplowe wpłynęło istotnie na liczebność igieł u roślin nawadnianych zgodnie z 2 wariantem doświadczalnym (NIR Tukey'a= 30,13, £=0,05). Niezależnie od poziomu nawożenia najwyższe wartości parametru odnotowano przy 2 wariancie nawodnieniowym, a wraz ze wzrostem poziomu nawadniania wartości parametru istotnie malały osiągając minimum w 4 wariancie. Ponadto stwierdzono istotny wpływ współdziałania obydwu czynników w latach doświadczeń na liczbę igieł u rocznych siewek Sosny zwyczajnej. Najniższa istotna różnica (Tukey'a) wyniosła 42,61 dla relacji nawadniania do nawożenia oraz 31,93 dla relacji odwrotnej w przedziale ufności £=0,05. Na uwagę zasługuje fakt wyższych wartości tego czynnika u siewek z roku 2011, a także większej liczby igieł u roślin nienawożonych w sezonie 2011 względem nawożonych w 2010 r.



Rys. 9. Liczba igieł siewek po 1 sezonie uprawy

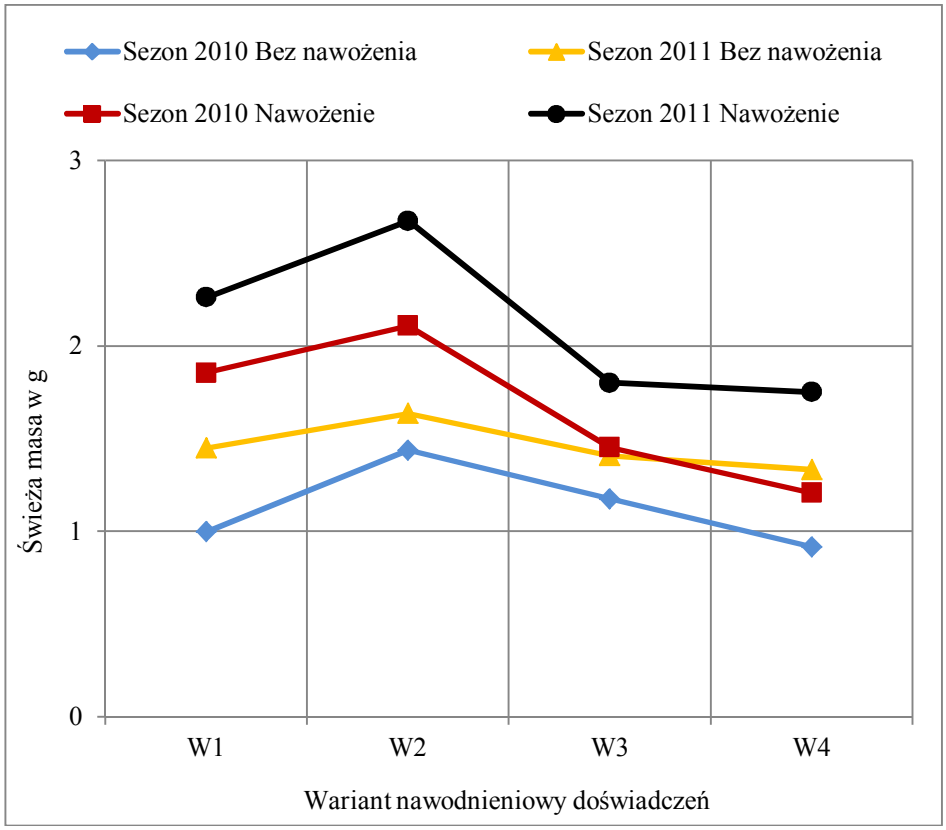
Nawożenie organiczne istotnie wpłynęło na zwiększenie liczby igieł u siewek po 2 roku uprawy, co potwierdziła analiza statystyczna, gdzie NIR (Tukey'a) wyniósł 23,02 (rys. 10). Nawadnianie także istotnie zwiększyło liczbę igieł siewek sosny dla 2 wariantu wodnego (NIR Tukey'a= 43,444, £=0,05), w ramach którego siewki przyjmowały najwyższe wartości tej cechy biometrycznej. Wraz ze wzrostem dawek wody powyżej W2 (200%) obserwowano istotną tendencję spadkową względem liczby igieł u siewek. Współdziałanie obydwu czynników doświadczenia w latach doświadczalnych pozytywnie wpływające na liczbę igieł nie znalazło odzwierciedlenia statystycznego. Ponadto siewki z sezonu 2012 charakteryzowały się większą liczą igieł niż siewki z roku 2011. Nienawożone siewki z 2012 r. posiadały więcej igieł niż nawożone z 2011 r.



Rys. 10. Liczba igieł siewek po 2 sezonie uprawy

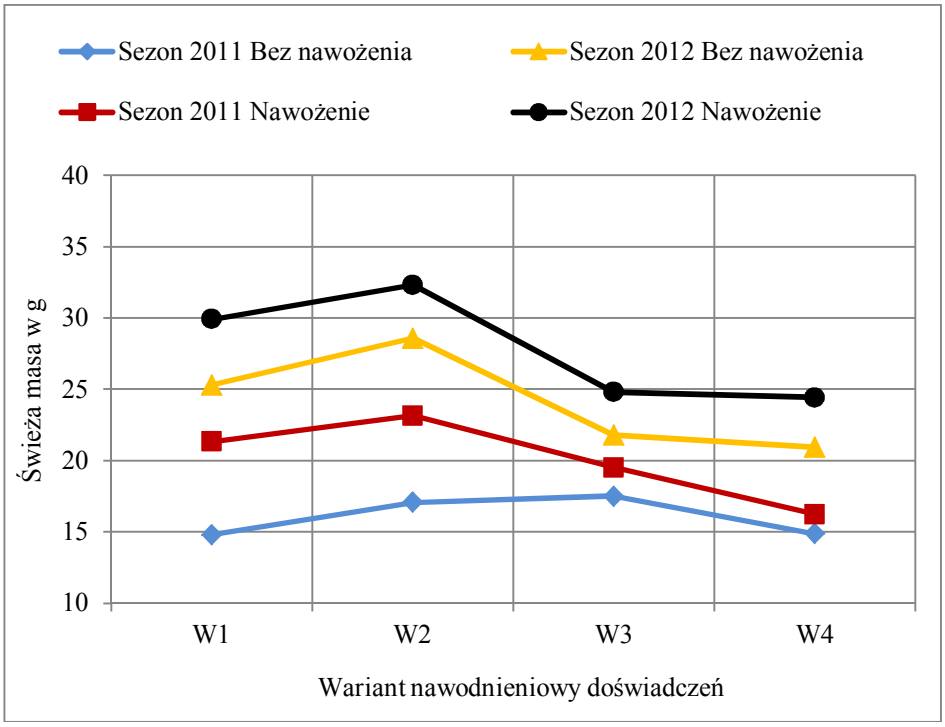
4.5.4. Świeża masa części nadziemnej

Zastosowane w doświadczeniach nawożenie organiczne próchnicą nadkładową istotnie wpłynęło na świeżą masę części nadziemnej siewek po 1 sezonie wegetacji (rys. 11), przyjmując wartość NIR (Tukey'a) na poziomie 0,215. Zastosowane nawadnianie zgodnie z 2 wariantem (W2) wpłynęło pozytywnie na wartości tego parametru, przy czym analiza wariancji nie potwierdziła istotności tej zależności. Nawadnianie prowadzone zgodnie z 3 i 4 wariantem wodnym wpływało natomiast na istotne zmniejszenie świeżej masy pędu nadziemnego siewek. Korzystne współdziałanie obydwu czynników w latach doświadczeń także nie zostało potwierdzone w analizie statystycznej.



Rys. 11. Świeża masa części nadziemnej siewek po 1 sezonie uprawy

Siewki Sosny zwyczajnej w 2 sezonie wegetacji zareagowały na nawożone organiczne istotnym zwiększeniem świeżej masy pędu (rys. 12), co potwierdziła analiza statystyczna przyjmując NIR (Tukey'a) na poziomie 1,165, przy poziomie istotności £=0,05. Podobnie, istotnym zwiększeniem wartości parametru (NIR Tukey'a = 2,199, £=0,05) zareagowały siewki sosny na zwiększone dawki nawodnieniowe 2 wariantu (W2) przyjmując najwyższe wartości tego parametru. Jednakże wyższy poziom nawadniania (W3 i W4) nie wpłynął na wzrost wartości rozpatrywanej cechy, a nawet spowodował istotne obniżenie wartości świeżej masy pędu. Korzystne współdziałanie czynników doświadczalnych nie zostało potwierdzone w analizie wariancji dla tej cechy biometrycznej siewek.

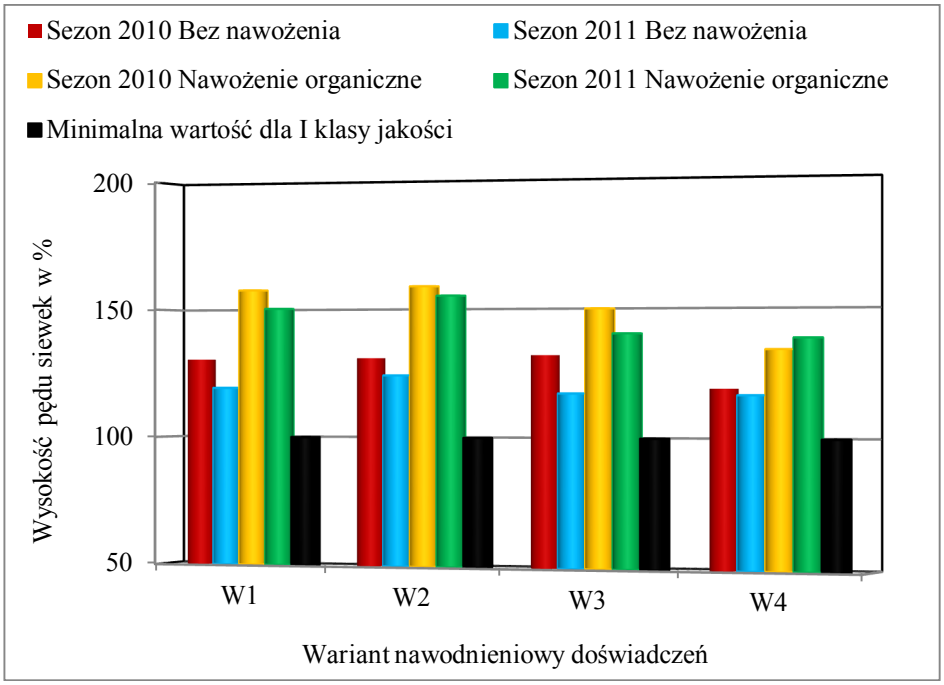


Rys. 12. Świeża masa części nadziemnej siewek po 2 sezonie uprawy

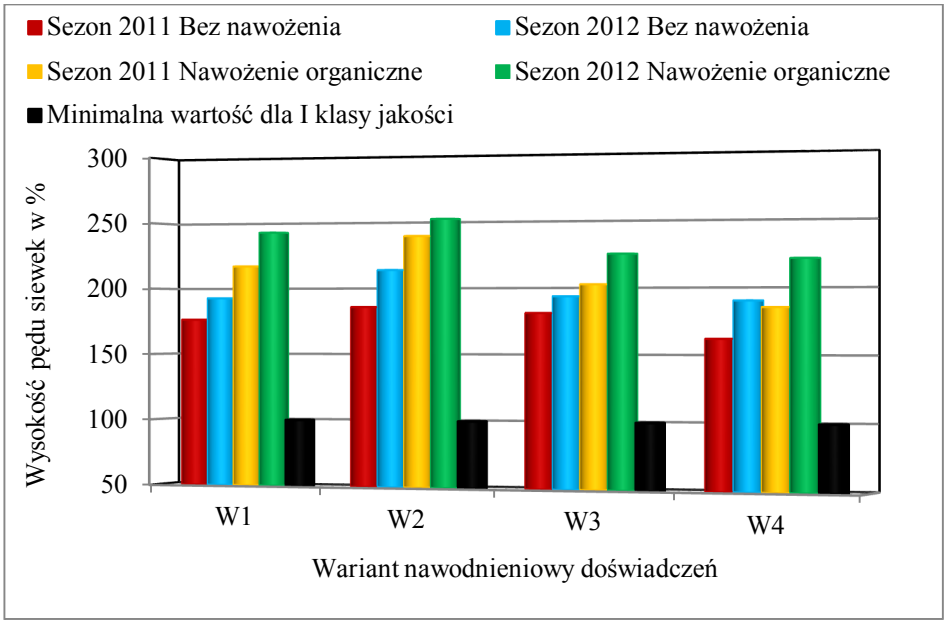
4.5.5. Wartość jakościowa uzyskanych siewek sosny

Siewki sosny z wszystkich wariantów doświadczenia po pierwszym roku uprawy charakteryzowały się wysokością części nadziemnej przewyższającą kryterium określające I klasę jakości siewek dla upraw leśnych i na plantacje (rys. 13). Wobec tego rośliny wszystkich wariantów zakwalifikowano do I klasy jakości pod względem tego kryterium. Siewki nawożone organicznie po 1 sezonie wegetacyjnym w 1 i 2 wariancie wodnym (W1 i W2) cechowały się wysokością na poziomie przewyższającym 150% względem wartości minimalnej dla I klasy jakościowej.

Rośliny po drugim sezonie wegetacji dla wszystkich wariantów doświadczalnych zakwalifikowano do I, najwyższej, klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje (rys. 14). Siewki nawożone organicznie we wszystkich wariantach nawodnieniowych z wyjątkiem wariantu 4 (W4) w sezonie wegetacji 2011, cechowały się ponad dwukrotnie wyższymi wartościami wysokości pędu nadziemnego w porównaniu z minimum dla I klasy jakości. Najwyższą wartość tego parametru uzyskały siewki nawożone organicznie, nawadniane wg 2 wariantu wodnego (W2) w sezonie 2012, których wysokość względem minimum dla I klasy wyniosła 251,7%.

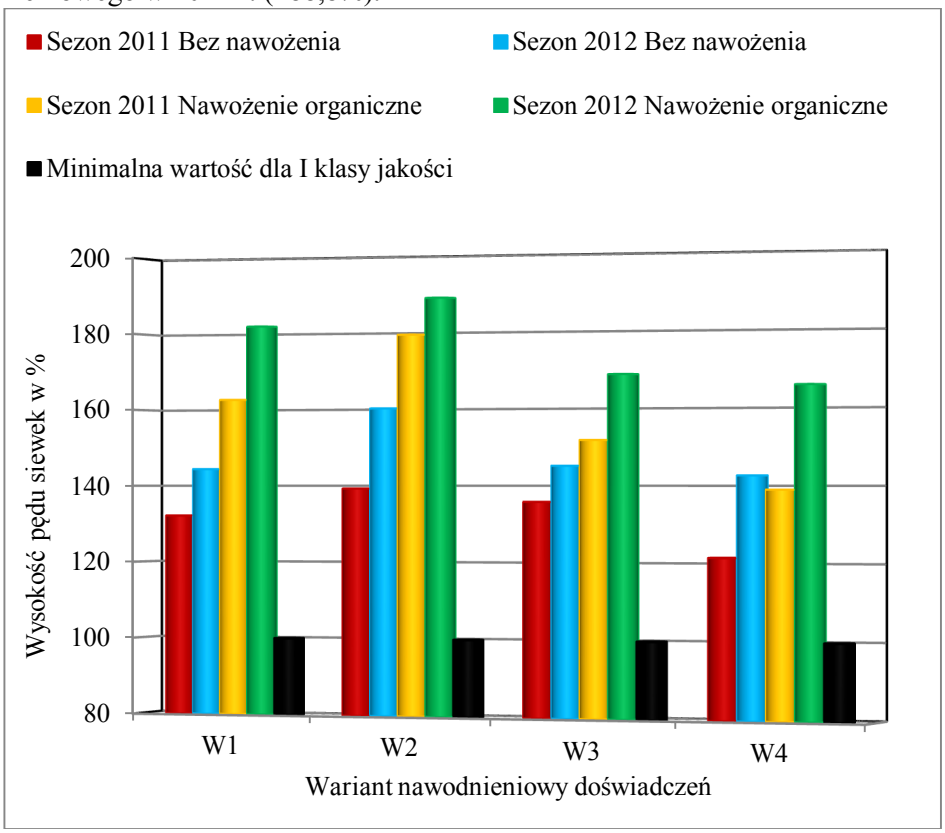


Rys. 13. Wysokość pędu siewek po 1 sezonie wegetacyjnym w relacji do 1 klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje



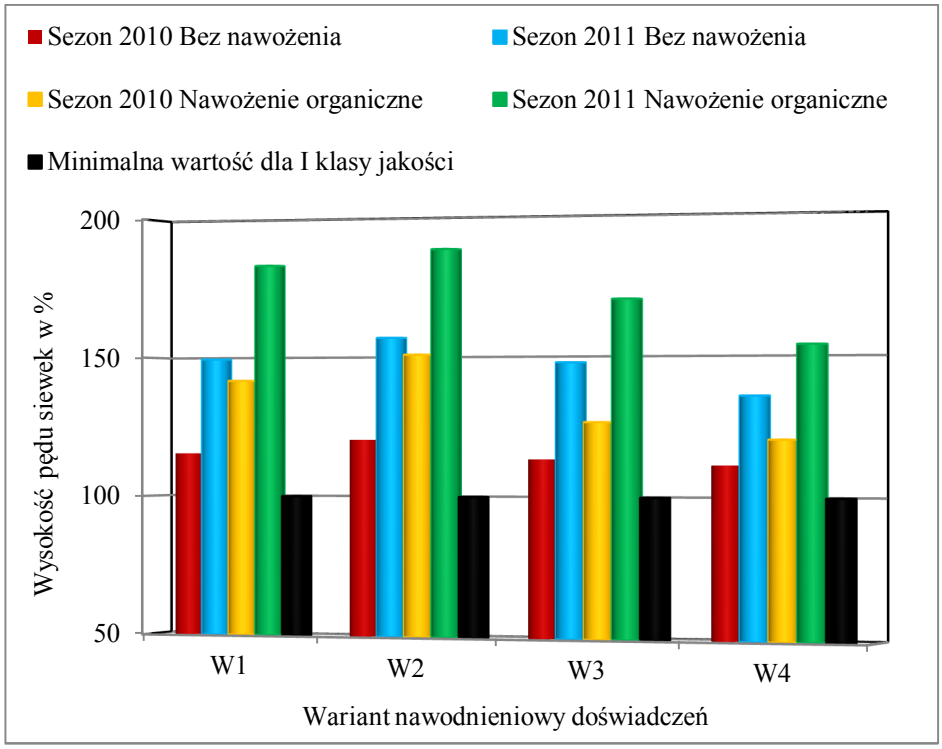
Rys. 14. Wysokość pędu siewek po 2 sezonie wegetacyjnym w relacji do 1 klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje

Wartości parametru wysokości pędu dla kryterium jakości sadzonek po 2 sezonie wegetacji przeznaczonych do zadrzewień i zakrzewień pozwoliły zakwalifikować rośliny wszystkich wariantów doświadczenia do najwyższej I klasy jakości (rys. 15). Ponadto siewki wszystkich wariantów doświadczalnych osiągnęły wysokość na poziomie powyżej 120% względem minimum jakościowego, a nawożone organicznie ponad 140%. Najniższe wartości parametru cechowały rośliny nie nawożone organicznie w 4 wariancie wodnym (W4). Najwyższą wartość parametru uzyskały siewki nawożone z 2 (W2) wariantu nawodnieniowego w 2012 r. (188,8%).



Rys. 15. Wysokość pędu siewek po 2 sezonie wegetacyjnym w relacji do 1 klasy jakości dla zadrzewień i zakrzewień

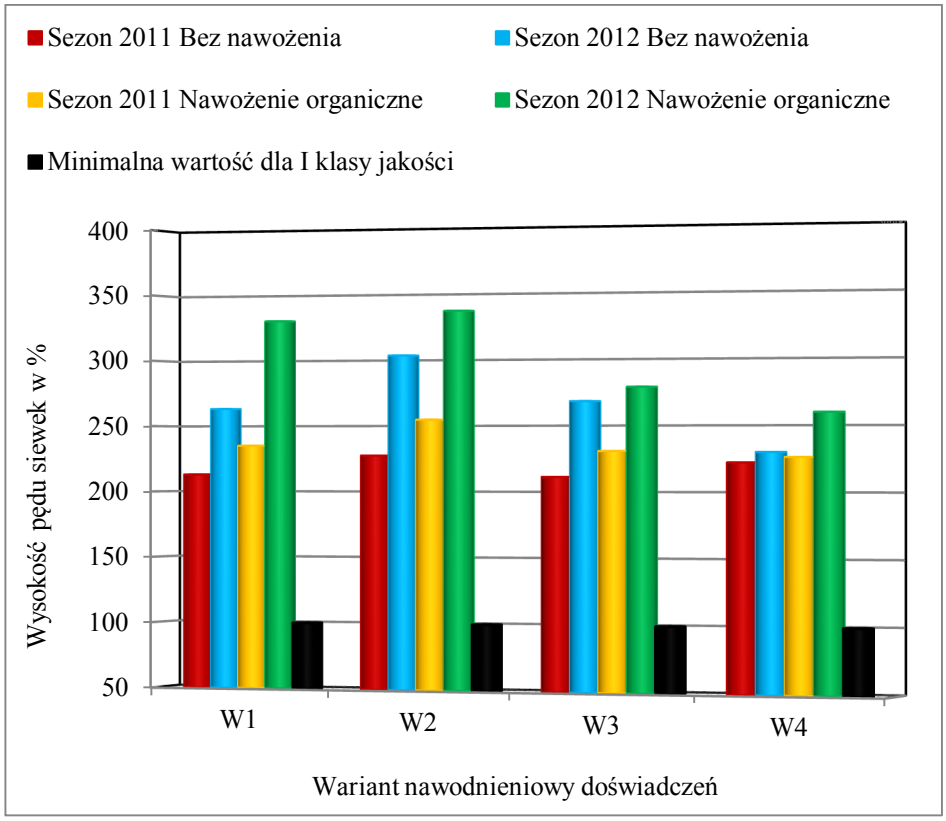
Według kryterium dla upraw leśnych i plantacji dla średnicy pędu w szyi korzeniowej po 1 sezonie wegetacyjnym rośliny z wszystkich wariantów zakwalifikowano do najwyższej, 1 klasy jakości (rys. 16).



Rys. 16. Średnica pędu siewek po 1 sezonie wegetacyjnym w relacji do 1 klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje

Rośliny nawożone organicznie w 2011 r. cechowały się najwyższymi wartościami parametru i we wszystkich wariantach wodnych osiągnęły wartości powyżej 150% minimalnej wartości dla klasy 1. Najwyższą wartość parametru (188,2%) odnotowano w 2 wariancie wodnym (W2), a najniższą (111,4%) w czwartym (W4).

Pozyskane w doświadczeniu siewki po 2 sezonie wegetacyjnym z wszystkich wariantów zakwalifikowano do 1 klasy jakości siewek według kryterium średnicy pędu dla upraw leśnych i plantacji (rys. 17). Najwyższe wartości cechowały rośliny nawożone organicznie w 2012 r., które przyjęły powyżej 250% minimalnej wartości dla najwyższej klasy jakościowej. Najwyższą wartością cechowały się siewki z 2 wariantu wodnego (W2) roku 2011, które osiągnęły 336,5% minimum klasy I.

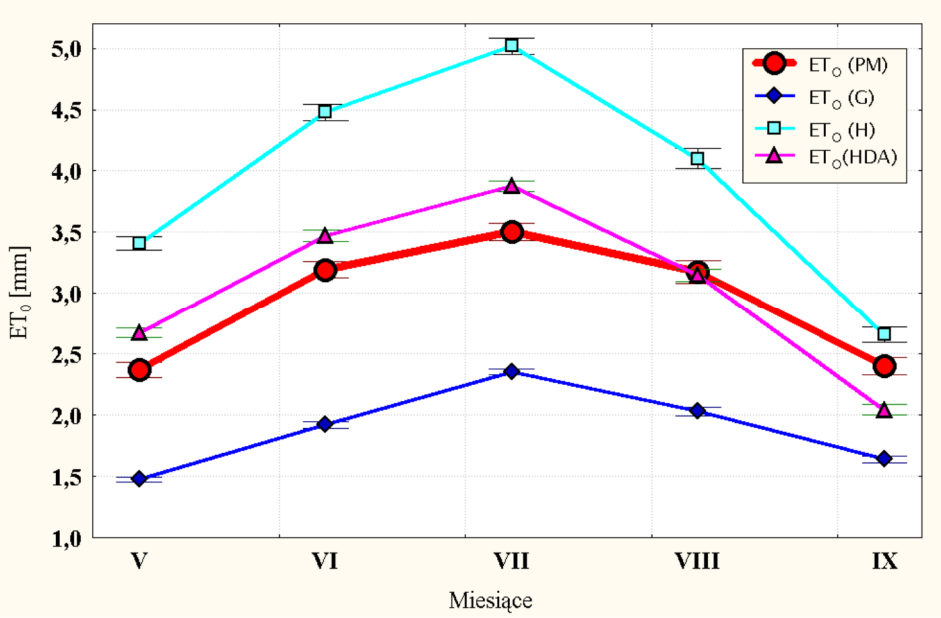


Rys. 17. Średnica pędu siewek po 2 sezonie wegetacyjnym w relacji do 1 klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje

5. DYSKUSJA WYNIKÓW

W niniejszych badaniach wyznaczono współczynniki roślinne dla Sosny zwyczajnej wykorzystując dane meteorologiczne pozyskane z automatycznej stacji meteorologicznej, a ewapotranspirację wskaźnikową wyznaczono wg dwóch modeli, a mianowicie Hargreaves-a i Grabarczyka. Wartości współczynnika w 1 roku uprawy dla metody Hargreaves-a przyjęły wartości od 1,4 do 1,7 dla warunków braku nawożenia oraz od 1,4 do 1,6 dla nawożenia organicznego. W drugim roku uprawy dla owej metody zaobserwowano szerszy zakres wartości tego parametru z przedziału 1,2 do 1,8 dla braku próchnicy i 1,2 do 1,7 dla poletek nawożonych. Najniższe wartości spektrum dla współczynnika określono dla czerwca, a najwyższe dla sierpnia. Współczynniki wyznaczone w oparciu o model Grabarczyka cechowały się wyższymi wartościami i szerszym spektrum. Dla 1 roku uprawy w warunkach nawożenia i braku nawożenia oscylowały w przedziale 2,1 – 3,0, a w 2 roku uprawy w przedziale 2,2 – 2,5 (brak nawożenia) i 2,2 – 2,6 (nawożenie). W tym modelu najniższe wartości w 1 roku uzyskano dla lipca, a w 2 dla czerwca i lipca w obydwu wariantach nawożenia, natomiast najwyższe dla maja. W literaturze krajowej jak i zagranicznej nie natrafiono na informacje o wyznaczaniu współczynników roślinnych dla Sosny zwyczajnej, dlatego brak możliwości skonfrontowania uzyskanych wartości współczynników z innymi wynikami. Różnice w uzyskanych wartościach współczynnika roślinnego zdają się potwierdzać wnioski **Kasperskiej (1995)**, która badając współczynniki dla użytków zielonych wskazała na fakt zależności ich wartości od warunków glebowych, specyfiki roślin, metod obliczeniowych, a także odbiegających od średnich warunków atmosferycznych. Autorka radzi traktować obliczone wartości współczynników roślinnych jako niedoskonałe w zmieniających się warunkach atmosferycznych i wskazuje na konieczność traktowania ich jako modyfikowalnych zmiennych. Znajduje to odzwierciedlenie również w pracy **Tredera i in. (2010)**, gdzie autorzy wskazują spore rozbieżności dotyczące wartości obliczonej różnymi metodami ewapotranspiracji wskaźnikowej, służącej do wyznaczenia współczynników roślinnych, dla poszczególnych miesięcy okresu wegetacji (Rys. 18). Autorzy stwierdzają, iż ET_0 obliczona metodą Grabarczyka przyjmuje niższe wartości w przedziale od 0,8 we wrześniu do 1,5 w czerwcu od wskaźnikowej, polecanej przez FAO metody Penmana-Monteitha. Ponadto obliczenia ewapotranspiracji wskaźnikowej metodą Hargreaves-a przyjmują wyższe wartości o 0,3 dla września do 1,7 dla lipca w stosunku do metody Penmana-Monteitha. **Widmoser (2009)** za **Treder i in. (2010)** stwierdza, iż błąd obliczeniowy metody Penmana-Monteitha ze względu na zastosowane przybliżenia może sięgać nawet 30 % w stosunku do rzeczywistych wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej. Powyższe stwierdzenia oraz uzyskane w niniejszym opracowaniu wysokie wartości współczynników roślinnych obliczonych metodą Grabarczyka pozostają zgodne z badaniami trwałych użytków zielonych, które wykazały niższe wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej względem uzyskanych metodą Penmana **(Grabarczyk, Żarski 1992).** Uzyskane

wysokie wartości współczynników k_c, w porównaniu z wartościami dla innych roślin znajdowanymi w literaturze, które zazwyczaj dotyczą stacji standardowej, należy tłumaczyć także wykorzystaniem do obliczeń danych pochodzących z automatycznej stacji meteorologicznej, które wykazują istotne statystycznie różnice w wartościach ewapotranspiracji potencjalnej **(Łabędzki, Kasperska-Wołowicz 2002, Kamińska i in. 2007).**



Rys. 18. Średnie wartości ET0 dla poszczególnych miesięcy wyznaczane za pomocą różnych metod obliczeniowych tj., Penmana-Monteitha ET0 (PM), Grabarczyka ET0 (G), Hargreavesa ET0 (H) i Hargreavesa w modyfikacji Droogersa i Allena ET0 (HDA) **(Treder i in. 2010).**

Ocena potrzeb wodnych sosny na podstawie klimatycznego bilansu wodnego wykorzystującego ewapotranspirację wskaźnikową wymagała wykorzystania wiarygodnych metod obliczeniowych bazujących na danych meteorologicznych. W warunkach ograniczonego dostępu do danych meteorologicznych niezbędnych do zastosowania najczęściej stosowanych i polecanych metod Penmana oraz Penmana-Monteitha w niniejszej pracy wykorzystano ich zalecaną modyfikację w postaci modelu Hargreaves-a **(Łabędzki i in. 1996, Treder i in. 2010).** Badania traw **Grabarczyka i Żarskiego (1992)** nad korelacją ewapotranspiracji rzeczywistej z potencjalną obliczoną metodami Penmana i Grabarczyka wykazały, wbrew powszechnej opinii, niższe współczynniki dla metody Penmana. Wobec tego w niniejszej pracy wykorzystano równanie Grabarczyka **(Łabędzki 2006, Treder i in. 2010),** a także zalecane metody Szarowa **(Grabarczyk 1989)** i Drupki **(Pierzgalski i in. 2002).**

Potrzeby nawadniania sosny wyznaczone na podstawie klimatycznego bilansu wodnego wg metody Szarowa, dla danych z automatycznej stacji meteorologicznej, dla okresu wegetacji kwiecień-wrzesień, przyjęły najwyższe z obliczonych średnie wartości dla okresów wegetacyjnych 2010, 2011, 2012 odpowiednio 294,7 mm; 384,2 mm oraz 366,7 mm. O wiele niższą średnią wartość deficytów wodnych dla 10-lecia 2000-2009, dla tej metody, w oparciu o dane meteorologiczne ze standardowej stacji w Mochełku k. Bydgoszczy, wyznaczyli **Rolbiecki i in. (2010b)** uzyskując wartość na poziomie 256,77 mm. Jednakże poszczególne wartości tego parametru dla obliczeń **Rolbieckiego i in. (2010b)** z poszczególnych lat wielolecia oscylowały od 75,38 mm (rok 2001) do 394,47 mm (rok 2003). Rozbieżności uzyskanych wartości mogą wynikać z zastosowania różnych metod pomiaru parametrów meteorologicznych oraz z występującej w latach zmienności warunków opadowych. Po uwzględnieniu sumowych dekadowych dawek nawodnieniowych deficyt w 1 roku uprawy w 1 wariancie wyniósł 81,4 mm i 178,1 mm, odpowiednio dla sezonów lat 2010, 2011, a w 2 roku uprawy odpowiednio 172,4 mm i 126,6 mm dla sezonów 2011 i 2012 roku. Nawadnianie prowadzone według pozostałych wariantów umożliwiło pełne pokrycie obliczonych dekadowych potrzeb wodnych sosny w miesiącach najbardziej istotnych dla produkcji szkółkarskiej tj. maj-sierpień **(Babiński, Białkiewicz 1999).** Uzyskane w niniejszym opracowaniu wartości ewapotranspiracji wskaźnikowej na podstawie danych z automatycznej stacji meteorologicznej zdaniem **Łabędzkiego i Kasperskiej-Wołowicz (2002)** mogą zaniżać wartości rzeczywiste tego parametru, jakie zostałyby obliczone na podstawie danych ze standardowej stacji meteorologicznej. Jednakże ci sami autorzy wskazują na fakt, iż wspomniane różnice byłyby nieznaczące. Ze względu na brak możliwości pozyskania danych meteorologicznych ze standardowej stacji zlokalizowanej w najbliższym sąsiedztwie szkółki wykorzystano dane ze znajdującej się w obiekcie badawczym automatycznej stacji, bez analizy poprawności odczytanych danych. Jest to zgodne z zaleceniami **Tredera i in. (2011)**, których badania wykazały istotne rozbieżności wartości parametrów meteorologicznych mierzonych na obiektach oddalonych zaledwie o kilka kilometrów.

Suma deficytów okresu wegetacji kwiecień-wrzesień dla metody Hargreaves-a wyniosła 247,6 mm w 2010, 272,0 mm w 2011 oraz 279,9 mm w 2012 r. Po zweryfikowaniu potrzeb z dekadowymi porcjami nawodnieniowymi w ramach 1 wariantu wodnego wyznaczono deficyty na poziomie 42,7 mm i 71 mm dla okresów 2010 i 2011, natomiast dla 2 roku uprawy odpowiednio 68,7 mm i 52,2 mm dla sezonów 2011 i 2012. W ramach wszystkich wariantów nawodnieniowych doświadczeń polowych nie wystąpiły dekadowe deficyty wody w okresie maj-sierpień, który jest krytyczny ze względu zapotrzebowania w wodę siewek **(Pierzgalski i in. 2002).**

Według metody Grabarczyka sumy deficytów w latach badań przyjęły najniższe wartości z wszystkich wykorzystanych metod odpowiednio 130,2 mm, 136,4 mm oraz 156,3 mm. Dawki nawodnieniowe w ramach 1 wariantu nie pokryły potrzeb ujawniając deficyty sumowe w 1 roku uprawy na poziomie 17,4

mm i 26,1 mm odpowiednio w latach 2010 i 2011, a w 2 roku uprawy 22,3 mm i 26,8 mm dla sezonów 2011 i 2012. Według równania Grabarczyka wszystkie warianty nawodnieniowe zaspokoiły obliczone potrzeby siewek sosny w okresie maj-sierpień, czyli największej wrażliwości na niedobór wody **(Babiński, Białkiewicz 1999).**

Niedobory wodne wyznaczone w oparciu o metodę Drupki przyjęły sumowe wartości dla okresów wegetacji na poziomie 182,4 mm, 246,8 mm, 227,6 mm odpowiednio dla lat 2010-2012. Dla rejonu Bydgoszczy i dziesięciolecia 2000-2009 **Rolbiecki i in. (2010b, 2010c)** uzyskali średnią wartość deficytu wody na poziomie 183,28 mm. Wartość ta niemalże pokrywa się z otrzymaną w niniejszej pracy dla sezonu 2010 pomimo stosowania odmiennych metod pomiaru danych meteorologicznych. Dane z pozostałych sezonów w niniejszych badaniach wykazały wyższe wartości deficytów niż średnia dla wielolecia określona przez **Rolbieckiego i in. (2010b, 2010c).** Dla porównania w innych badaniach, w tym samym dziesięcioleciu dla metody Drupki, **Rolbiecki i in. (2010a, 2010c)** w rejonie Chojnic i Torunia wyznaczyli średnie deficyty wody w szkółkach leśnych na niższym poziomie, a mianowicie 116,05 mm (Chojnice), 170,53 mm (Toruń). Wobec powyższego sezony 2011-2012 charakteryzowały się wyższymi deficytami wody niż średnie wartości dla dziesięciolecia 2000-2009, co wskazuje na zwiększone potrzeby nawadniania w tych okresach. Zastosowane nawadnianie w 1 roku uprawy względem 1 wariantu wodnego ujawniło wystąpienie niedoborów opadu na poziomie 38,1 mm i 69,2 mm dla sezonów lat 2010, 2011, a w 2 roku uprawy 66,6 mm i 54,4 mm odpowiednio dla okresów wegetacji 2011 i 2012. Dawki wody w okresie maj-sierpień zastosowane w ramach pozostałych wariantów wodnych doświadczenia w pełni pokryły obliczone dekadowe potrzeby siewek sosny.

Zapotrzebowania wodne Sosny zwyczajnej na podstawie ewapotranspiracji rzeczywistej określono dla miesięcy sezonu wegetacyjnego w 1 i 2 roku uprawy przy wykorzystaniu wyznaczonych w niniejszej pracy współczynników roślinnych oraz metod Hargreaves-a i Grabarczyka. W obliczeniach uwzględniono miesiące maj-sierpień, w których nawadnianie prowadzono zgodnie z wytycznymi nie ograniczając dawek w celu przygotowania siewek do spoczynku zimowego **(Pierzgalski i in. 2002)**, co miało miejsce we wrześniu. Zakładając równomierny rozkład opadów w badanych okresach, analizując wyznaczone potrzeby (tab. 31) można uznać, iż w 1 roku uprawy jedynie w sierpniu wystąpiły deficyty wody, a tym samym potrzeby nawadniania. Według powyższego wartość sumowa tych potrzeb wyniosła zaledwie 26,1 mm przy braku nawożenia oraz 25,2 mm przy nawożeniu. Ponadto w pozostałych miesiącach uzyskano sumowe nadwyżki opadu 112,2 mm i 112,4 mm odpowiednio dla braku nawożenia i dla nawożenia próchnicą. Jednakże charakterystyczny dla klimatu Polski nierównomierny rozkład opadów oraz niedostateczna ich ilość **(Babiński 1987, Babiński, Białkiewicz 1999)** wymusiły konieczność stosowania nawadniania uzupełniającego siewek sosny we wszystkich dekadach okresu wegetacji. W drugim roku uprawy nie wystąpiły okresy nadmiaru wody, a obliczony dekado-

wy niedobór wyniósł w sumie 251,1 mm (brak nawożenia) i 250,2 mm (próchnica). Zastosowane nawadnianie w ramach 2 wariantu wodnego w pełni pokryło potrzeby, przynosząc dodatkowo nadmiar w 1 roku na poziomie 461,7 mm i 462,8 mm, a w drugim roku 83,7 mm i 84,6 mm odpowiednio dla braku nawożenia i nawożenia. Spore wartości nadwyżki wody w 1 roku uprawy wynikają z nierównomiernie rozłożonymi w czasie wartościami opadów, a niewielkie nadwyżki w 2 roku wskazują na fakt dobrego określenia potrzeb nawadniania siewek przy większym pokryciu powierzchni przez rośliny.

W przeprowadzonych w ramach doświadczenia badaniach nawożenie organiczne próchnicą nadkładową istotnie wpłynęło na zwiększenie wysokości pędu nadziemnego siewek w 1 i 2 roku uprawy. **Rolbiecki i in. (2005a)** w doświadczeniach nad nawożeniem organicznym siewek sosny w 1 roku uprawy wskazali na nieistotny pozytywny wpływ tego zabiegu. Jednakże badania dotyczyły nawożenia kompostem powstałym z osadów ściekowych i torfu wysokiego. Istotny wpływ tego kompostu wykazali natomiast **Rolbiecki i in. (2007)** badając 2 letnie siewki sosny oraz **Rolbiecki i in. (2005b)** w 1 roku uprawy prowadząc doświadczenia na gruncie porolnym. Użycie do nawożenia organicznego osadów z dodatkiem kory sosnowej spowodowało istotny wzrost wysokości rocznych siewek **(Rolbiecki i in. 2009a).** Ponadto roczne badania **Rolbieckiego i in. (2009b)** z roku 2008 nad zastosowaniem kompostu z próchnicy nadkładowej w uprawie rocznych siewek wykazały brak jej istotnego wpływu na wysokość pędu siewek. Natomiast w doświadczeniu **Klimka i in. (2011b)** wykorzystującym do nawożenia kompost z osadów ściekowych i kory sosnowej autorzy wykazali istotny wpływ tego zabiegu na wysokość siewki w 1 roku uprawy jedynie w połączeniu z nawadnianiem. W badaniach **Rolbieckiego i in. (2009a)** dotyczących wpływu ściółkowania siewek sosny w 1 roku uprawy próchnicą nadkładową wykazali istotny wpływ tego zabiegu na wysokość pędu siewek. Zastosowanie kompostu z próchnicy leśnej pozyskanej z boru świeżego analizowali **Klimek i in. (2011a)** i stwierdzili istotnie zwiększenie wysokości siewek sosny na poziomie 46% w stosunku do roślin nienawożonych organicznie. W innych badaniach dotyczących zastosowania próchnicy nadkładowej, pozyskanej z terenu zrębowego boru świeżego, do ściółkowania **Rolbiecki i in. (2010d, 2011)** potwierdzili istotność wpływu tego zabiegu na wysokość 2 letnich siewek Sosny zwyczajnej. Natomiast te same badania **Rolbieckiego i in. (2010d)** nie potwierdziły statystycznie wpływu tego zabiegu na wzrost siewek w 1 roku uprawy. Ponadto **Rolbiecki i in. (2011)** wykazali pozytywny, istotny wpływ ściółkowania próchnicą nadkładową na zooedafon glebowy szkółki, a zwłaszcza na liczebność i różnorodność gatunkową saprofagicznych mechowców Oribatida, które pozytywnie wpływają na aktywność biologiczną gleb szkółek **(Rolbiecki i in. 2009a, Klimek i in. 2008).** Przytoczone wyniki badań świadczą o zależności wpływu nawożenia organicznego na siewki sosny od rodzaju zastosowanego nawozu organicznego. W niniejszych badaniach własnych zwiększone dawki nawadniania kroplowego w ramach 2 wariantu nawodnieniowego spowodowały wzrost wysokości roślin w 1 i 2 roku uprawy. Jednakże istotność wpływu potwierdzono

jedynie dla wysokości roślin po 2 roku uprawy. Wyniki te potwierdzają wnioski **Klimka i in. (2008)** z badań prowadzonych w analogicznych warunkach glebowych szkółki leśnej w latach 2003-2005, gdzie nawadnianie kroplowe istotnie zwiększyło wysokość roślin w 2 sezonie wegetacji. Jednakże autorzy potwierdzili istotność wpływu tego czynnika na siewki także w 1 sezonie. Podobne wyniki uzyskali **Rolbiecki i in. (2007)** w doświadczeniach polowych z lat 2004-2005 nad siewkami w 2 roku uprawy potwierdzając istotny wpływ nawadniania kroplowego na wysokość siewek sosny. Jednakże **Rolbiecki i in. (2005a)** w szkółce leśnej, a **Rolbiecki i in. (2005b)** na terenie porolnym wykazali istotny wpływ nawadniania kroplowego na wysokość pędu siewek w 1 roku uprawy, co nie zostało potwierdzone statystycznie w niniejszych badaniach. Przyczyn występowania różnic wyników dotyczących wpływu nawodnień kroplowych na siewki należy się doszukiwać w zwiększonych dawkach tego czynnika w przedmiotowych badaniach. Korzystny, istotny wpływ współdziałania nawożenia próchnicą i nawadniania na wysokość roślin został potwierdzony statystycznie jedynie dla 2 roku uprawy siewek sosny. Natomiast **Klimek i in. (2008)** potwierdzili istotny wpływ interakcji tych dwóch czynników na wysokość pędu sosny w 1 i 2 sezonie uprawy przy zastosowaniu torfu z kompostowanymi osadami ściekowymi. Korzystny udowodniony statystycznie wpływ nawożenia organicznego kompostem osadowo-torfowym w połączeniu z nawadnianiem kroplowym wykazali **Rolbiecki i in. (2007)** badając 2 letnie siewki w szkółce oraz **Rolbiecki i in. (2005b)** badając roczne siewki na gruncie porolnym. Otrzymane wyniki potwierdzają tezę, którą wysunęli **Lamhamedi i Gagnon (2003),** iż wyprodukowanie sadzonek wysokiej jakości w szkółkach leśnych jest determinowane optymalizacją nawożenia i nawadniania. Wysokie dawki 3 i 4 wariantu nawodnieniowego spowodowały obniżenie wysokości pędu roślin w 1 roku uprawy, ale istotność zmniejszenia została potwierdzona jedynie dla 4 wariantu. Wyjątek w 1 roku uprawy stanowiły rośliny nienawożone w 3 wariancie wodnym, które przyjęły najwyższą wartość tego parametru. W 2 roku uprawy nawadnianie 3 i 4 wariantu powodowało istotne obniżenie wysokości pędu siewek. **Heiskanen (1995)** stwierdził podobną zależność w warunkach torfu ubogiego w roztocze z rodzaju mechowców. Zaobserwował, iż siewki sosny rosnące w warunkach największego uwilgotnienia zareagowały słabszym wzrostem na zwiększone ilości wody w uprawie kontenerowej.

Zastosowane nawożenie organiczne próchnicą nadkładową wpłynęło istotnie na zwiększenie średnicy pędu siewek sosny w 1 i 2 roku uprawy. Natomiast doświadczenia **Rolbieckiego i in. (2005a)** wykazały nieistotny wpływ nawożenia organicznego na średnicę pędu siewek sosny w 1 roku uprawy, przy czym za nawóz organiczny posłużył autorom kompost otrzymany z osadów ściekowych i torfu wysokiego. Podobne wnioski uzyskali **Rolbiecki i in. (2009b)** stosując kompost z próchnicy nadkładowej w rocznej uprawie siewek sosny. Zastosowanie kompostu z higienizowanych osadów ściekowych i kory sosnowej w 1 roku uprawy w szkółce leśnej **(Klimek i in. 2011b)** oraz na terenie porolnym kompostu osadowo-torfowego **(Rolbiecki i in. 2005b)** także nie spowodowało

istotnego wzrostu tego parametru. W badaniach nad 2 letnimi siewkami sosny nawożonymi kompostem osadowo-torfowym **Rolbiecki i in. (2007)** dowiedli istotny wpływ tego zabiegu na wielkość przekroju pędu nadziemnego siewek. W innych badaniach **Rolbiecki i in. (2010d)** zastosowali z istotnym powodzeniem próchnicę nadkładową do ściółkowania siewek w 2 roku uprawy. Siewki w 1 roku nie zareagowały na ten zabieg istotnym zwiększeniem średnicy pędu. Badania **Klimka i in (2011a)** nad zastosowaniem kompostu z próchnicy leśnej nie wykazały istotności tego zabiegu dla zwiększenia średnicy pędu siewek sosny w 1 sezonie wegetacji. Zwiększone nawadnianie kroplowe w ramach 2 wariantu wywarło pozytywny, ale nieistotny statystycznie wpływ na wartość tego parametru w 1 i 2 roku uprawy siewek. Do podobnych wniosków doszli **Rolbiecki i in. (2007)** stwierdzając brak istotnego wpływu nawadniania kroplowego na średnicę pędu siewek sosny w 2 roku uprawy. Do nieco odmiennych wniosków doszli **Klimek i in. (2008)** i **Rolbiecki i in. (2005a)** w szkółce leśnej oraz **Rolbiecki i in. (2005b)** na terenie porolnym, stwierdzając istotny wpływ nawadniania na średnicę pędu siewek sosny w 1 roku jej uprawy. Powyższe rozbieżności mogą wynikać z faktu stosowania zwiększonych dawek wody w niniejszych badaniach. Nawadnianie względem W4 istotnie obniżało średnicę pędu roślin po 1 sezonie uprawy, a w 2 sezonie dawki przewyższające poziom 2 wariantu wodnego istotnie obniżały średnicę pędu części nadziemnej. Pozytywne współdziałanie nawożenia i zwiększonego nawadniania w 1 i 2 roku uprawy nie zostało potwierdzone w analizie wariancji. Do podobnych wniosków, tj. korzystny nieistotny wpływ współdziałania, doszli **Rolbiecki i in. (2007)** badając 2 letnie siewki sosny po zastosowaniu nawożenia kompostem osadowo-torfowym i nawadniania kroplowego. Istotność współdziałania tych czynników na średnicę pędu siewek sosny w 1 roku uprawy w badaniach z wykorzystaniem torfu i kompostu z osadów ściekowych wykazali **Klimek i in. (2008)** na glebie rdzawej oraz **Rolbiecki i in. (2005b)** na gruncie porolnym.

Zastosowanie próchnicy nadkładowej spowodowało istotne zwiększenie liczby igieł u siewek w 1 i 2 roku uprawy. Zwiększona dawka nawodnieniowa zgodne z 2 wariantem doświadczenia istotnie zwiększyła ilość liści u siewek zarówno w 1 jak i 2 roku uprawy. Dawki wyższe spowodowały istotne obniżenie liczebności igieł u roślin w 1 i 2 roku. Współdziałanie nawożenia próchnicą ze zwiększonym nawadnianiem kroplowym istotnie wpłynęło na wzrost liczebności liści w 1 roku po wysiewie, a nieistotnie z punktu widzenia statystyki w 2 roku.

Świeża masa części nadziemnej siewek została istotnie zwiększona poprzez zastosowanie nawożenia organicznego próchnicą nadkładową w 1 i 2 roku po wysiewie. Z badań innych autorów wynika, iż nawożenie organiczne wywiera korzystny wpływ na tę cechę siewek, ale statystyczne udowodnienie uzależnione jest od zastosowanego rodzaju nawozu organicznego. **Klimek i in. (2011b)** potwierdzili istotność nawożenia organicznego kompostem powstałym z osadów ściekowych i kory sosnowej na wartość tej cechy u siewek sosny w 1 roku uprawy. Podobnie badania **Klimka i in. (2011a)** wykorzystujące do nawożenia organicznego próchnicę leśną z siedliska boru świeżego wykazały istotne zwiększe-

nie świeżej masy siewek w 1 roku uprawy. Odmienny nieistotny rezultat przyniosło zastosowanie kompostu z osadów ściekowych z dodatkiem torfu wysokiego na świeżą masę pędu nadziemnego siewek sosny w 1 roku uprawy **(Rolbiecki i in. 2005a).** Natomiast doświadczenia **Rolbieckiego i in. (2009b)** przy wykorzystaniu kompostu z próchnicy nadkładowej pozyskanej z boru świeżego wykazały brak istotnego wpływu w uprawie rocznych siewek sosny na wartość tego parametru wzrostowego. Natomiast inne badania **Rolbieckiego i in. (2010d, 2011)** po zastosowaniu jesiennego ściółkowania próchnicą nadkładową siewek sosny w 2 roku ich uprawy ujawniły istotny wzrost świeżej masy roślin. Przy czym jesienne ściółkowanie siewek w 1 roku nie wpłynęło istotnie na tą cechę **(Rolbiecki i in. 2010d).** Zwiększone dawki wody zgodne z 2 wariantem tego czynnika pozytywnie, ale nieistotnie wpłynęły na tą cechę w 1 roku, a istotnie w 2 roku uprawy. Dla porównania, badania **Rolbieckiego i in. (2005a)** wykazały istotny wpływ nawadniania kroplowego na tę cechę w 1 roku uprawy siewek, jednakże nawadnianie prowadzone było zgodnie z wytycznymi dla szkółek leśnych **(Pierzgalski i in. 2002),** a w niniejszych badaniach zostało zwiększone. Większe dawki wody istotnie obniżyły wartość tej cechy w 1 i 2 sezonie wegetacyjnym siewek, a korzystne współdziałanie obydwu czynników w 1 i 2 roku uprawy nie znalazło odzwierciedlenia statystycznego. Powyższa charakterystyka wyników wskazuje na fakt odpowiedniego zaopatrzenia w wodę siewek sosny w 1 i 2 roku uprawy przy zastosowanym poziomie nawożenia organicznego. Jak wskazują badania **Szołtyk i Hilszczańskiej (2003)** w przeciwnym wypadku następowałoby ograniczenie dostępności wody dla roślin poprzez akumulację jej w strukturach organicznych, co skutkowałoby słabszym wzrostem siewek na poletkach nawożonych organicznie. Otrzymane wyniki dotyczące istotnego wpływu nawodnień kroplowych na badane parametry wzrostu siewek sosny zdają się potwierdzać tezę **Rzekanowskiego i in. (2011)** wskazującą na perspektywę wykorzystania systemów mikronawodnieniowych w szkółkarstwie i produkcji leśnego materiału sadzeniowego.

Siewki wszystkich wariantów doświadczenia w 1 i 2 roku po wysiewie cechowały się wysokością pędu przewyższającą minimalne kryteria wg polskiej normy dla najwyższej 1 klasy jakości siewek dla upraw leśnych i na plantacje **(PN-R-67025 1999).** Siewki nawożone organicznie próchnicą i nawadniane kroplowo wg 1 i 2 wariantu po 1 roku, aż o 150% przewyższały wartość minimalnego kryterium dla 1 klasy jakości osiągając maksimum w 2 wariancie wodnym. Natomiast siewki po 2 sezonie wegetacji nawożone i nawadniane osiągnęły rozmiary o ponad 200% wyższe od minimalnej normy 1 klasy jakości, z wyjątkiem 4 wariantu wodnego w sezonie 2011, gdzie wartość ta była nieco niższa. Największymi przewyższeniami względem 1 klasy jakości po 2 sezonie uprawy dla upraw i na plantacje cechowały się siewki nawożone i nawadniane wg 2 wariantu osiągając 251,7% w sezonie 2012. Biorąc pod uwagę kryterium średnicy pędu rośliny wszystkich wariantów, w 1 roku po wysiewie, przewyższyły minimalne wartości 1 klasy jakości dla upraw leśnych i na plantacje. Jednakże najwyższym przekroczeniem minimum po 1 roku uprawy cechowały się siewki

nawożone organicznie i nawadniane wg 2 wariantu. Analogicznie po 2 sezonie wegetacji siewki wszystkich wariantów doświadczenia przewyższyły wartości minimalne 1 klasy jakości upraw leśnych i na plantacje wg kryterium średnicy pędu. Najwyższe przekroczenie dotyczyło roślin nawożonych próchnica nawadnianych wg 2 wariantu, które osiągnęły w sezonie 2012 aż 336,5%.
Siewki wszystkich wariantów doświadczenia po 2 sezonie wegetacji osiągnęły ponad 120% minimalnej wysokości pędu klasyfikującej je do 1 klasy jakości siewek przeznaczonych dla zadrzewień i zakrzewień **(PN-R-65700 1998)** pomimo iż norma przewiduje takie wartości dla roślin w uprawie 3-letniej. Najwyższe przekroczenie minimalnej normy charakteryzowało siewki nawożone próchnicą i nawadniane zgodnie z 2 wariantem wodnym osiągając w roku 2012 188,8%.

6. WNIOSKI

➢ Współczynniki roślinne k_c dla Sosny zwyczajnej nawadnianej kroplowo w ramach 2 wariantu wodnego w 1 roku uprawy wyznaczone w oparciu o ET_o Hargreaves-a dla okresu maj-sierpień, przyjęły wartości w warunkach braku nawożenia odpowiednio 1,6; 1,4; 1,5; 1,7 oraz w warunkach nawożenia próchnicą 1,6; 1,4; 1,4; 1,6. W drugim roku uprawy odpowiednio dla braku nawożenia 1,3; 1,2; 1,5; 1,8, a dla nawożenia 1,3; 1,2; 1,5; 1,7.

➢ Współczynniki roślinne sosny nawadnianej kroplowo obliczone dla metody Grabarczyka w okresie maj-sierpień cechowały się wyższymi wartościami niż metody Hargreaves-a, odpowiednio w 1 roku bez nawożenia 3,0; 2,4; 2,1 2,2, z nawożeniem 3,0; 2,5; 2,1; 2,1, a dla 2 roku uprawy bez nawożenia 2,5; 2,2; 2,2; 2,3, z nawożeniem 2,6; 2,2; 2,2; 2,3.

➢ Potrzeby wodne sosny obliczone na podstawie klimatycznego bilansu wodnego metodami Szarowa, i Drupki ujawniły potrzebę nawadniania Sosny zwyczajnej w badanych sezonach wegetacyjnych wskazując na niepełne zaspokojenie jej potrzeb nawadnianiem zgodnym z wytycznymi dla szkółek leśnych (W1). Poziom nawadniania równy 200% dawki względem wytycznych zaspokoił obliczone potrzeby dla okresu największego zapotrzebowania sosny w wodę tj. maj-sierpień. Metody Hargreaves-a i Grabarczyka wykazały odpowiednie zaopatrzenie siewek nawadnianych w ramach 1 wariantu wodnego.

➢ Zapotrzebowanie wodne sosny obliczone na podstawie ewapotranspiracji rzeczywistej w oparciu o wyznaczone współczynniki k_c oraz sumy opadów atmosferycznych wykazało szereg okresów deficytowych, a tym samym konieczność stosowania nawodnień uzupełniających. Dla roślin w 1 roku uprawy obliczony deficyt wystąpił jedynie w sierpniu i wyniósł 26,1 mm dla warunków braku nawożenia i 25,2 mm dla nawożenia organicznego, a dla siewek w 2 roku uprawy objął wszystkie rozpatrywane miesiące i wyniósł w sumie 251,1 mm (brak nawożenia) oraz 250,2 mm (nawożenie organiczne). Zastosowane nawadnianie w ramach drugiego wariantu wodnego (200% dawki) pozwoliło w pełni pokryć obliczone potrzeby wodne.

➢ Wartości parametrów wysokości pędu nadziemnego, średnicy pędu oraz liczby igieł w 1 roku uprawy wzrastały liniowo, zaznaczając widoczne korzyści nawożenia próchnicą nadkładową względem braku nawożenia dopiero pod koniec okresu wegetacji.

➢ Cechy biometryczne siewek nawożonych organicznie w 2 roku uprawy charakteryzowały się znacznie wyższymi wartościami parametrów względem nienawożonych niż rośliny w 1 roku uprawy.

- Nawożenie organiczne próchnicą nadkładową istotnie, korzystnie wpływało na wszystkie badane cechy biometryczne siewek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) nieszkółkowanych, podcinanych po 1 roku w 1 i 2 roku uprawy w gruncie.

- Zwiększone dawki nawadniania kroplowego w obrębie 2 wariantu wodnego tj. 200% dawki standardowej stosowanej w szkółkach leśnych, korzystnie wpływały na wszystkie rozpatrywane cechy biometryczne siewek, ale istotnie jedynie na liczbę igieł po 1 i 2 roku uprawy, świeżą masę siewek po 2 roku oraz wysokość roślin po 2 roku uprawy.

- Dawki nawodnieniowe w ramach 4 (W4) wariantu powodowały istotne obniżenie wszystkich wartości badanych parametrów biometrycznych siewek sosny. Nawadnianie według 3 wariantu istotnie obniżyło wszystkie cechy biometryczne w 1 i 2 roku badań z wyjątkiem średnicy pędu w 1 roku uprawy (obniżenie nieistotne) oraz wysokości pędu po 1 roku w sezonie 2010, gdzie siewki przyjęły najwyższe wartości.

- Zastosowanie próchnicy nadkładowej wraz z nawadnianiem kroplowym w 2 wariancie wodnym doświadczenia istotnie współdziałało na wysokość pędu nadziemnego roślin w 2 roku oraz liczbę igieł w 1 roku uprawy.

- Siewki Sosny zwyczajnej nawożone próchnicą nadkładową i nawadniane kroplowo we wszystkich wariantach doświadczeń po 1 i 2 roku uprawy przewyższały parametry biometryczne najwyższej 1 klasy jakości według polskiej normy dla zadrzewień i zakrzewień oraz upraw leśnych i na plantacje.

- Rośliny w 1 roku uprawy nawadniane kroplowo wg 2 wariantu wodnego i nawożone próchnicą osiągnęły wartości, które o ponad 155% przewyższyły minimalne wartości wysokości pędu i pow. 150% dla średnicy pędu w odniesieniu do 1 klasy jakości sadzonek wg kryterium dla upraw leśnych i na plantacje.

- Siewki nawożone próchnicą i nawadniane kroplowo wg W2 w 2 roku uprawy osiągnęły wartości, które w największym stopniu o ponad 239% przewyższyły minimalne wartości wysokości pędu i o 254% względem średnicy pędu dla 1 klasy jakości sadzonek wg kryterium dla upraw leśnych i na plantacje.

- Zastosowanie próchnicy i nawadniania kroplowego wg 2 wariantu wodnego po 2 roku uprawy w gruncie pozwoliło uzyskać siewki osiągające ponad 179% wartości minimalnej wysokości pędu wg 1 klasy jakości dla zadrzewień i zakrzewień.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Aleksandrowicz-Trzcińska M., 2004: Kolonizacja mikoryzowa i wzrost Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w uprawie założonej z sadzonek w różnym stopniu zmikoryzowanych, ACTA Scientiarum Polonorum, Silvarum Colendarum Ratio et Industria Lignaria, Nr 3 (1), Warszawa, s. 5-15.
2. Babiński S., 1987: Melioracje wodne w lasach, Skrypty Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego Akademii Rolniczej w Warszawie, Wyd. SGGW-AR, Warszawa, s. 25-26, 63-64, 176-177.
3. Babiński S., Białkiewicz F., 1999: Deszczowanie szkółek, Rozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 152, 161-163.
4. Brandyk T., 1986: Nawadnianie terenów dolinowych, Rozdział w pracy zbiorowej „Podstawy melioracji rolnych" pod red. P. Prochala, PWRiL, Tom 1, Warszawa, s. 410-448.
5. Brandyk T., 1990: Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych, Rozprawy Naukowe i Monografie, Wyd. SGGW-AR, Warszawa, s. 7-9.
6. Campbell D., B., Jones M., D., Kiiskila S., Bulmer C., 2003: Two-year field performance of lodgepole pine seedlings: Effects of container type, mycorrhizal fungal inoculants, and site preparation, BC Journal of Ecosystems and Management, Volume 3, Number 2, s. 1-11.
7. Cieśliński Z., 1997: Zabiegi usprawniające odpływ wód podpowierzchniowych, Podrozdział w pracy zbiorowej „Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego" pod red. Z. Cieślińskiego, Wyd. AR, Poznań, s. 73-76.
8. Cieśliński Z., 1997a: Pojęcie, cel i zakres agromelioracji, Rozdział w pracy zbiorowej „Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego" pod red. Z. Cieślińskiego, Wyd. AR, Poznań, s. 13-17.
9. Cieśliński Z., 1997b: Potrzeby rolnictwa w zakresie agromelioracji, Rozdział w pracy zbiorowej „Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego" pod red. Z. Cieślińskiego, Wyd. AR, Poznań, s. 18-20.
10. Cieśliński Z., Szafrański C., 1997: Zabiegi usprawniające odpływ wód powierzchniowych, Podrozdział w pracy zbiorowej „Agromelioracje w kształtowaniu środowiska rolniczego" pod red. Z. Cieślińskiego, Wyd. AR, Poznań, s. 62-73.
11. DGLP 1997: Wykaz szkółek leśnych wg stanu na 31.12.1996 r., Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa.
12. Dmowski Z., Chmura K., 2006: Gospodarka wodna roślin, Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin" pod. red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL, Poznań, s. 82-83.
13. Drozd J., Nowak L., 2006: Gospodarka wodna gleby, Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin" pod. red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL, Poznań, s. 49, 56-64.

14. Drozd L., Florek M., 2000: Leśnictwo, AR Lublin, s. 74-77.
15. Drupka S., 1986: Nawodnienia deszczowniane i kroplowe, Rozdział w pracy zbiorowej „Podstawy melioracji rolnych" pod red. P. Prochala, PWRiL, Tom 1, Warszawa, s. 449-455, 568-575, 584-601, 608-610.
16. Dzieżyc J., 1986: Melioracje jako czynnik kształtowania środowiska przyrodniczego i produkcji rolniczej, Rozdział w pracy zbiorowej „Podstawy melioracji rolnych" pod red. P. Prochala, PWRiL, Tom 1, Warszawa, s. 19-25, 28-31.
17. Gąsiorek E., Grządziel M., Musiał E., Rojek M., 2012: Wyznaczanie wskaźnika względnego opadu na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu dla miesięcznych sum opadów, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 05, s. 182-183.
18. Gąsiorek E., Musiał E., 2011: Porównanie i klasyfikacja warunków opadowych na podstawie wskaźnika standaryzowanego opadu i wskaźnika względnego opadu, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, Tom 11, z. 4, s. 107-109.
19. Gil W., Głaz J., Gorzelak A., Kolk A., Łukaszewicz J., Mikułowski M., Rykowski K., Sierota Z., Zachara T., Zając S., 1999: Zalesianie terenów porolnych, pod red. A. Gorzelaka, IBL, Warszawa, s. 70-74.
20. Głaz J., Zajączkowski G., Jabłoński M., 2008: Informacja o Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe 2007, PDLLP, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 18-19.
21. Grabarczyk S., 1976: Polowe zużycie wody, a czynniki meteorologiczne, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 181, Warszawa, s. 507, 495–511.
22. Grabarczyk S., 1989: Potrzeby wodne użytków zielonych i traw, Rozdział w pracy zbiorowej „Potrzeby wodne roślin uprawnych" pod red. J. Dzieżyca, PWN, Warszawa, s. 192-193.
23. Grabarczyk S., Żarski J., 1986: Porównanie wysokości szacowanych dawek wody według różnych metod sterowania deszczowaniem, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 327, s. 162-163, 161-170.
24. Grabarczyk S., Żarski J., 1992: Próba statystycznej weryfikacji niektórych wzorów określających ewapotranspirację potencjalną, Zeszyty Naukowe ATR Bydgoszcz, nr 180, z. 32, s. 169-175.
25. Grabarczyk S., Żarski J., Dudek S., 1994: Zależność klimatycznych wskaźników niedoborów wodnych od opadów atmosferycznych, Roczniki AR w Poznaniu, s. 15-16.
26. Grygier P., Mroziński P., Artych P., Błasiak J., Ceitel J., Dźwierzyński K., Grądzki T., Gromaczkiewicz K., Grzybowski K., Jaworski A., Kacprzak P., Kaczmarczyk Z., Kułak S., Łukaszewicz J., Mielczarek M., Piecyk B., Rzońca Z., Skolud P., Skrobek G., Szkamruk Z., Żybura H., 2012: Zasady hodowli lasu, Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 21-22.

27. Grzywacz A., 2007: Grzyby ektomikoryzowe, Rozdział w pracy zbiorowej „Ektomikoryzy Nowe biotechnologie w Polskim szkółkarstwie leśnym" pod. red. S. Kowalskiego, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 11-16.
28. GUS 2013: Mały rocznik statystyczny Polski, ZWS, Warszawa, Rok LVI, s. 350-352.
29. Heiskanen J., 1995: Irrigation regime affects water and aeration conditions in peat growth medium and the growth of containerized Scots pine seedings, New forests, 9(3), s. 181-195.
30. Hewelke P., 1993: Podstawy regulowania wilgotności gleby za pomocą nawodnień kroplowych, Rozprawy Naukowe i Monografie, Wyd. SGGW, Warszawa, s. 7-11, 24-25, 38-41.
31. Hewelke P., Brandyk T., Szatyłowicz J., 1995: Gospodarowanie wodą w warunkach nawodnień kroplowych, W: V Ogólnopolska Konferencja Naukowa pt: „Usprawnienie eksploatacji urządzeń i systemów melioracyjnych" , Zeszyty Naukowe AR Wrocław, s. 113-121.
32. Hilszczańska D., 2003: Wpływ deszczowania na kolonizacje mikoryzową i zawartość ergosterolu w korzeniach siewek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.), Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A, Nr 963, s. 55-64.
33. Hilszczańska D., Sierota Z., 2006: Wpływ inokulum mikoryzowego grzyba Thelephora terrestris na wzrost sadzonek Sosny zwyczajnej Pinus sylvestris L. II. Badania polowe, Sylwan, 150(2), s. 27, 20-28.
34. Jeznach J., 1996: Analiza funkcjonowania systemów nawodnień kroplowych w różnych warunkach środowiskowych, Rozprawy Naukowe i Monografie, Wyd. SGGW, Vol. 206, Warszawa, s. 8-9, 12-15, 105-117.
35. Jeznach J., 2009: Aktualne trendy w rozwoju mikronawodnień, Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich, PAN, Kraków, Nr 6, s. 89-93.
36. Jeznach J., Pierzgalski E., 1993: Mikronawodnienia, Rozdział w pracy zbiorowej „Współczesne problemy melioracji" pod red. C. Somorowskiego, Wyd. SGGW, Warszawa, s. 201-208.
37. Jeznach J., Pierzgalski E., 1996: Przyrodnicze i techniczne trendy rozwoju mikronawodnień, Artykuł w pracy zbiorowej „Nawadnianie jako czynnik kształtujący wysokość i jakość plonów" , Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych, Zeszyt 438, WNRiL PAN, Warszawa, s. 175-182.
38. Jeznach J., Treder W., 2006: Kryteria doboru systemu nawadniającego, Podrozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin" pod. red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL, Poznań, s. 238-243.
39. Juntunen M., L., 2003: Environmental impacts of nurseries, Riley LE, Dumrose RK, Landis TD (tech. coords.), National proceedings: Forest and Conservations Nursery Associations-2002, Ogden UT: USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Proceedings RMRS-P-28, s. 64-73.

40. Kaczorowska Z., 1962: Opady w Polsce w przekroju wieloletnim, Przegląd Geograficzny, IG PAN, Nr 33, s. 112.
41. Kajewska J., Rojek M., 2007: Porównanie temperatury gleby mierzonej przy wykorzystaniu klasycznej i automatycznej stacji meteorologicznej, Artykuł w pracy zbiorowej „Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 18, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 35-36.
42. Kamińska J., Musiał E., Rojek M., 2007: Ocena ewapotranspiracji potencjalnej na podstawie pomiarów metodą klasyczną i za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej, Artykuł w pracy zbiorowej „Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 18, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 39-40.
43. Kasperska W., 1995: Zmienność współczynników roślinnych k do obliczania ewapotranspiracji użytków zielonych, W: V Ogólnopolska Konferencja Naukowa pt: „Usprawnienie eksploatacji urządzeń i systemów melioracyjnych" , Zeszyty Naukowe AR Wrocław, s. 145-151.
44. Kędziora A., 1995: Podstawy agrometeorologii, PWRiL, Poznań, s. 205-207, 207-210.
45. Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., 2011b: Wykorzystanie kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy leśnej do wzbogacania gleb w rocznym cyklu produkcji sadzonek Sosny zwyczajnej, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 1, s. 299-311.
46. Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., Kuss M., 2011a: Wykorzystanie próchnicy leśnej do rewitalizacji gleby w rocznym cyklu produkcji sadzonek Sosny zwyczajnej, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 6, s. 175-186.
47. Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Długosz J., Musiał M., 2013: Wykorzystanie kompostowanego osadu ściekowego i ektopróchnicy leśnej do wzbogacania gleb w uprawie szkółkarskiej lipy drobnolistnej (Tilia cordata Mill.), Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska, Rocznik Ochrona Środowiska, Tom 15, s. 2812-2813.
48. Klimek A., Rolbiecki S., Rolbiecki R., Hilszczańska D., Malczyk P., 2008: Impact of Chosen Bare Root Nursery Practices in Scots Pine Seedling Quality and Soil Mites (Acari), Polish Jurnal of Environmental Studies, Volume 17, No. 2, s. 247-255.
49. Kłoskowska A., 1996: Formowanie systemów korzeniowych sadzonek drzew leśnych, Biblioteczka leśniczego zeszyt 67, SITLID, DGLP, Warszawa, s. 6-15.
50. Kłoskowska A., 1999: Produkcja wielolatek, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 87-90.
51. Kowalski S., 2007: Ekologiczne aspekty ektomikoryz – od badań podstawowych do praktycznego zastosowania w polskim leśnictwie, Rozdział w

pracy zbiorowej „Ektomikoryzy Nowe biotechnologie w Polskim szkółkarstwie leśnym" pod. red. S. Kowalskiego, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 28-37.
52. Lamhamedi M., S., Gagnon J., 2003: New Forest Seedling Production Technologies in Quebec and their Integration in Reforestation Programs in Developing Countries, XII World Forestry Congress – Québec, Canada, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec, s. 3-10.
53. Landis T., D., 2008: Root Culturing in Bareroot Nurseries, Forest Nursery Notes, USDA - United States Department of Agriculture, Forest Service, Volume 28, Issue 1, s. 9-15.
54. Leciejewski P., 2011: Nawodnienia w szkółkach leśnych, Biblioteczka Leśniczego, Wydawnictwo Świat, Zeszyt 330, Warszawa, s. 7-12.
55. Leski T., Rudawska M., Aucina A., Skridaila A., Riepsas E., Pietras M., 2009: Wpływ ściółki sosnowej i dębowej na wzrost sadzonek sosny i zbiorowiska grzybów mikoryzowych w warunkach szkółki leśnej, Sylwan, 153(10), s. 675-683.
56. Łabędzki L., 2006: Susze rolnicze, Zarys problematyki oraz metody monitorowania i klasyfikacji, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Rozprawy Naukowe i Monografie, IMUZ, Nr 17, s. 32, 38-40, 62, 66-67.
57. Łabędzki L., Kasperska-Wołowicz W., 2002: Porównanie ewapotranspiracji wskaźnikowej obliczanej na podstawie pomiarów wykonanych na standardowej i automatycznej stacji agrometeorologicznej, Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, Tom 2, z. 2(5), s. 21-31.
58. Łabędzki L., Szajda J., Szuniewicz J., 1996: Ewapotranspiracja upraw rolniczych - terminologia, definicje, metody obliczania, Przegląd stanu wiedzy, Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Falenty, Nr 33, s. 5-10.
59. Łyczko W., Olszewska B., Pływaczyk L., 2000: Porównanie metody TDR oraz metody suszarkowo-wagowej do określania uwilgotnienia rożnych typów gleb w dolinie Odry, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Inżynieria Środowiska, Nr 11, s. 253-260.
60. Marcilonek S., 1994: Eksploatacja urządzeń melioracyjnych, Wyd. AR, Wrocław, s. 218-220.
61. Marcinek J., Komisarek J., 2011: Systematyka gleb Polski, Rocznik Gleboznawczy 62(3), s. 144-150.
62. Mazur S., 2003: Znaczenie zabiegów fito- i zoomelioracyjnych w biologicznym uodparnianiu drzewostanów na gruntach porolnych, Biblioteczka Leśniczego, Wydawnictwo Świat, Zeszyt 176, Warszawa, s. 5-9.
63. Niski A., 1992: Nawożenie organiczne, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 35-43.

64. Niski A., 1999: Nawożenie organiczne, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 44-46.
65. Nyc K., 1996: Ekonomiczne systemy nawadniające, Artykuł w pracy zbiorowej „Nawadnianie jako czynnik kształtujący wysokość i jakość plonów" , Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 438, W5-NRiL PAN, Warszawa, s. 125-132.
66. Nyc K., Pokładek R., 2009: Eksploatacja systemów melioracyjnych podstawą racjonalnej gospodarki wodnej w środowisku przyrodniczo-rolniczym, Współczesne Problemy Inżynierii Środowiska, Nr XIV, Wyd. UP, Wrocław, s. 50-58.
67. Ostromęcki J., 1973: Podstawy melioracji nawadniających, PWN, Warszawa, s. 83-86, 219-223.
68. Pachlewski R., 1999: Mikotrofizm sadzonek i ich mikoryzacja w szkółkach, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 40-44.
69. Pęczkowski G., Żyromski A., Kostrzewa S., 2007: Zastosowanie metody TDR (Time Domain Reflectometry) do pomiaru uwilgotnienia glin z dużą zawartością szkieletu, Artykuł w pracy zbiorowej „Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 18, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 201-202.
70. Pierzgalski E., Jeznach J., 1993: Stan i kierunki rozwoju mikronawodnień, Podrozdział w pracy zbiorowej „Współczesne problemy melioracji" pod red. C. Somorowskiego, Wyd. SGGW, Warszawa, s. 35-42.
71. Pierzgalski E., Tyszka J., Boczoń A., Wiśniewski S., Jeznach J., Żakowicz S., 2002: Wytyczne nawadniania szkółek leśnych na powierzchniach otwartych, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 6-12, 25, 30-44.
72. Pływaczyk A., 2006: Systemy i technologie melioracji nawadniających, Rozdział w pracy zbiorowej „Nawadnianie roślin" pod. red. S. Karczmarczyka i L. Nowaka, PWRiL, Poznań, s. 143-150.
73. PN-R-65700 1998, Polska Norma, Materiał siewny, Nasiona drzew i krzewów leśnych i zadrzewieniowych.
74. PN-R-67025 1999, Polska Norma, Materiał sadzeniowy, Sadzonki drzew i krzewów do upraw leśnych i na plantacje, Polski Komitet Normalizacyjny, s. 3-5, 10.
75. PN-R-67026 2002, Polska Norma, Materiał sadzeniowy, Sadzonki drzew i krzewów do zadrzewień i zakrzewień, Polski Komitet Normalizacyjny, s. 3-7.
76. Prusinkiewicz Z., 1994: Leksykon ekologiczno-gleboznawczy, PWN, Warszawa, s. 148, 206.

77. Puchniarski T., 2012: Szkółki otwarte i podokapowe, Biblioteczka Leśniczego, Wydawnictwo Świat, Zeszyt 347, Warszawa, s. 3-18.
78. Puchniarski T., H., 2008: Sosna zwyczajna – hodowla i ochrona, PWRiL, Warszawa, s. 16, 46-51.
79. Reinhard T., Reinhard A., Nyc K., 2007: Model uwilgotnienia gleby nawadnianej systemem kroplowym, Artykuł w pracy zbiorowej „Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 18, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 207-209.
80. Roguski W., Gabrych K., 1974: Parowanie terenowe niektórych roślin uprawnych na glebach wytworzonych z piasków gliniastych mocnych, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 161, s. 169-181.
81. Rojek M., 1987: Rozkład czasowy i przestrzenny klimatycznych i rolniczo-klimatycznych bilansów wodnych na terenie Polski, Zeszyty Naukowe AR Wrocław, z. 62, s. 1-67.
82. Rolbiecki R., Rolbiecki S., Klimek A., Hilszczańska D., 2005a: Wstępne wyniki badań nad wpływem mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) z udziałem zabiegu zoomelioracji, Artykuł w pracy zbiorowej „Kształtowanie i Ochrona Środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 12, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 227-228.
83. Rolbiecki R., Rolbiecki S., Klimek A., Hilszczańska D., 2005b: Wpływ mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję jednorocznych sadzonek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) na gruncie porolnym obiektu Kruszyn Krajeński z udziałem zabiegu zoomelioracji (badania wstępne), Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 4, s. 131-143.
84. Rolbiecki R., Rolbiecki S., Klimek A., Hilszczańska D., 2007: Wpływ mikronawodnień i nawożenia organicznego na produkcję dwuletnich sadzonek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) w szkółce leśnej z udziałem zabiegu zoomelioracji, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 1, s. 101-112.
85. Rolbiecki S., Fórmaniak A., Musiał M., Ryterska H., 2010a: Porównanie potrzeb nawadniania szkółek leśnych w rejonie Chojnic i Torunia w latach 2000-2009, W: Diagnozowanie Stanu Środowiska, Metody Badawcze – Prognozy, Kompleksowe Badania I Ochrona Środowiska Naturalnego (Red. J. Garbacz), Tom IV, BTN, Bydgoszcz, s. 219-225.
86. Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Hilszczańska D., 2009a: Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania na wzrost jednorocznych siewek Sosny zwyczajnej oraz właściwości biologiczne gleb w szkółce leśnej w warunkach mikrozraszania, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 6, s. 229-243.
87. Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Hilszczańska D., 2011: Wpływ nawożenia organicznego i ściółkowania ektopróchnicą na wzrost dwuletnich siewek Sosny zwyczajnej (Pinus sylvestris L.) i aktywność biologicz-

ną gleb w warunkach mikrodeszczowania, W: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, Zeszyt 561, PAN, Warszawa, s. 147-158.
88. Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Kuss M., 2009b: Wstępne badania nad wpływem wybranych zabiegów ulepszających na wzrost jednorocznych siewek Sosny zwyczajnej oraz występowanie roztoczy (Acari) glebowych w szkółce leśnej w warunkach nawodnień, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 5, s. 155-166.
89. Rolbiecki S., Klimek A., Rolbiecki R., Kuss M., Fórmaniak A., Ryterska H., 2010d: Wzrost siewek ściółkowanej brzozy brodawkowatej i Sosny zwyczajnej w warunkach nawodnień w szkółce leśnej Bielawy w Nadleśnictwie Dobrzejewice, W: Diagnozowanie Stanu Środowiska, Metody Badawcze -Prognozy, Kompleksowe Badania I Ochrona Środowiska Naturalnego (Red. J. Garbacz), Tom IV, BTN, Bydgoszcz, s. 237-246.
90. Rolbiecki S., Musiał M., Fórmaniak A., Ryterska H., 2010b: Próba oceny potrzeb nawadniania szkółki leśnej na glebie piaszczystej w okolicy Bydgoszczy w latach 2000-2009, W: Diagnozowanie Stanu Środowiska, Metody Badawcze – Prognozy, Kompleksowe Badania I Ochrona Środowiska Naturalnego (Red. J. Garbacz), Tom IV, BTN, Bydgoszcz, s. 211-218.
91. Rolbiecki S., Musiał M., Fórmaniak A., Ryterska H., 2010c: Próba porównania potrzeb nawadniania szkółek leśnych w latach 2000-2009 w okolicach Bydgoszczy, Chojnic i Torunia, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 14, s. 23-30.
92. Rozwałka Z., 2003: Zasady hodowli lasu obowiązujące w Państwowym Gospodarstwie Leśnym Lasy Państwowe, Dyrekcja Generalna Lasów Państwowych, Warszawa, s. 37-42.
93. Rzekanowski C., Żarski J., Rolbiecki S., 2011: Potrzeby, efekty i perspektywy nawadniania roślin na obszarach szczególnie deficytowych w wodę, Postępy Nauk Rolniczych, PAN, Warszawa, Kwartalnik, Nr 345 rok 63, Z. 1, s. 51-62.
94. Sayer E., J., 2006: Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems, Biological Reviews, 81(1), s. 1-31.
95. Strona internetowa: http://www.nawadnianie.inhort.pl/eto
96. Szejba D., Szatyłowicz J., 2007: Porównanie metod obliczania ewapotranspiracji potencjalnej użytków zielonych na przykładzie doliny Biebrzy, Artykuł w pracy zbiorowej „Melioracje wodne w kształtowaniu i ochronie środowiska", Inżynieria Ekologiczna nr 18, Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej, Warszawa, s. 57-58.
97. Szołtyk G., Hilszczańska D., 2003: Rewitalizacja gleb w szkółkach leśnych, Wydanie znowelizowane i ujednolicone, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa, s. 7-12, 18-21, 28-29.
98. Treder W., Wójcik K., Klamkowski K., Tryngiel-Gać A., 2011: Ocena przestrzennej zmienności występowania opadów w Polsce centralnej w

sezonie wegetacyjnym roku 2010, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PWN, Kraków, Nr 5, s. 49-60.
99. Treder W., Wójcik K., Żarski J., 2010: Wstępna ocena możliwości szacowania potrzeb wodnych roślin na podstawie prostych pomiarów meteorologicznych, Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa, Tom 18, s. 143-153.
100. Trybała M., 1996: Gospodarka wodna w rolnictwie, PWRiL, Warszawa, s. 11, 41-45.
101. Urbański K., 1999: Wpływ czynników klimatycznych na wzrost i rozwój materiału sadzeniowego, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 36-40.
102. Ustawa 2001: Ustawa z dnia 7 czerwca 2001 r. o leśnym materiale rozmnożeniowym, Dz. U. 2011 r., Nr 73, poz. 761, tekst jednolity, art. 52 ust. 1, 2, art. 53 pkt. 5.
103. Vermeiren I., Jobling G., A., 1980: Localised Irrigation - design, instalation, operation, evaluation, Land and Water Development Div., Estudos FAO, Rzym, nr 36.
104. Walczyk J., Tylek P., 2010: Technologia siewu punktowego w szkółkach leśnych, Biblioteczka Leśniczego, Wydawnictwo Świat, Zeszyt 304, Warszawa, s. 3-18.
105. Walendzik R., J., 1999a: Rodzaje szkółek, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 13.
106. Walendzik R., J., 1999b: Wybór miejsca pod szkółkę, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 13-14.
107. Walendzik R., J., Szołtyk G., 1999: Nawożenie mineralne i wapnowanie, Podrozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 55-62.
108. Widmoser P., 2009: A discusion on and alternative to the Penman-Monteith equation, Agricultural Water Management, Nr 96.4, s. 711-721.
109. Więcko E., 1996: Słownik encyklopedyczny leśnictwa, drzewnictwa, ochrony środowiska, łowiectwa oraz dziedzin pokrewnych, SGGW, Warszawa, s. 388, 426, 435, 482.
110. Zajączkowski K., 1999: Produkcja materiału sadzeniowego do zadrzewień, Rozdział w pracy zbiorowej „Szkółkarstwo leśne, ozdobne i zadrzewieniowe" pod. red. R. Sobczaka, Wydawnictwo Świat, Warszawa, s. 187-188.
111. Żarski J., 2011: Tendencje zmian klimatycznych wskaźników potrzeb nawadniania roślin w rejonie Bydgoszczy, Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich, PAN, Kraków, Nr 5, s. 29-37.

8. ANEKS



Fot. 1. Początek wschodów siewek sosny, maj 2010.



Fot. 2. Pełnia wschodów siewek sosny, maj 2010.



Fot. 3. Pełnia sezonu wegetacyjnego sosny w 1 roku uprawy, sierpień 2010.



Fot. 4. Początek sezonu wegetacyjnego sosny w 2 roku uprawy, maj 2011.



Fot. 5. Pełnia sezonu wegetacyjnego sosny w 2 roku uprawy, lipiec 2011.



Fot. 6. Nawadnianie siewek w 2 roku uprawy, maj 2012.



Fot. 7. Koniec sezonu wegetacyjnego siewek w 2 roku uprawy, październik 2012.



Fot. 8. Siewki nienawożone org. po 1 roku uprawy z 2 wariantu wodnego, październik 2010.



Fot. 9. Siewki nawożone org. po 1 roku uprawy z 2 wariantu wodnego, październik 2010.



Fot. 10. Siewki nienawożone org. po 2 roku uprawy z 2 wariantu wodnego, październik 2012.



Fot. 11. Siewki nawożone org. po 2 roku uprawy z 2 wariantu wodnego, październik 2012.