



UNIWERSYTET ROLNICZY
im. H. Kołłątaja w Krakowie
Wydział Rolniczo-Ekonomiczny



Barbara Białczyk

**Wykorzystanie innowacyjnych włókien w początkowym rozwoju
roślin na terenach trudnych**

Rozprawa doktorska wykonana
w Katedrze Agroekologii i Produkcji Roślinnej
pod kierunkiem naukowym
Dr hab. inż. Piotr Kacorzyc prof. URK

Kraków 2023

*Niniejszym składam serdeczne podziękowania mojemu promotorowi,
Panu dr hab. inż. Piotr Kacorkowi, prof. URK
za poświęcony czas, udzielenie wszechstronnej
pomocy naukowej oraz wsparcie w trakcie
realizacji niniejszej pracy.*

*Dziękuję również
Panu Prof. dr hab. inż. Mirosław Kasperczykowi
za życzliwą pomoc, liczne wskazówki merytoryczne
a także za wskazanie odpowiedniej literatury.*

Spis treści

| | |
|---|----|
| 1. Wstęp | 4 |
| 1.1. Zarys problemu | 4 |
| 1.2. Przegląd literatury | 6 |
| 2. Cel pracy | 12 |
| 3. Materiały i metody badań | 13 |
| 3.1. Badania laboratoryjne | 14 |
| 3.2. Badania terenowe | 15 |
| 4. Wyniki | 22 |
| 4.1. Wyniki uzyskane w warunkach laboratoryjnych | 22 |
| 4.1.1. Charakterystyka włókien | 22 |
| 4.1.2. Pojemność wodna włókien i ich zdolność do zatrzymywania wody | 23 |
| 4.1.3. Zdolność przenikania pary wodnej przez włókniwy | 25 |
| 4.1.4. Wpływ podłoża z włókien na kiełkowanie nasion mieszanki..... | 26 |
| 4.2. Wyniki badań uzyskane w warunkach terenowych | 28 |
| 4.2.1. Stan wschodów wysianych roślin | 28 |
| 4.2.2. Skład florystyczny..... | 29 |
| 4.2.3. Stan wschodów i pokrycie powierzchni gleby przez rośliny | 35 |
| 4.2.4. Kształtowanie się współczynnika LAI..... | 37 |
| 4.2.5. Plon suchej masy i zawartość azotu w materiale roślinnym oraz jego zbiór z plonem roślin 38 | |
| 4.2.6. Ilość dostarczonego azotu do gleby z rozkładających się włókien | 41 |
| 4.2.7. Wilgotność gleby | 43 |
| 4.2.8. Właściwości fizyko-chemiczne gleby | 44 |
| 5. Dyskusja | 46 |
| 6. Wnioski | 50 |
| 7. Zgłoszenie patentowe | 51 |
| 8. Literatura | 52 |
| 9. Spis tabel | 59 |
| 10. Spis rycin | 60 |

1. Wstęp

1.1. Zarys problemu

Włókniny mają wszechstronne zastosowanie w gospodarce narodowej. Wykorzystywane są one w przemyśle, budownictwie i ogrodnictwie. Szczególną rolę pełnią one w rolnictwie i ogrodnictwie, gdzie produkcja jest mocno uzależniona od warunków klimatycznych. W tych gałęziach produkcji jej znaczenie polega na łagodzeniu amplitudy temperatur, wilgotności i nasłonecznienia. Oprócz tego na terenach o zróżnicowanej konfiguracji (tzw. trudnych) włóknina dodatkowo chroni nasiona i glebę przed zmyciem. Do terenów trudnych zalicza się takie, gdzie adaptacja roślin i ich początkowy rozwój jest utrudniony z racji niekorzystnych czynników klimatycznych i glebowych. Przykładem terenów trudnych jest nowo uformowana trasa narciarska, na której utworzenie zadarnienia jest przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej. Przy profilowaniu tego typu tras dochodzi do przesunięcia dużej ilości gleby, częściowego odkrycia skały macierzystej i zubożenia gleby w składniki nawozowe.

Większość włókien jest produkowana na bazie polimerów syntetycznych. Po ich wykorzystaniu stają się one uciążliwym odpadem, czas jaki będzie niezbędny dla przyrody na uporanie się z „ciałem obcym” może być długi, a efekty procesu nieoczekiwane i trudne do zaakceptowania dla ludzkości [Bonafe, 2020]. W czasie rozkładu włókien uwalnia się wiele składników ujemnie wpływających na środowisko przyrodnicze. A zatem można stwierdzić, że włóknina z jednej strony jest cennym materiałem, a z drugiej strony poważnym obciążeniem środowiska przyrodniczego. Częściowo dla potrzeb rolnictwa i ogrodnictwa, do produkcji włókniny tzw. biodegradowalnej wykorzystuje się polilaktyd (PLA) produkowany głównie z cennego ziarna kukurydzy. Dlatego za wszelką cenę poszukuje się surowców i metod pozwalających produkować włókninę na bazie polimerów naturalnych bądź przy częściowych ich wykorzystaniu. Najlepszym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie surowców naturalnych a zwłaszcza tych, które są odpadem działalności gospodarczej. Takim surowcem przypuszczalnie mogą być pióra ptasie pochodzące z uboju drobiu. Dlatego w ramach projektu badawczego pt. Opracowanie innowacyjnych włókien ochronnych z dodatkiem piór, akronim Ekopióro rozpoczęto badania nad możliwością wykorzystania piór do produkcji włókniny. Wstępne prace badawcze z włókninami wytworzonymi z piór są obiecujące, gdyż otrzymane włókniny w badaniach laboratoryjnych cechują się zbliżonymi parametrami fizycznymi do włókien syntetycznych. Dlatego podjęto badania nad możliwością wykorzystania włókien

nowej generacji w praktyce. Miejscem tych badań jest uformowana trasa narciarska na Jaworzynie Krynickiej, na której konieczne jest stworzenie szybkiego i dobrego zadarnienia.

1.2. Przegląd literatury

Włóknina to cenny produkt technologiczny. Główną jej zaletą jest zmniejszenie / łagodzenie ujemnego wpływu czynników klimatycznych. Dlatego ma ona szerokie zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki narodowej. Wu i in. [2020] podają, że jej zużycie na świecie w 2019 roku wynosiło 1,4 biliona m² i ma trend wzrostowy. Powszechnie w handlu są dostępne włókniny w skład, których wchodzi geowłókniny - są to płaskie, przepuszczalne materiały tekstylne. Otrzymywane są w wyniku przekształceń mechanicznych, termicznych lub chemicznych [Bolt i Duszyńska 2001, Jermołowicz 2016]. Poszczególne metody i technologie produkcyjne geowłóknin decydują o sposobie wykorzystania wyrobu [Cholewa i in. 2013]. W globalnym zużyciu znaczący udział ma włóknina stosowana w rolnictwie i ogrodnictwie, zwana również agrowłókniną, ponieważ produkcja w tych działach gospodarki jest mocno uzależniona od warunków klimatycznych. Według danych FAO w roku 2019 sektor rolniczy jest odpowiedzialny za zużycie w produkcji około 125 mln ton produktów z tworzyw sztucznych [FAO, 2021]. Agrowłóknina jest wytwarzana z polimerów chemicznych, posiada nieregularną strukturę posplatanych włókien z odcisniętymi rowkami co pozwala na swobodną cyrkulację powietrza i wody. Jest wytrzymała i cechuje się małą gramaturą, a jej trwałość wynosi 2-4 lata. Na niektórych rodzajach włókniny są naniesione wzory, co pozwala rozplanować sadzonki roślin. Mogą być również wyposażone w stabilizatory UV chroniące rośliny przed niekorzystnymi działaniami promieni słonecznych. Agrowłóknina spełnia wiele funkcji: ogranicza ujemny wpływ warunków atmosferycznych na rozwój roślin (ogranicza amplitudę temperatur, wilgotności i nasłonecznienia), ponadto korzystnie wpływa na właściwości fizyko-chemiczne gleby stymulując życie biologiczne [Hancock i Collins 2006, Wołoszyn 2009, Borreani i in. 2018, Tosic i in. 2019, Wilkinson i Muck 2019]. W badaniach wymienieni autorzy wykazali, że średnia temperatura gleby na głębokości 10 cm pod przykryciem włókniną była o 1 °C wyższa w porównaniu z glebą bez okrycia. Z kolei według Wołoszyna [2009] biały kolor włókniny chroni rośliny i glebę przed bezpośrednim działaniem promieni słonecznych, a zatem wysokie albedo włóknin sprzyja rozwojowi zarówno masy podziemnej jak i nadziemnej roślin. Sonneveld i Krei [1990], Dalton i in. [1997] wykazali dodatni wpływ włóknin na rozmieszczenie korzeni w glebie i ich reakcję na różne stresy. Chociaż Siwek i in. [2002] w swych badaniach takiej zależności nie stwierdzili. Efektem tego jest uzyskiwanie wyższych plonów o lepszej jakości oraz możliwość wydłużenia okresu zbioru [Wolfe i in. 1989, Orłowski i in. 2005, Adamczewska, Rekowska 2011, Siwek i in. 2012]. Ponadto agrowłóknina chroni strukturę gruzełkową gleby przed niszczącym działaniem

kropli deszczu a także na terenach o zróżnicowanej konfiguracji przed zmyciem nasion i gleby. Chroni ona również uprawy przed zachwaszczeniem, gradobiciem, szkodnikami i chorobami.

O pozytywnym działaniu włókniny w produkcji roślin donosi wielu badaczy. Z badań Rosa [2013] wynika, że wykorzystanie włókniny w osłonie kukurydzy cukrowej skróciło okres wegetacji o 8 dni i jednocześnie zwiększyło liczbę kolb na roślinie w odniesieniu do obiektu bez okrywy. Orłowski i in. [2005] pod osłonami w uprawie cebuli otrzymali wyższe plony o 12% w porównaniu z kontrolą. Natomiast w badaniach Siwka i in. [2002] przykrycie cebuli włókniną zwiększyło plony aż o 33%. Inni badacze donoszą o korzystnym wpływie włóknin na skład chemiczny roślin. Na przykład z badań Rekowskiej [2011] wynika, że zawartość cukru w suchej masie sałaty uprawianej pod osłonami była o 2,49% wyższa w porównaniu z kontrolą. W badaniach Siwka i in. [2002] ogórki uprawiane pod osłoną cechowały się mniejszą zawartością azotanów. Włóknina jest również wykorzystywana do budowy tuneli ogrodniczych i ocieplania szklarni.

Szczególną rolę odgrywa włóknina przy adaptacji roślin na nowo uformowanych budowlach ziemnych takich jak: wały przeciwpowodziowe, przydrożne rowy melioracyjne, skarpy, nowo uformowane stoki narciarskie, wszelkiego rodzaju nasypy. Budowle te przez autora niniejszej pracy zwane są terenami trudnymi ponieważ warunki do początkowego wzrostu i rozwoju roślin są niekorzystne. Zagospodarowanie tych terenów głównie polega na ich szybkim zadarnieniu, które ma na celu nie tylko stabilizację gleby a także decyduje o estetyce krajobrazu i trwałości danej inwestycji.

Podstawowymi gatunkami do zadarnienia terenów trudnych są trawy [Harkot i Czarnecki 1999, Harkot i in. 2002]. Zagospodarowanie tych terenów nie zawsze daje należyte efekty. Przy intensywnych opadach wysiane nasiona, nawozy i gleba ulegają zmyciu. Z kolei przy braku odpowiedniej ilości opadów i małej pojemności wodnej podłoża często siewki zamierają z braku wody. Na terenach trudnych zjawisko obumierania roślin w początkowej fazie wzrostu jest bardzo częste. W takich sytuacjach zabiegi uprawowe i siew należy powtórzyć. Wiąże się to ze znacznymi nakładami, gdyż same nasiona mieszanek kosztują 2000–3000 PLN w przeliczeniu na hektar a do tego należy doliczyć nakłady ponownego przygotowania gleby, wysiewu nawozów i nasion. Rozwiązaniem powyższego problemu może być okrywanie budowli ziemnych agrowłókniną. Potwierdzeniem powyższej opinii są wyniki badań otrzymane przez Kacorzyka i in. [2022] na rekonstruowanym wale przeciw powodziowym nad rzeką Wisłą w Krakowie. Otóż zastosowana włóknina do przykrycia gleby

i nasion po okresie 2 miesięcy spowodowała zadarnienie powierzchni na poziomie 30%. Natomiast na powierzchni bez okrywy z włókniny rośliny po wschodach zaschły z powodu suszy i zaistniała konieczność ponownego obsiewu tych powierzchni. Również w innych badaniach Kacorzyk i in. [2018] wykazali korzystny wpływ włókniny na początkowy rozwój roślin przy rekonstrukcji wału na rzece Przemszy. Po 6 tygodniach od wysiewu liczba skielkowanych traw pod okrywą włókniny była 2-krotnie większa niż bez okrywy. Zależność ta również była widoczna po okresie 3 miesięcy, gdzie zadarnienie powierzchni przykrytych włókniną w początkowym okresie wynosiło około 70% w odniesieniu do 40% bez okrywy. Czynnikiem decydującym o skuteczności procesu zadarniania terenów trudnych jest zastosowanie włóknin, które stabilizują stosunki wodne [Kacorzyk i in. 2018]. Stabilizacja ta polega na pochłanianiu przez włókninę znacznej ilości wody pochodzącej z opadu atmosferycznego (deszczu, rosy) i powolnym jego oddawaniu roślinom w dłuższym okresie czasu. Ten sposób zagospodarowania terenów uważa się za wysoce skuteczny i ekonomiczny.

Nie tylko włóknina decyduje o zadarnieniu powierzchni trudnych. Uzyskanie gęstej i trwałej darni wymaga użycia do wysiewu odpowiedniego materiału siewnego a także stosowania prawidłowych zabiegów pielęgnacyjnych. Do tego celu najlepiej nadają się trawy wraz z bobowatymi. Podstawowymi gatunkami tworzącymi dobre zadarnienie są trawy z grupy niskich tj. życica trwała (*Lolium perenne* L.), wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.), kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.), oraz rośliny bobowate takie jak: komonica zwyczajna (*Locus corniculatus* L.), koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) [Goliński 2000, Sawicki 2003, Golińska 2018, Kacorzyk i Kasperczyk, 2016]. Ta grupa gatunków oprócz tworzenia gęstej darni cechuje się również tworzeniem małej masy nadziemnej co ma istotne znaczenie w obniżce kosztów pielęgnacji tych terenów (koszenie, usuwanie biomasy) [Kacorzyk i Kasperczyk 2016]. Chociaż niektórzy autorzy do tego celu zalecają również trawy wysokie kostrzewę trzcinowatą (*Festuca arundinacea* Schreb.), kłosówkę wełnistą (*Holcus lanatus* L.), z racji dużej trwałości i małych wymagań siedliskowych [Kozłowski 1997, Prończuk 2003, Antonkiewicz 2006]. W niniejszych badaniach oprócz życicy trwałej, wiechliny łąkowej, kostrzewy czerwonej do obsiewu użyto kostrzewy łąkowej z racji powszechnego występowania w tych warunkach siedliskowych. Trawa ta oprócz powszechnego występowania w tym rejonie cechuje się wysoką trwałością i dobrym zadarnieniem.

Charakterystyka gatunków roślin zastosowanych w doświadczeniu.

Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) jest trawą niską, rozłogowo-luźnokępkową, tworzy bardzo zwartą i wyrównaną darń. Charakteryzuje się powolnym tempem wzrostu, jest mało konkurencyjna w pierwszych latach po zasiewie, natomiast szybko wzrasta jej konkurencyjność w kolejnych latach, dzięki czemu szybko opanowuje zbiorowiska. Występuje na ubogich, żyznych, suchych i okresowo zalewanych stanowiskach. Należy do najbujniej rosnących, z uwagi na silny system korzeniowy [Czyż i in.2000].

Kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis* L.) to jedna z najcenniejszych i najważniejszych traw pastewnych. W Polsce występuje pospolicie na całym obszarze kraju i bardzo często jest uprawiana jako trawa użytkowa. Kostrzewa preferuje gleby żyzne, próchnicze, umiarkowanie wilgotne posiadające obojętny lub lekko zasadowy odczyn pH. Nie toleruje zacienienia i nie znosi suszy oraz niskich temperatur. Nie jest też odporna na zbyt wysokie temperatury. Najczęściej zasiedla łąki, polany i przydroża [Czyż i in.2000].

Wiechlina łąkowa (*Poa pratensis* L.) trawa niska, rozłogowo-luźnokępkowa o wolnym tempie rozwoju. Wykazuje dużą zimotrwałość, czasem w sprzyjających warunkach siedliskowych dominuje w runi. Charakteryzuje ją szeroka amplituda ekologiczna ponadto wytrzymałość na niekorzystne warunki klimatyczne. Tworzy równą i zwartą ruń. Mało konkurencyjna w stosunku do traw wysokich. Nadaje się do zastosowania na terenach trudnych, zdegradowanych [Czyż i in.2000].

Życica trwała (*Lolium perenne* L.) trawa niska, luźnokępkowa, czasem z krótkimi rozłogami. Posiada silnie rozwinięty system korzeniowy. Gatunek o szybkim tempie rozwoju, nadający się na pastwiska trwałe i przemienne. Posiada dużą wartość paszową. Wytrzymała na udeptywanie i przygryzanie [Czyż i in. 2000].

Koniczyna biała (*Trifolium repens* L.) gatunek rośliny wieloletniej należący do rodziny bobowatych. Pochodzi z obszarów Europy, Azji, północnej Afryki, rozprzestrzenił się także w Australii, Nowej Zelandii i w Ameryce Środkowej. Występuje na pastwiskach, łąkach, przydrożach, w uprawach rolnych, szczególnie warzyw, a na trawnikach bywa uciążliwym do zwalczania chwastem [Czyż i in. 2000].

Obecnie większość używanych agrowłóknin produkowana jest na bazie polimerów syntetycznych o długim okresie rozkładu. Po jej wykorzystaniu staje się uciążliwym odpadem, często trafia na wysypisko śmieci bądź jest spalana [Piecuch 2006, Piecuch i in. 2009]. W trakcie nieprawidłowej utylizacji włóknin powstają różne szkodliwe związki chemiczne dla środowiska przyrodniczego [Briassoulis i in. 2013, Zettler i in. 2013, Wagner i in. 2014,

Koitabashi i in. 2016, Zhou i in. 2019, Piehl 2020]. Szacuje się, że całkowity rozkład produktów polietylenowych zajmuje prawie 100–300 lat [Kyrikou, Briassoulis 2007].

Reasumując można stwierdzić, że włóknina wytworzona z polimerów syntetycznych z jednej strony jest cennym materiałem, ale z drugiej strony jest poważnym obciążeniem środowiska przyrodniczego. Korzyści wynikające ze stosowania w rolnictwie tworzyw polimerowych nie powinny przesłaniać zagrożeń środowiskowych, szkód dla ekosystemów oraz negatywnego oddziaływania na zdrowie ludzi [Gregory i Andrady 2003, Maraveas 2020]. W sytuacji, gdy środowisko jest obciążane rosnącą ilością uciążliwych odpadów rozwiązaniem pośrednim – do czasu udostępnienia technologii rozwiązującej problem odpadów w sposób kompleksowy może być recykling – czyli proces przekształcania odpadów w surowiec nadający się do ponownego użycia. Recykling tworzyw sztucznych stał się obecnie jednym z najważniejszych wyzwań przemysłowych. Według Korol i in. [2021] obecnie wskaźnik recyklingu tworzyw sztucznych używanych przez rolnictwo nie przekracza 30%. W wyniku recyklingu zużytej włókniny otrzymuje się surowiec o słabych parametrach technicznych [Świątkowski i Walczak, 2004].

Dlatego poszukuje się metod i surowców by można produkować włókniyny biodegradowalne. Niektórzy badacze sugerują, że istnieje możliwość zastąpienia w 50% syntetycznych polimerów naturalnymi [Jotisankasa i Rurgchaisri 2018]. W niektórych przypadkach produkcja włókniny z dodatkiem polimerów naturalnych może być kosztowniejsza od produkcji włóknin na bazie polimerów syntetycznych. Jednak w kosztach produkcji włóknin syntetycznych należy uwzględniać również trudno wymierne koszty środowiskowe. Do produkcji agrowłóknin zwłaszcza do potrzeb rolnictwa i ogrodnictwa używa się polimerów biodegradowalnych: polilaktyd (PLA) oraz polipropylen z fotodegradantem (PP) [Cholewa i in. 2013]. O pozytywnych właściwościach stosowania tych włóknin informują inni autorzy, którzy porównywali współczynnik odbicia promieni słonecznych pomiędzy włókniną z polipropylenu, a biodegradowalną i wykazali, że włóknina biodegradowalna cechowała się o 80% wyższym współczynnikiem odbicia [Siwek i in. 2009, Siwek i in. 2011, Siwek i in. 2017]. Jednak do produkcji agrowłóknin z polilaktydu wykorzystuje się głównie cenne ziarno kukurydzy, produkowane przy dużym nakładzie energetycznym, w ten sposób ograniczamy bazę paszową dla zwierząt.

Nowatorską propozycją w zakresie surowców biodegradowalnych do produkcji włóknin są pióra pochodzące z ubojni drobiu. Przemawiają za tym surowcem dwa powody.

Pierwszy to duża podaż piór odpadowych pochodzących z ubojni. Według danych z Rocznika Statystycznego Rolnictwa każdego roku na świecie przemysł drobiarski produkuje około 8,5 mln ton piór kurzych, 0,6 mln tony piór indyckich i 0,4 mln tony piór kaczyc. W Polsce średnio produkcja ta wynosi około 100 tys. ton rocznie [Tosic i in. 2019]. Po wprowadzeniu rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 dot. zakazu stosowania piór drobiowych w żywieniu zwierząt hodowlanych, pióra stały się uciążliwym biologicznym odpadem. Drugi powód zainteresowania piórami to ich interesujący skład chemiczny. O szczególnych walorach piór decyduje duża zawartość keratyny, która jest białkiem fibrylnym o budowie nitkowatej, jest odporna na działanie czynników fizyko-chemicznych i biologicznych. Duża wytrzymałość keratyny wynika z jej budowy chemicznej, występujących wiązań dwusiarczkowych. Wydawałoby się, że włóknina wykonana na bazie piór może być trudno biodegradowalna. Jednak z badań Riffel i Brandelli [2006], Bohacz i Kornilowicz-Kowalska [2009], Paul i in. [2013] wynika, że naturalnym miejscem bytowania mikroorganizmów rozkładających pióra jest środowisko glebowe. Mikroorganizmy te wykorzystują keratynę jako głównie źródło azotu i węgla. Największą taką zdolność posiadają bakterie z rodzaju *Bacillus* [Brandelli 2008, Rodziewicz i in. 2009]. Powyższe zalety piór jako surowca zainspirowały badaczy do podjęcia badań nad możliwością wykorzystania piór do produkcji włókniny. Prace te realizowane są w ramach projektu badawczego pt. Opracowanie innowacyjnych włókien ochronnych z dodatkiem piór, akronim Ekopióro. Projekt ten realizowany jest w ramach konkursu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. POIR.04.01.04-00-0059/17, współfinansowanego przez UE. Uzyskane wyniki w zakresie możliwości produkcji włókien z piór są zadowalające. Wyprodukowane włókniny parametrami zasadniczo nie odbiegają od handlowej. Są dość wytrzymałe, koloru jasnego i przepuszczalne. Ponadto należy się spodziewać, że w czasie rozkładu włókniny mogą być źródłem substancji organicznej i azotu do gleby.

2. Cel pracy

Głównym celem pracy była ocena możliwości wykorzystania włókien biodegradowalnych przy zadarnieniu trasy narciarskiej na terenie Jaworzyny Krynickiej. Szczegółowe cele obejmowały: ocenę ważniejszych parametrów włókien biodegradowalnych i porównanie ich z włókniną handlową, wchodziło to w zakres prac laboratoryjnych. Parametrami tymi były:

- charakterystyka włókien,
- pojemność wodna i zdolność do zatrzymywania wody przez włókniny,
- zdolność przenikanie pary wodnej przez włókniny,
- wpływ podłoża z włókien na kiełkowanie nasion.

Z kolei w warunkach terenowych oceniano wpływ włókien na wzrost i rozwój roślinności oraz jej oddziaływanie na glebę. Elementami tej oceny były:

- stan wschodów i pokrycie powierzchni gleby przez rośliny,
- kształtowanie się współczynnika LAI,
- plony suchej masy roślinnej i zasobność jego w azot oraz zbiór tego składnika,
- ilość dostarczonego azotu do gleby z rozkładających się włókien,
- właściwości fizyko-chemiczne gleby.

Badania te realizowano w ramach projektu badawczego pt. Opracowanie innowacyjnych włókien ochronnych z dodatkiem piór.

3. Materiały i metody badań

W 2018 roku zespół badawczy składający się z pracowników Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, Instytutu Biopolimerów i Włókien Chemicznych z Łodzi - Sieć Badawcza Łukasiewicz oraz dwóch przedsiębiorstw CEDROB S.A z Niepołomic i POLTOPS Sp. z o.o. z Żagania zgłosił w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014–2020 projekt do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Programie 4.1 / Poddziałanie 4.1.4 Projekty aplikacyjne pt. Opracowanie innowacyjnych włókien ochronnych z dodatkiem piór. Projekt ten pod akronimem Ekopióro Nr POIR.04.01-00-0059/17 uzyskał finansowanie z NCBiR i jest realizowany w latach 2018–2023. Zespół badawczy projektu opracował sposób wytwarzania innowacyjnych włókien kompozytowych z dodatkiem włókien keratynowych w postaci odpadowych piór z ubojni drobiu. Rozwiązanie to zostało zgłoszone do Polskiego Urzędu Patentowego. W ramach projektu wytworzono włókniny, które oceniano w pierwszym etapie w warunkach laboratoryjnych a następnie włókniny o najlepszych parametrach przeznaczono do badań terenowych prowadzonych na trasie narciarskiej Jaworzyny Krynickiej.

3.1. Badania laboratoryjne

Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi w 2019 roku wytworzył 12 rodzajów włókien o parametrach określonych przez pracowników Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Otrzymane włókniny różniły się między sobą gramaturą, zawartością piór i prędkością igłowania (tab. 1).

Tabela 1. Rodzaje wytworzonych włókien

| Rodzaj włókniny | Gramatura | Udział piór | Prędkość igłowania |
|-----------------|-----------------|-------------|--------------------|
| | 1m ² | (%) | Hz |
| 1 | 100 | 0 | 30 |
| 2 | 100 | 14,6 | 30 |
| 3 | 100 | 18,7 | 45 |
| 4 | 100 | 0 | 45 |
| 5 | 200 | 0 | 45 |
| 6 | 200 | 34,8 | 45 |
| 7 | 200 | 41,1 | 30 |
| 8 | 200 | 0 | 30 |
| 9 | 300 | 0 | 30 |
| 10 | 300 | 22,8 | 30 |
| 11 | 300 | 19 | 45 |
| 12 | 300 | 0 | 45 |

Wytworzone włókniny w ramach projektu oraz agrowłókninę – handlową oceniano w warunkach laboratoryjnych pod względem zawartości azotu, pojemności wodnej, tempa odparowywania wody po namoczeniu i przenikania pary wodnej przez nie. Oceniono również wpływ podłoża z włókien na kiełkowanie nasion mieszanki. W pomieszczeniu laboratoryjnym panowała stała temperatura 20°C i wilgotność powietrza w przedziale 55–60%. Zawartość azotu we włókninach oznaczono metodą Kjeldahla w aparacie KjelFlex K-360 [Kabała i Karczewska 2019]. Pojemność wodną włókien oznaczono w taki sposób, aby odzwierciedlić warunki naturalne. W tym celu próbki włókien o powierzchni 1m² zanurzono w wodzie na okres 0,5 h. Po wyjęciu z wody i odcieknięciu wody grawitacyjnej próbki te zważono i rozłożono na stole laboratoryjnym w celu wyschnięcia. W trakcie suszenia włókniny były ważone po 2 i 24 h. Po wyschnięciu włókien do stanu powietrznie suchego określono zawartość

suchej masy susząc je w temperaturze 105°C przez 3 godziny. Z otrzymanych wyników obliczono procent zatrzymanej wody w przedziałach czasowych. Przenikanie pary wodnej przez włókniny oceniono w następujący sposób. Do trzynastu zlewek o średnicy 20 cm wlano po 6280 ml wody, co utworzyło słup wody o wysokości 200 mm. Dwanaście zlewek przykryto szczelnie badanymi włókninami, a jedną pozostawiono bez okrywy. Zlewki zważono i ustawiono na stole laboratoryjnym. Kolejne ważenia zlewek wykonano po jednej, dwóch, sześciu i piętnastu dobach. Z otrzymanych wag wyliczono ilość wody odparowanej wyrażonej w milimetrach słupa wody.

Ocenę kiełkowania nasion traw i koniczyny białej przeprowadzono w kuwetach laboratoryjnych wyścielonych określonym rodzajem włókniny. Następnie rozłożono w rzędach po sto nasion z każdego gatunku (wchodzącego w skład opracowanej mieszanki) w każdej kuwecie i przykryto tym samym rodzajem włókniny, którym wyścielono podłoże kuwety. Do każdej kuwety co dwie doby wlewano 300 ml wody w celu utrzymania dla większości włókien wilgotności sprzyjającej kiełkowaniu nasion. Kuwety znajdowały się w laboratorium, w którym była stała temperatura powietrza 20°C, wilgotność powietrza w przedziale 55–60% i naturalne światło. Ilość skiełkowanych nasion oceniano po siedmiu i piętnastu dobach.

3.2. Badania terenowe

W celu sprawdzenia przydatności włókien do poprawy warunków siedliskowych dla roślin na powierzchni trudnej wybrano trasę narciarską na Jaworzynie Krynickiej. Pod względem budowy geologicznej pasmo Jaworzyny Krynickiej znajduje się w obrębie płaszczowiny magurskiej. Jest to główna jednostka tektoniczna Karpat Zachodnich, która powstała w wyniku sfałdowania a następnie spiętrzenia piaskowców, łupków lub skał marglistych [Margielewski 1998]. Klimat Jaworzyny Krynickiej ze względu na położenie jest zróżnicowany. Występują tutaj trzy piętra klimatyczne: umiarkowanie ciepłe, umiarkowanie chłodne i chłodne. Tereny umiejscowione wyżej, głównie tereny leśne, cechują się mroźną zimą. Również tam występuje spora ilość opadów atmosferycznych, typowa dla obszarów górskich [Durło 2003, Durło 2006]. Średnia temperatura w roku waha się od 4,3°C na Jaworzynie Krynickiej do 6,4°C w Żegiestowie. Dienne wahania temperatury w Krynicy nie przekraczają 8°C. Dobowa amplituda temperatury maleje wraz z wysokością. Roczna suma opadów jest bardzo zróżnicowana, znacząco rośnie wraz z wysokością. Średnia roczna wilgotność względna wynosi 80%, natomiast wiatr wieje ze średnią prędkością 2,0 m s⁻¹. W lecie przeważają wiatry północno-zachodnie, a w zimie południowo-zachodnie [Durło

2003]. Przeciętna ilość dni z opadem śniegu wynosi dla większości terenu 110 dni. Średnio gruba pokrywa śniegu utrzymuje się od listopada do połowy marca. Opady atmosferyczne i temperaturę powietrza mierzono, wykorzystując bezprzewodową stację pogodową Davis Vantage Pro 2 (6152EU), zainstalowaną na polu doświadczalnym.

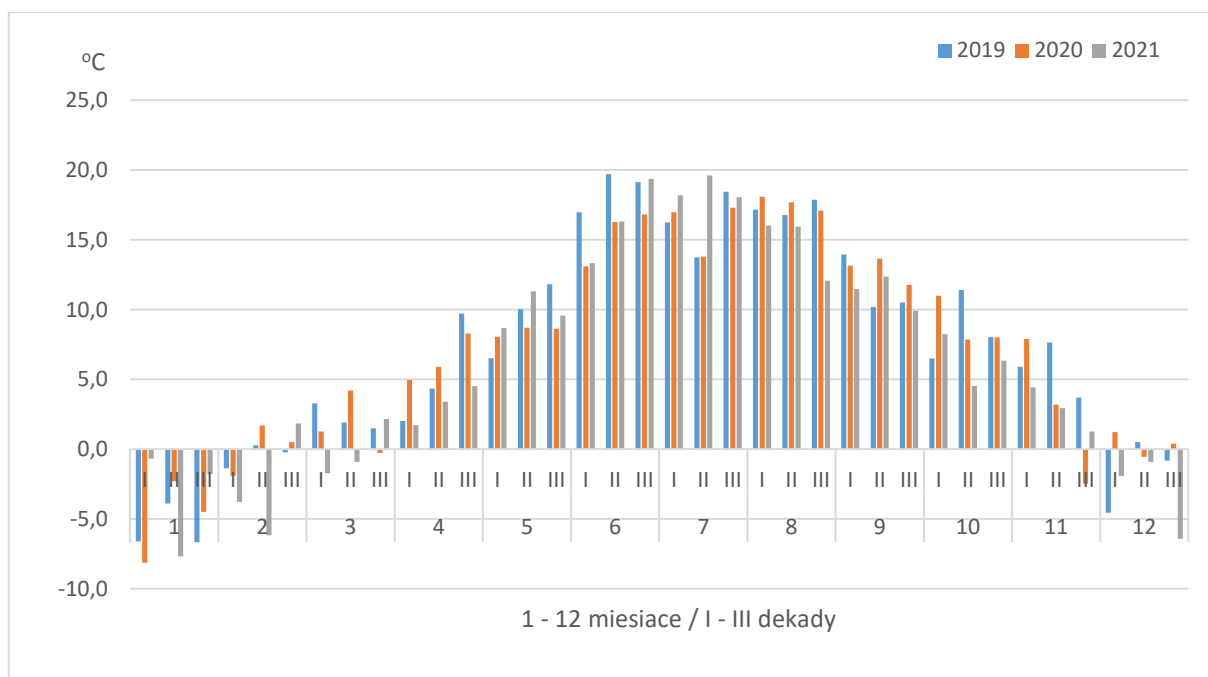
Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury powietrza i ilość opadów atmosferycznych w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021

| Miesiąc | Temperatura | | | Opady | | |
|----------------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | [°C] | | | [mm] | | |
| | 2019 | 2020 | 2021 | 2019 | 2020 | 2021 |
| Styczeń | -5,7 | -5,0 | -3,4 | 9 | 17 | 24 |
| Luty | -0,4 | 0,1 | -2,7 | 26 | 44 | 21 |
| Marzec | 2,2 | 1,7 | -0,2 | 47 | 28 | 48 |
| Kwiecień | 5,4 | 6,4 | 3,2 | 71 | 21 | 31 |
| Maj | 9,5 | 8,5 | 9,9 | 162 | 142 | 140 |
| Czerwiec | 18,6 | 15,4 | 16,3 | 15 | 146 | 69 |
| Lipiec | 16,1 | 16,0 | 18,6 | 45 | 60 | 133 |
| Sierpień | 17,3 | 17,6 | 14,7 | 126 | 68 | 60 |
| Wrzesień | 11,6 | 12,9 | 11,3 | 63 | 122 | 71 |
| Październik | 8,6 | 8,9 | 6,4 | 62 | 47 | 28 |
| Listopad | 5,7 | 2,9 | 2,9 | 57 | 18 | 37 |
| Grudzień | -1,6 | 0,4 | -3,1 | 30 | 43 | 15 |
| Średnia / Suma | 7,4 | 7,3 | 6,2 | 775 | 802 | 706 |

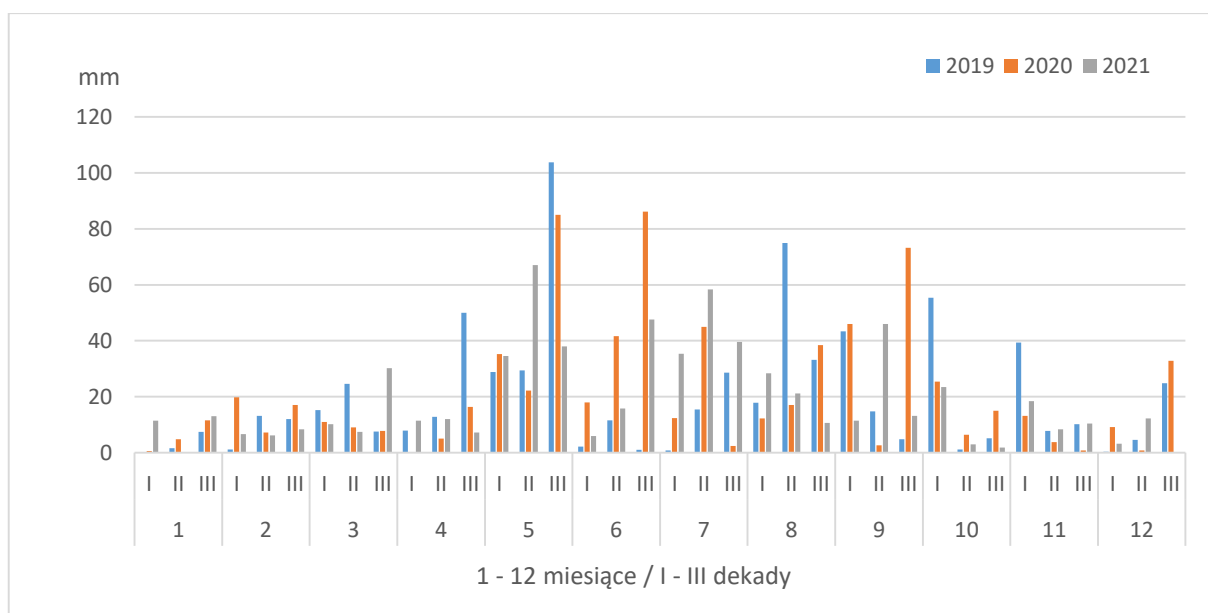
W okresie badań najcieplejszymi miesiącami były czerwiec, lipiec i sierpień (tab.2), chociaż w kolejnych latach występowały znaczne różnice pomiędzy tymi miesiącami. Natomiast najniższą temperaturą cechował się miesiąc styczeń w okresie trzech lat ze średnią minimalną temperaturą od -3,4 do -5,7°C. Średnia roczna temperatura powietrza w 2021 roku była o ponad 1°C niższa w porównaniu do lat poprzednich. W ocenianym okresie największą sumą opadów atmosferycznych charakteryzowały się miesiące: maj w 2019 roku, czerwiec w 2020 roku oraz lipiec i maj w 2021 roku.

Na początkowy wzrost i rozwój wysianych roślin miały wpływ głównie czynniki meteorologiczne. Z danych zamieszczonych na ryc. 1 i 2 wynika, że warunki te na ogół nie były sprzyjające dla wschodzących roślin wysianych na początku pierwszej dekady maja

w 2019 roku. Dwie pierwsze dekady cechowały się stosunkowo bardzo małą ilością opadów, które sumarycznie wynosiły niespełna 60 mm. Jedynie w trzeciej dekadzie wystąpił opad wielkości 100 mm, a temperatura powietrza w miesiącu czerwcu była stosunkowo wysoka przy prawie całkowitym braku opadów.



Rycina 1. Średnie dekadowe temperatury powietrza w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021



Rycina 2. Dekadowe sumy opadów atmosferycznych w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021

Na trasie narciarskiej o nachyleniu 26% w kierunku południowo-wschodnim na wysokości 817 m n.p.m. założono doświadczenie w 2019 roku. Dokładną lokalizację obszaru doświadczalnego uzyskano na podstawie odczytu szerokości i długości geograficznej za pomocą GPS (N 49° 41' 48'' E 20° 91' 35''). Gleba na której zostało założone doświadczenie zawierała 32% frakcji piasku, 50% frakcji pyłu i 18% frakcji łu. W oparciu o klasyfikację uziarnienia gleb i utworów mineralnych [PTG 2008] była to glina zwykła. Próbkę glebową pobrano z głębokości 7 cm, przy użyciu pobieraka glebowego pozwalającego na pobranie rdzeni glebowych z określonej głębokości. Właściwości chemiczne gleby przed założeniem doświadczenia były następujące: pH w KCl o stężeniu 1 mol · dm⁻³ wynosiło 6,04; zawartość węgla organicznego wynosiła 14,2 g · kg⁻¹ s.m., N ogólnego 1,1 g · kg⁻¹ s.m., przyswajalnych form P, K i Mg odpowiednio 2,7; 95,2; 35,6 mg · kg⁻¹ s.m.

W powietrznym suchych próbkach gleby oznaczono skład granulometryczny metodą aerometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego [PN-R-04032]. Zawartość azotu w glebie oznaczono metodą Kjeldahla w aparacie KjelFlex K-360 [Kabała i Karczewska 2019]. Zawartość przyswajalnych form fosforu i potasu w glebie oznaczono metodą Egnera-Riehma, a zawartość przyswajalnego magnezu metodą Schachtschabela [Kabała i Karczewska 2019]. pH gleby w zawiesinie wodnej i w KCl o stężeniu 1 mol · dm⁻³ oznaczono metodą potencjometryczną [Kabała i Karczewska 2019].

Obszar badawczy na którym założono doświadczenie nie posiadał zadarnienia. Powstał w wyniku formowania trasy narciarskiej ciężkim sprzętem budowlanym. Wytyczono doświadczenie składające się z sześciu wariantów w trzech powtórzeniach. Każde poletko miało powierzchnię 18 m². Przed wysiewem mieszanki wykonano zabiegi uprawowe polegające na spulchnieniu gleby broną ciągnioną w poprzek stoku w celu ograniczenia zmywu. Następnie 5 czerwca 2019 roku ręcznie wysiano mieszankę ze względu na trudne warunki siedliskowe normę wysiewu zwiększono o 300%. Skład mieszanki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Skład mieszanki

| Gatunek / odmiana | Udział w | | | |
|--|-----------|-----------------------|-----------|-------------------------|
| | mieszance | czystym siewie | mieszance | mieszance |
| | % | kg · ha ⁻¹ | | kg · 18 m ⁻² |
| <i>Festuca rubra</i> L. Reda C/11 | 30 | 6,9 | 5 | 0,049 |
| <i>Festuca pratensis</i> L. Cykada C/1 | 5 | 1,4 | 0,3 | 0,011 |
| <i>Poa pratensis</i> L. Struga B | 30 | 6 | 7 | 0,032 |
| <i>Lolium perenne</i> L. Solen C/1 | 20 | 2,5 | 0,4 | 0,032 |
| <i>Trifolium repens</i> L. Haifa | 15 | 0,8 | 0,5 | 0,016 |

We wszystkich latach badań (2019, 2020, 2021) stosowano jednakowe nawożenie mineralne w następujących dawkach: azot 40 kg · ha⁻¹ w formie saletry amonowej (34% N), fosfor 30 kg · ha⁻¹ w formie superfosfatu (40% P₂O₅) i potas 50 kg · ha⁻¹ w formie soli potasowej (56% K₂O).

Do przykrycia gleby po wysianiu nasion wykorzystano cztery rodzaje następujących włóknin ochronnych:

- o gramaturze 100 g · m⁻², udział piór 18,7%, prędkość igłowania - 45 Hz
- o gramaturze 200 g · m⁻², udział piór 41,1%, prędkość igłowania - 30 Hz
- o gramaturze 300 g · m⁻², udział piór 19%, prędkość igłowania - 45 Hz
- o gramaturze 17 g · m⁻² handlowa o nazwie Pegas Agro.

W sumie w badaniach uwzględniono sześć obiektów:

- A: Mieszanka.
- B: Mieszanka + nawożenie.
- C: Mieszanka + nawożenie + włóknina 100.
- D: Mieszanka + nawożenie + włóknina 200.
- E: Mieszanka + nawożenie + włóknina 300.
- F: Mieszanka + nawożenie + włóknina handlowa Pegas Agro wiosenna.

Włókniny biodegradowalne pozostawiono na obiektach natomiast włókninę handlową usunięto z powierzchni doświadczalnej 23.09.2019 roku.

Po 22 i 50 dniach od wysiewu mieszanki liczone ilość roślin wzeszłych i ilość roślin przerastających włókninę na powierzchni 1m². Po 125 dniach od wysiewu mieszanki oraz

w trzeciej dekadzie czerwca 2020 i 2021 roku oceniano skład florystyczny runi metodą szacunkową Klappa – to metoda pośredniego szacunku udziału gatunków w masie plonu. Porost roślinny według tej metody określa się na małych poletkach (2–5 m²) z zachowaniem następującej kolejności. Najpierw wycenia się udziały procentowe poszczególnych grup roślinnych (traw, bobowatych i pozostałych roślin), następnie w ich obrębie szacuje się względne stosunki ilościowe masy poszczególnych gatunków. Aby uzyskane wartości mogły być ze sobą porównywane, należy je przeliczyć na udziały procentowe [Firek E., Filipek J., 1960]. Zadarnienie obliczano przykładając losowo do powierzchni skalowaną miarę 100 cm, a następnie dodając długość odcinków pokrytych roślinnością uzyskiwano procent jej zadarnienia. Plon runi mieszanki określano jesienią każdego roku ze względu na małą ilość biomasy na jednostce powierzchni. Do oceny plonów pobierano losowo z kilku miejsc próbkę materiału roślinnego o masie 1,0–1,5 kg, w celu określenia plonu suchej masy i zawartości azotu. Zawartość azotu w materiale roślinnym oznaczono metodą Kjeldahla w aparacie KjelFlex K-360 [Kabała i Karczewska 2019].

Pomiar promieniowania w zakresie PAR (ang. „Photosynthetically Active Radiation”) przepuszczonego przez pokrywę roślinną, był podstawą do obliczenia wskaźnika LAI. Pierwszy pomiar wykonano 125 dni od wysiewu mieszanki, a kolejne jesienią każdego roku za pomocą przyrządu pomiarowego firmy Delta-T (Delta-T Devices, Cambridge, UK): sondy SunScan (pomiar PAR pod pokrywą roślinną) z czujnikiem odniesienia BF3 (pomiar całkowitego i rozproszonego PAR nad pokrywą roślinną). Zmierzona w ten sposób transmitancja PAR przez pokrywę roślinną z konkretnym udziałem promieniowania rozproszonego w całkowitym, wraz z parametrami ELADP (ang. „Ellipsoidal Leaf Angle Distribution Parameter”, ang. „absorbance”), a także kątem zenitalnym Słońca, stanowią kluczowe dane wyjściowe do uproszczonego odwróconego modelu Wooda. Model ten jest stosowany do obliczeń wartości wskaźnika powierzchni liści LAI na potrzeby przyrządu pomiarowego SunScan.

Powierzchniową wilgotność gleby mierzono za pomocą potencjometru wilgotności Theta typ ML2x (dokładność pomiaru ± 1%). Pomiary wykonano na głębokości gleby od 1 do 6 cm, w pierwszym roku badań w okresie jesiennym, 10 dni po umiarkowanym opadzie atmosferycznym.

Wszystkie analizy wykonano w co najmniej trzech niezależnych seriach powtórzeń. Wyniki poddano analizie statystycznej z zastosowaniem modułu ANOVA programu Statistica

12.0 PL. Istotność różnic oceniano za pomocą testu Tukeya HSD przy poziomie istotności przyjętym jako $p = 0.05$.

4. Wyniki

4.1. Wyniki uzyskane w warunkach laboratoryjnych

Do badań laboratoryjnych otrzymano 12 rodzajów włókien od Partnera projektu, w celu sprawdzenia ich parametrów. Ocena laboratoryjna ułatwiła wskazanie autorowi badań wytypowanie trzech rodzajów włókien nowej generacji do badań polowych.

4.1.1. Charakterystyka włókien

W warunkach laboratoryjnych oceniono 12 rodzajów włókien biodegradowalnych różniących się gramaturą, zawartością piór, prędkością igłowania (tab. 1). Pod względem gramatury były trzy rodzaje włókien: $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Punktem odniesienia była włóknina ogrodnicza – handlowa o gramaturze $17 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. W obrębie gramatury $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ – były dwie włókniny, w których udział piór wynosił 14,6 i 18,7% oraz dwie włókniny w całości wytworzone z wełny owczej. W obrębie gramatury $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ były dwie włókniny z dodatkiem piór w ilości 34,8 i 41,1%. We włókninach o największej gramaturze $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ zawartość piór wynosiła od 19 do 22,8%. Pozostałe włókniny w całości były utkane z wełny owczej. Włóknina handlowa wykonana była z polipropylenu.

We włókninach biodegradowalnych o numerach 1–12 zawartość azotu mieściła się w przedziale od 10,65 do 11,27% i różnice w zawartości azotu pomiędzy włókninami nie były statystycznie istotne (tab.4).

Tabela 4. Charakterystyka włókien

| Rodzaj włókniny | Gramatura | Udział piór | Zawartość azotu |
|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | 1m ² | | (%) |
| 1 | 100 | 0 | 11,14 b |
| 2 | 100 | 14,6 | 11,2 b |
| 3 | 100 | 18,7 | 11,19 b |
| 4 | 100 | 0 | 11,17 b |
| 5 | 200 | 0 | 10,56 b |
| 6 | 200 | 34,8 | 11,28 b |
| 7 | 200 | 41,1 | 11,27 b |
| 8 | 200 | 0 | 10,87 b |
| 9 | 300 | 0 | 11,25 b |
| 10 | 300 | 22,8 | 11,23 b |
| 11 | 300 | 19 | 11,17 b |
| 12 | 300 | 0 | 11,24 b |
| 13 | 17 | 0 | 0,00 a |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.1.2. Pojemność wodna włókien i ich zdolność do zatrzymywania wody

Pojemność wodną włókien oraz ich zdolność do zatrzymywania wody przedstawiono w tabeli nr 5. Największą pojemnością wodną charakteryzowała się włóknina nr 1, pochłonęła 573 g wody w przeliczeniu na 1 m² była to różnica statystycznie istotna w porównaniu do pozostałych włókien. W odniesieniu do swej masy był to prawie 6-krotny wzrost wagi. Pozostałe rodzaje włókien o gramaturze 100 g m⁻² cechowały się mniejszą pojemnością wodną. Zatrzymywały one średnio około 460 g wody. W miarę powiększania się gramatury włókien ich zdolność do pochłaniania wody zmniejszała się. Włókniny o gramaturze 200 g zatrzymywały od 368 do 480 g wody. Z kolei chłonność włókien o gramaturze 300 g · m⁻² mieściła się w przedziale 346 do 430 g wody. W odniesieniu do swej masy pochłonęły one od 1,2 do 1,5 razy więcej wody. Podobną pojemnością wodną jak włókniny o gramaturze 200 g m⁻² charakteryzowała się włóknina nr 13 – handlowa. Po odciknięciu wody grawitacyjnej włókniny rozłożono na stole laboratoryjnym i ważono je po 2 i 24 godzinach w celu określenia

ich zdolności do zatrzymywania wody. Po okresie 2 godzin stwierdzono znaczący ubytek wody we włókninach w odniesieniu do ilości pochłoniętej w czasie namaczania – bezpośrednio po odcieku wody grawitacyjnej (tab. 5). We włókninach o gramaturze $100 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ilość wody znajdującej się w nich po 2 godzinach stanowiła od 41 do 58% ilości początkowej. Ta najniższa wartość dotyczyła włókniny nr 1, a najwyższą wartością cechowała się włóknina nr 3. Świadczy to o tym, że włóknina nr 3 znacznie wolniej oddała wodę w porównaniu z pozostałymi o gramaturze 100. We włókninach o gramaturze $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ilość wody po 2 godzinach stanowiła 58–80% jej ilości występującej bezpośrednio po pierwszym zważeniu. Najmniejsze ilości wody zawierała włóknina nr 5 – 59%. Natomiast najwięcej zatrzymała wody włóknina nr 7 – 80%. Włókniny o gramaturze $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ po 2 godzinach przebywania na wolnym powietrzu na ogół zawierały najwięcej wody. Procent wody utrzymywanej przez nie w odniesieniu do pierwszej oceny wahał się od 60 do 94%. Po 24 godzinach suszenia włóknin na wolnym powietrzu zawartość wody we wszystkich włókninach wynosiła $1,0\text{--}3,0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Te ilości wagowe mogły wynikać z różnej wilgotności powietrza, można uznać, że włókniny były powietrznie suche. Chociaż pomiędzy niektórymi różnice w ilości zatrzymywanej wody były statystycznie istotne.

Tabela 5. Pojemność wodna włókniń i ich zdolność do zatrzymywania wody

| Rodzaj włókniny | Gramatura włókniń | Pojemność wodna | Suszenie na wolnym powietrzu | |
|------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|---------|
| | | | Ilość wody zatrzymanej | |
| | | | Po 2 h | Po 24 h |
| $g \cdot m^{-2}$ | | | | |
| 1 | 100 | 573 d | 232 b | 2 a |
| 2 | 100 | 455 c | 240 b | 1 a |
| 3 | 100 | 468 c | 268 b | 1 a |
| 4 | 100 | 464 c | 209 b | 1 a |
| 5 | 200 | 434 c | 249 b | 2 a |
| 6 | 200 | 480 c | 358 c | 2 a |
| 7 | 200 | 368 b | 296 b | 1 a |
| 8 | 200 | 420 c | 275 b | 3 b |
| 9 | 300 | 346 b | 290 b | 2 a |
| 10 | 300 | 430 c | 361 c | 3 b |
| 11 | 300 | 347 b | 327 c | 3 b |
| 12 | 300 | 350 b | 234 b | 3 b |
| 13 | 17 | 64 a | 32 a | 1 a |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.1.3. Zdolność przenikania pary wodnej przez włókniny

Ilość przepuszczonej pary wodnej przez włókniny z lustra wody o powierzchni 314 cm^2 i wysokości słupa wody 200 mm obrazują dane w tabeli nr 6. Ocenę tę przeprowadzono w czterech terminach. Największa ilość wody odparowała z powierzchni otwartej – nie okrytej włókniną. W trzech pierwszych terminach ilość wody wyparowanej z powierzchni otwartej była na ogół 2-krotnie większa niż przez powierzchnie okryte włókninami. W terminie czwartym po okresie 15 dni różnica była prawie 3-krotna. Spośród ocenianych włókniń większą zdolnością przepuszczania pary wodnej cechowały się włókniny nr 1 i 13, natomiast najmniejszą włóknina nr 6. Po pierwszej dobie ilość wyparowanej wody przemieszczającej się przez włókniny wynosiła $5\text{--}7 \text{ mm}$ słupa wody. Natomiast ilość wyparowanej wody z kontroli, czyli powierzchni nie okrytej wynosiła 12 mm . Po 2 dobach wartości te były 2-krotnie większe,

a po 6 dobach 2,5-krotnie większe od ilości stwierdzonej po 2 dobach. Po 15 dobach ilość wyparowanej wody była również 2,5-krotnie większa w odniesieniu do ilości wyparowanej wody po 6 dobach. W miarę upływu czasu obserwowano coraz mniejsze ilości odparowanej wody ze zlewek pokrytych włókninami w przeliczeniu na dobę. Przez pierwsze 2 doby ubytek wody wynosił średnio dziennie 5,9 mm, po 6 dniach 5,1 mm, a po 15 dniach 4,2 mm.

Tabela 6. Ilość odparowanej wody z lustra wody

| Rodzaj włókniny | Ilość wody odparowanej w mm | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | po 1 dobie | po 2 dobach | po 6 dobach | po 15 dobach |
| 0* | 12 | 23 | 70 | 180 |
| 1 | 7 | 14 | 34 | 69 |
| 2 | 6 | 12 | 29 | 59 |
| 3 | 6 | 12 | 30 | 60 |
| 4 | 6 | 12 | 32 | 64 |
| 5 | 5 | 12 | 32 | 66 |
| 6 | 5 | 10 | 27 | 56 |
| 7 | 6 | 12 | 28 | 60 |
| 8 | 6 | 12 | 32 | 64 |
| 9 | 6 | 12 | 32 | 65 |
| 10 | 5 | 11 | 29 | 59 |
| 11 | 6 | 12 | 32 | 60 |
| 12 | 6 | 12 | 29 | 59 |
| 13 | 6 | 13 | 34 | 69 |

*0 - powierzchnia nie okryta. 1 do 13 powierzchnia okryta włókninami

4.1.4. Wpływ podłoża z włóknin na kiełkowanie nasion mieszanki

Po 7 dniach od wysiewu nasion na włókninach o gramaturze 100 i 200 będących podłożem najwięcej skiełkowało: życicy trwałej około 65%, a następnie kostrzewy łąkowej około 25%, i kostrzewy czerwonej 15% (tab. 7.). Ilość koniczyny białej na włókninie o gramaturze 100 była podobna jak życicy trwałej, natomiast na włókninie 200 g·m⁻² ilość była ponad 2-krotnie mniejsza. Włóknina o gramaturze 300 ograniczała ilość siewek kostrzewy czerwonej o 50% w porównaniu do włóknin o gramaturze 100 i 200, a nasiona koniczyny białej

nie skiełkowały. Natomiast wiechlina łąkowa wykiełkowała dopiero po 14 dniach i na jej wschody rodzaj włókniny nie miał większego wpływu. Po 14 dniach liczba siewek traw znacząco się zwiększyła i pojawiły się nie licznie skiełkowane nasiona koniczyny białej na włókninie o gramaturze 300. Na włókninie handlowej liczba skiełkowanych nasion była znacznie mniejsza niż na pozostałych włókninach, a w przypadku życicy trwałej stwierdzono 50% siewek obumarłych, a siewki koniczyny białej całkowicie wyginęły.

Tabela 7. Procent skiełkowanych nasion na podłożu z włóknin

| Rodzaj włókniny | Gatunek | | | | | | | | | |
|-----------------|---|----|------------------|----|------------------|----|---------------|----|-----------------|----|
| | Kostrzewa czerwona | | Kostrzewa łąkowa | | Wiechlina łąkowa | | Życica trwała | | Koniczyna biała | |
| | % nasion skiełkowanych po 7 i 14 dniach | | | | | | | | | |
| | 7 | 14 | 7 | 14 | 7 | 14 | 7 | 14 | 7 | 14 |
| 1 | 22 | 38 | 26 | 50 | 0 | 2 | 36 | 76 | 60 | 54 |
| 2 | 12 | 24 | 28 | 54 | 0 | 8 | 42 | 70 | 24 | 12 |
| 3 | 4 | 24 | 20 | 48 | 0 | 4 | 58 | 84 | 62 | 40 |
| 4 | 16 | 42 | 22 | 48 | 0 | 8 | 76 | 50 | 58 | 26 |
| 5 | 22 | 22 | 22 | 44 | 0 | 12 | 78 | 86 | 20 | 16 |
| 6 | 8 | 34 | 16 | 42 | 0 | 8 | 66 | 76 | 20 | 16 |
| 7 | 18 | 34 | 22 | 52 | 0 | 2 | 48 | 80 | 18 | 18 |
| 8 | 14 | 24 | 34 | 60 | 4 | 6 | 70 | 84 | 4 | 4 |
| 9 | 10 | 30 | 38 | 54 | 0 | 12 | 48 | 74 | 0 | 2 |
| 10 | 6 | 42 | 30 | 50 | 0 | 2 | 48 | 74 | 0 | 10 |
| 11 | 8 | 24 | 26 | 46 | 0 | 6 | 42 | 62 | 0 | 0 |
| 12 | 6 | 28 | 24 | 54 | 0 | 6 | 74 | 82 | 0 | 0 |
| 13 | 6 | 6 | 6 | 4 | 0 | 0 | 74 | 0 | 38 | 0 |

4.2. Wyniki badań uzyskane w warunkach terenowych

Po ocenie laboratoryjnej wytypowano trzy najlepsze rodzaje włókniń nowej generacji do badań polowych na nowo uformowanej trasie narciarskiej na Jaworzynie Krynickiej. Wybrane włóknińny pozwalają domniemywać o skuteczności ich działania.

4.2.1. Stan wschodów wysianych roślin

W czasie pierwszej oceny wschodów roślin przeprowadzonej po upływie 22 dni od wysiewu najmniejszą liczbę wzeszłych roślin stwierdzono na obiekcie A i była to różnica statystycznie istotna (tab. 8). Było to tylko 14 sztuk traw na 1m². Na obiekcie B liczba traw była 3-krotnie większa, a koniczyna biała nie skiełkowała. Na trzech następnych obiektach C, D, E po zastosowaniu włókniń biodegradowalnych do przykrycia gleby ilość wzeszłych roślin była znacząco większa 2–2,5-krotnie większa niż na obiekcie B i aż 6–7-krotnie większa w porównaniu z ilością na obiekcie A. Wśród tych roślin siewki koniczyny białej stanowiły około 20%. Przez te trzy rodzaje włókniń biodegradowalnych rośliny przerastały z łatwością, nad ich powierzchnią znajdowało się około 60% wzeszłych traw i 50% koniczyny białej. Natomiast pod włóknińną handlową (obiekt F) liczba wzeszłych roślin była nieznacznie większa niż na obiekcie B, ale rośliny nie przerastały włóknińny. Po 50 dniach od wysiewu liczba wzeszłych roślin w największym stopniu w porównaniu do poprzedniej oceny zwiększyła się na obiektach A i B. W pierwszym obiekcie wzrost liczby siewek był ponad 5-krotny, a w drugim obiekcie prawie 3-krotny. W tym okresie czasu pojawiły się siewki koniczyny białej w ilości 20–25%. Na obiektach okrytych włóknińnymi ilość roślin, zarówno traw jak i koniczyny, zwiększyła się średnio 2-krotnie w porównaniu do ilości występującej po 22 dniach od wysiewu. Jednak na obiekcie F z włóknińną handlową liczba roślin nadal była około 2-krotnie mniejsza niż na obiektach z włóknińną biodegradowalną i siewki nie przerastały tej włóknińny. W tym okresie badań stwierdzono ujemną zależność pomiędzy ilością roślin przerastających włóknińną, a jej gramaturą. Na obiekcie C z włóknińną o gramaturze 100 przerosły ją wszystkie trawy, a koniczyna biała w 80%. Na obiekcie D (gramatura 200) trawy przerastające włóknińną stanowiły około 70%, a koniczyna biała 75%. Z kolei na obiekcie E (gramatura 300) wartości te wynosiły dla traw 40% i koniczyny białej 50%.

Tabela 8. Ilość roślin wzeszłych i przerośniętych przez włókninę po 22 i 50 dniach od wysiewu

| Obiekt | Ilość roślin wzeszłych na 1 m ² | | | | | | | |
|--------|--|-------|-----------|------|--------------|-------|-----------|------|
| | Pod włókniną | | | | Nad włókniną | | | |
| | Po okresie od zasiewów (dni) | | | | | | | |
| | 22 | 50 | 22 | 50 | 22 | 50 | 22 | 50 |
| | Trawy | | Koniczyna | | Trawy | | Koniczyna | |
| A | 14 a | 63 a | - | 15 a | - | - | - | - |
| B | 42 b | 84 b | - | 25 a | - | - | - | - |
| C | 74 c | 147 c | 16 b | 29 b | 51 a | 146 c | 9 b | 23 a |
| D | 86 d | 162 c | 18 b | 42 c | 54 a | 113 b | 11 b | 32 b |
| E | 76 c | 153 c | 16 b | 42 c | 48 a | 63 a | 6 a | 21 a |
| F | 49 b | 88 b | 12 a | 23 a | - | - | - | - |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.2.2. Skład florystyczny

Wyniki oceny składu florystycznego runi po 125 dniach od wysiewu przedstawiono w tabeli nr 9. W trzech pierwszych wariantach dominantami w runi były kostrzewa czerwona i życica trwała. Pierwszy gatunek stanowił 30–41% a drugi 20–25% plonu runi. Dwukrotnie mniejszy udział od kostrzewy czerwonej miała kostrzewa łąkowa, a występująca wiechlina łąkowa stanowiła 5–10% plonu. Koniczyna biała największy udział w strukturze plonu miała na obiekcie B i wynosił on 22%, a znacznie mniej prawie 3-krotnie w wariancie C. W pozostałych trzech wariantach (od D do F) w plonie runi największy udział miała kostrzewa łąkowa. Życica trwała i kostrzewa czerwona występowały w ilościach zbliżonych do udziału tych gatunków w obiekcie C. Udział wiechliny łąkowej i koniczyny białej w runi był podobny na tych obiektach. Oprócz wyżej wymienionych gatunków wysianych, w plonie runi występowało jeszcze 6 gatunków z grupy dwuliściennych, stanowiły one 2–4% runi. Największy udział z grupy dwuliściennych miał podbiał pospolity.

Tabela 9. Udział gatunków wysianych oraz innych roślin w plonie runi po 125 dniach od wysiewu (%)

| Gatunki wysiane | Wariant | | | | | |
|---|---------|----|----|----|----|----|
| | A | B | C | D | E | F |
| Kostrzewa czerwona (<i>Festuca rubra</i> L.) | 41 | 30 | 39 | 25 | 22 | 24 |
| Życica trwała (<i>Lolium perenne</i> L.) | 20 | 25 | 22 | 28 | 24 | 26 |
| Kostrzewa łąkowa (<i>Festuca pratensis</i> L.) | 15 | 15 | 18 | 30 | 30 | 28 |
| Wiechlina łąkowa (<i>Poa pratensis</i> L.) | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 8 |
| Koniczyna biała (<i>Trifolium repens</i> L.) | 15 | 22 | 8 | 5 | 11 | 10 |
| Inne gatunki | | | | | | |
| Podbiał pospolity (<i>Tussilago farfara</i> L.) | 2 | 2 | 1 | + | 1 | 1 |
| Krwawnik pospolity (<i>Achillea millefolium</i> L.) | 1 | + | + | + | + | + |
| Babka lancetowata (<i>Plantago lanceolata</i> L.) | + | + | + | + | + | + |
| Brodawnik zwyczajny (<i>Leontodon hispidus</i> L.) | + | | + | | + | |
| Dziurawiec zwyczajny (<i>Hypericum perforatum</i> L.) | + | | 1 | + | | + |
| Ostrożeń polny (<i>Cirsium arvense</i> L. Scop.) | + | + | + | + | + | 2 |

W drugim roku od wysiewu mieszanki strukturę runi obrazuje tabela nr 10. W dwóch pierwszych obiektach A i B skład runi był zbliżony. Z traw dominowała życica trwała stanowiąca 22–26% plonu. Na drugim miejscu pod względem ilościowym była wiechlina łąkowa, a następnie w ilościach po 8–9% plonu runi miały kostrzewa łąkowa i kostrzewa czerwona. W tych obiektach duży udział w plonie miała koniczyna biała 30–43%. Większy udział miała koniczyna w obiekcie drugim przy nawożeniu PKN. W pozostałych czterech obiektach (C, D, E, F), gdzie w roku wysiewu mieszanki glebę przykryto włókninami znacząco większy udział miała frakcja traw a spośród nich kostrzewa czerwona, kostrzewa łąkowa

i wiechlina łąkowa. Dwa pierwsze gatunki występowały w ilościach ponad 2-krotnie, a trzeci 1,5-krotnie większych w porównaniu do obiektów gdzie nie zastosowano włókniny. Natomiast udział życicy trwałej na obiektach z udziałem włókien był nieznacznie mniejszy a koniczyny białej 2–4-krotnie mniejszy. Szczególnie najmniejszą obecność koniczyny białej stwierdzono w obiekcie E i F. Oprócz wysianych gatunków stwierdzono również znaczący udział innych roślin w liczbie 10 gatunków. Stanowiły one 3–12% plonu runi. Gatunki te największy udział miały na obiekcie F. Głównymi reprezentantami tej frakcji były: podbiał pospolity, ostrożeń polny, krwawnik pospolity i wrotycz pospolity.

Skład florystyczny ukształtowany w trzecim roku badań obrazuje tabela nr 10. W odniesieniu do roku poprzedniego 2020 zaszły znaczące zmiany w strukturze runi. Stwierdzono wyraźny ubytek dwóch gatunków wysianych: koniczyny białej i życicy trwałej. Udział życicy trwałej w 2 pierwszych obiektach zmniejszył się 5–7-krotnie, a w pozostałych 2–3-krotnie. Ilość koniczyny białej w 3 pierwszych obiektach zmniejszył się ponad 2-krotnie. Natomiast w pozostałych obiektach zmniejszenie to było 3–5-krotne w odniesieniu do udziału w runi roku poprzedniego. Wiechlina łąkowa w czterech pierwszych obiektach występowała w ilości około 1,5-krotnie mniejszym niż w roku poprzednim, a w dwóch pozostałych obiektach jej ilość była podobna jak w roku drugim. Kosztem tych gatunków zwiększyły swój udział w plonie kostrzewa łąkowa i kostrzewa czerwona. Udział kostrzewy łąkowej w największym stopniu zwiększył się na obiektach A, B i C a w mniejszym stopniu na obiektach D, E, F w odniesieniu do roku poprzedniego. Te dwa gatunki w plonie runi stanowiły 45–60%. Obok wysianych gatunków w runi pojawiły się jeszcze 23 rodzime gatunki w ilościach śladowych od 4–6% plonu runi, ich ilość podwoiła się w odniesieniu do roku poprzedniego. Dominantami spośród nich był podbiał pospolity, ostrożeń polny i mniszek pospolity.

Tabela 10. Skład florystyczny runi w II i III roku od wysiewu mieszanki (%)

| Gatunek | Wariant | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| | A | | B | | C | | D | | E | | F | |
| | II | III | II | III | II | III | II | III | II | III | II | III |
| Życica trwała (<i>Lolium perenne</i> L.) | 26 | 5 | 22 | 3 | 22 | 7 | 17 | 8 | 19 | 5 | 16 | 7 |
| Wiechlina łąkowa (<i>Poa pratensis</i> L.) | 12 | 5 | 16 | 9 | 17 | 12 | 22 | 15 | 25 | 25 | 11 | 12 |
| Kostrzewa łąkowa (<i>Festuca pratensis</i> L.) | 10 | 44 | 8 | 49 | 15 | 30 | 20 | 25 | 20 | 20 | 18 | 25 |
| Kostrzewa czerwona (<i>Festuca rubra</i> L.) | 8 | 10 | 9 | 13 | 22 | 30 | 23 | 30 | 25 | 25 | 22 | 37 |
| Śmiałek darniowy (<i>Deschampsia caespitosa</i> L.) | 3 | + | | + | | | + | + | | | | |
| Wiechlina zwyczajna (<i>Poa trivialis</i> L.) | | 5 | | 2 | | 2 | | + | | 4 | | |
| Kupkówka pospolita (<i>Dactylis glomerata</i> L.) | | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| Mietlica pospolita (<i>Agrostis capilaris</i> L.) | | | | | | | | | | + | | + |
| Koniczyna biała (<i>Trifolium repens</i> L.) | 30 | 14 | 43 | 16 | 19 | 10 | 14 | 4 | 6 | 2 | 16 | 3 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|
| Komonica zwyczajna (<i>Lotus corniculatus</i> L.) | | 1 | | 1 | | 2 | | 4 | | 2 | | 3 | |
| Wyka wąskolistna (<i>Vicia sativa</i> subsp. <i>Nigra</i> L.) | | 3 | | + | | 2 | | + | | 1 | | 2 | |
| Wyka ptasia (<i>Vicia cracca</i> L.) | | | | | | 3 | | | | 3 | | 1 | |
| Podbiał pospolity (<i>Tussilago farfara</i> L.) | 5 | 6 | + | + | | | | 4 | 1 | + | | + | |
| Ostrożeń polny (<i>Cirsium arvense</i> L. Scop.) | 4 | 2 | | + | 1 | | | | 1 | 2 | 4 | + | |
| Wrotycz pospolity (<i>Tanacetum vulgare</i> L.) | 1 | | | 1 | | | | + | | | 4 | + | |
| Babka zwyczajna (<i>Plantago major</i> L.) | | | | | | | | | | | 1 | | |
| Babka lancetowata (<i>Plantago lanceolata</i> L.) | | 1 | + | 2 | + | 1 | | | + | + | 2 | 1 | |
| Brodawnik zwyczajny (<i>Leontodon hispidus</i> L.) | + | | | | | | | | | + | | + | |
| Dziurawiec zwyczajny (<i>Hypericum perforatum</i> L.) | | | | + | | 1 | | 1 | | 3 | | + | |
| Dzwonek rozpierzchły (<i>Campanula patula</i> L.) | | | | | | | | + | | | | | |
| Jaskier polny (<i>Ranunculus acris</i> L.) | | | | + | | | | + | | + | | + | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|
| Krwawnik pospolity (<i>Achillea millefolium</i> L.) | + | | + | | + | | + | | 2 | + | 2 | 2 | 2 |
| Mięta polna (<i>Mentha arvensis</i> L.) | | | | | | | | | + | | | | |
| Mniszek pospolity (<i>Taraxcum officinale</i> L.) | 3 | + | 3 | + | 2 | + | 3 | | | | 3 | | 3 |
| Powój polny (<i>Convolvulus arvensis</i> L.) | | | | | | | | | | | | 1 | |
| Przetacznik ożankowy (<i>Veronica chamaedrys</i> L.) | | | | | | + | 1 | | | | 1 | | + |
| Przytulnia właściwa (<i>Galium verum</i> L.) | | | | | | + | | | + | | | | |
| Rumian polny (<i>Anthemis arvensis</i> L.) | | + | | | | | | | | | | 1 | + |

4.2.3. Stan wschodów i pokrycie powierzchni gleby przez rośliny

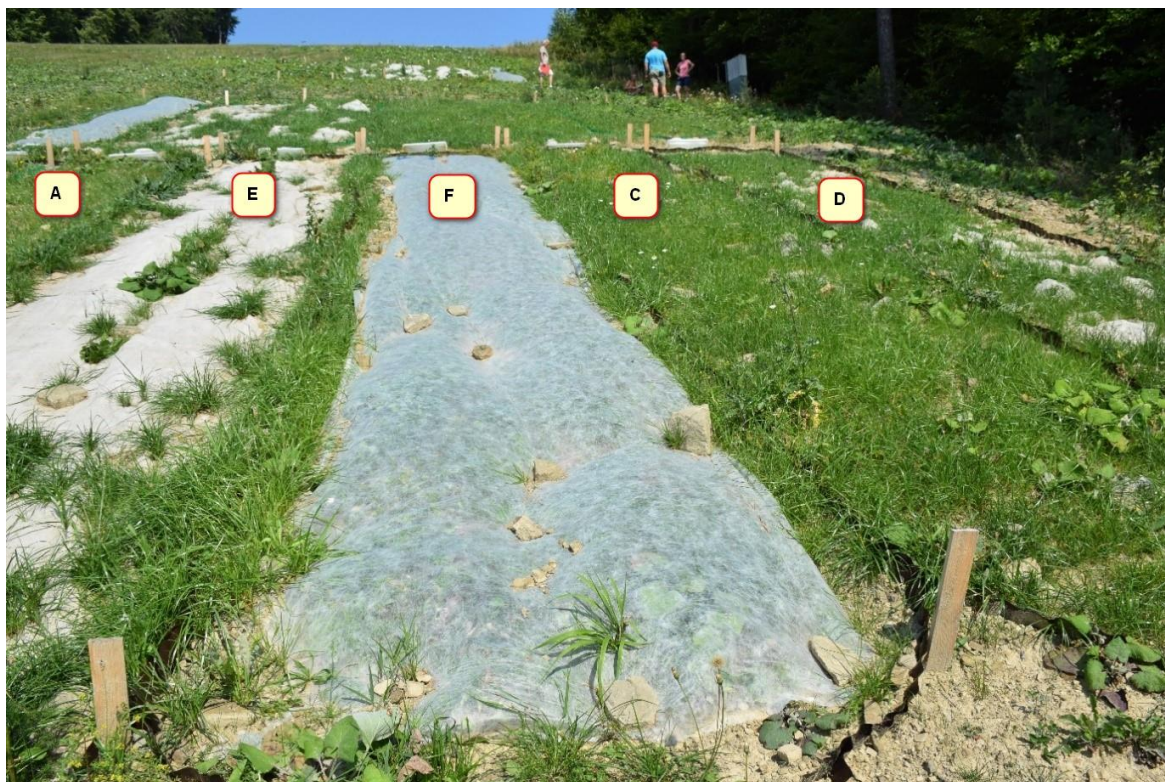
Po 22 dniach od wysiewu mieszanki pokrycie powierzchni gleby przez kiełkujące rośliny wahał się od 1 do 12% i różnice w pokryciu pomiędzy obiektami okrytymi włókniną biodegradowalną, a pozostałymi obiektami były statystycznie istotne (tab. 11). Te wyższe wartości wystąpiły na obiektach C i D, czyli pod włókniną o gramaturze 100 i 200. Pod włókniną o gramaturze 300 na obiekcie E pokrycie to stanowiło 3%. Natomiast współczynnikiem pokrycia 1% cechowała się gleba na obiektach A i B.

Po 125 dniach od wysiewu zadarnienie powierzchni zwiększyło się znacząco: na obiektach A i B wynosiło 40–50% a na pozostałych obiektach z wykorzystaniem włókna stanowiło 80–90%. W czasie tej oceny na obiekcie C (gramatura 100) roślinność całkowicie przerosła włókninę, a występujące części włókna zespoły się z glebą (ryc. 4). Na obiekcie D (gramatura 200) ilość roślin przerastających włókninę wynosiła 70–80%, a na obiekcie E (gramatura 300) – 20%. Natomiast na obiekcie F (włókna handlowa) rośliny nie były w stanie przerosnąć przez włókninę pomimo dobrego zadarnienia pod włókniną (ryc. 5). Włókninę handlową zdjęto z powierzchni badawczej 23 września 2019 roku w celu ułatwienia dalszej wegetacji roślin. W roku drugim (2020 r.) na obiektach A i B zadarnienie powierzchni zwiększyło się prawie 2-krotnie w odniesieniu do roku pierwszego lecz nadal było znacząco mniejsze niż na obiektach C, D i E z włókniną biodegradowalną. Pełne zadarnienie powierzchni przez roślinność osiągnięto na obiekcie D. W trzecim roku badań stopień zadarnienia powierzchni gleby znacząco się zmniejszył o 10–20% w porównaniu do roku poprzedniego (ryc. 6). Wyjątek stanowił obiekt B, w którym zadarnienie było podobne jak rok wcześniej.

Tabela 11. Pokrycie powierzchni gleby (%)

| Obiekt | Pokrycie powierzchni gleby (%) | | | |
|--------|--------------------------------|--------------------|--------------------|------|
| | 2019 | | 2020 | 2021 |
| | 22 dni od wysiewu | 125 dni od wysiewu | III dekada czerwca | |
| A | 1 a | 40 a | 75 a | 50 a |
| B | 1 a | 50 a | 85 b | 85 b |
| C | 12 c | 90 c | 95 c | 75 b |
| D | 12 c | 70 b | 100 c | 80 b |
| E | 3 b | 75 b | 90 c | 80 b |
| F | 1 a | 80 b | 80 b | 70 b |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$



Rycina 3. Współczynnik pokrycia gleby przez rośliny i ilość roślin przerastających włókniny w pierwszym roku badań



Rycina 4. Współczynnik pokrycia gleby przez rośliny w trzecim roku badań

4.2.4. Kształtowanie się współczynnika LAI

Współczynnik LAI to stosunek sumarycznej powierzchni liści do powierzchni jaką zajmują. Pierwszą ocenę współczynnika LAI przeprowadzono po okresie 125 dni od wysiewu mieszanki (tab. 12). Wartości tego współczynnika wahały się w dość szerokich granicach, od 0,44 w obiekcie B do 2,33 w obiekcie E. Na wszystkich obiektach okrytych włókniną wartości tego parametru były od 1,5 do 4 razy większe niż w obiektach nie okrytych i była to różnica statystycznie istotna. Spośród obiektów, na których została zastosowana włóknina najmniejszą wartość LAI zanotowano w obiekcie (C) z włókniną o gramaturze 100, a największą w obiekcie z gramaturą 300 (E). W drugim roku wartości tego współczynnika były znacznie większe w porównaniu do roku pierwszego. Mieściły się one w granicach od 1,62 w obiekcie A do 4,35 w obiekcie C. W trzecim roku na większości obiektów nawożonych wielkości LAI były mniejsze niż w roku drugim. Wyjątek od tej zależności stanowiła roślinność na obiekcie E, gdzie wartość współczynnika LAI była podobna jak w roku drugim. W tym obiekcie współczynnik ten cechował się najmniejszymi wahaniami w trzyletnim okresie badań i wykazywał trend wzrostowy, podobną zależność stwierdzono na obiekcie A. Mniejsze

wartości współczynnika LAI w roku trzecim mogły wynikać z gorszych warunków wilgotnościowych.

Tabela 12. Średnia arytmetyczna pomiarów LAI w latach 2019–2021

| Obiekt | LAI | | |
|--------|--------------------|----------------|--------|
| | 2019 | 2020 | 2021 |
| | 125 dni od wysiewu | Okres jesienny | |
| A | 0,61 a | 1,62 a | 2,00 a |
| B | 0,44 a | 2,93 b | 2,50 b |
| C | 0,76 b | 4,35 d | 2,32 b |
| D | 1,37 c | 3,32 b c | 2,75 b |
| E | 2,33 d | 2,98 b | 3,07 c |
| F | 1,60 c | 2,68 b | 2,40 b |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.2.5. Plon suchej masy i zawartość azotu w materiale roślinnym oraz jego zbiór z plonem roślin

Średniorocznie najmniejszy plon suchej masy roślin zebrano na obiekcie A (tab. 12) wynosił on $483 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ i był istotnie niższy od pozostałych obiektów. Na obiekcie B plon runi był większy o 77% od plonu na obiekcie A. Obiekty okryte włókninami biodegradowalnymi plonowały lepiej od obiektów A, B oraz F i była to różnica statystycznie istotna. Różnica w plonowaniu obiektów okrytych włókninami nowej generacji była dodatnio skorelowana z ich masą. Plon suchej masy pod wpływem włóknin o gramaturze 100 zwiększył się o 7% w odniesieniu do plonu na obiekcie B, a pod wpływem włóknin o gramaturze 200 o 22% i pod wpływem włókniny 300 o 23%. Analizując plonowanie runi stwierdzono, że najmniejsze plony suchej masy zebrano w pierwszym roku badań. Były one 5–7-krotnie mniejsze w odniesieniu do lat następných. W ostatnim roku na obiektach bez okrywy zebrano

mniejsze plony niż w roku drugim. Z kolei na obiektach z wykorzystaniem włókien biodegradowalnych plonowanie roślin zwiększało się w kolejnych latach.

Tabela 13. Plon suchej masy runi

| Obiekt | Lata | | | Średnia z lat 2019–2021 |
|-------------------------------|------|------|------|----------------------------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | |
| s.m. (kg · ha ⁻¹) | | | | |
| A | 122 | 706 | 620 | 483 a |
| B | 168 | 1279 | 1110 | 852 b |
| C | 204 | 1131 | 1408 | 914 b c |
| D | 312 | 1200 | 1600 | 1037 c |
| E | 298 | 1387 | 1471 | 1052 c |
| F | 171 | 1097 | 1292 | 853 b |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

Zawartość azotu w materiale roślinnym na poszczególnych obiektach była dość zróżnicowana w kolejnych latach (tab. 14). Największe różnice zanotowano w drugim roku badań. W trzecim roku stwierdzono na ogół zwiększenie zasobności roślin w ten składnik. Najbardziej miarodajnym wynikiem jest przedstawienie zawartości tego składnika jako średniej ważonej. Analizując średnie ważone z trzech lat badań wynika, że najuboższą w azot była masa roślinna na obiekcie A i zawierała ona 15,2 N g kg s.m. Nawożenie PKN zwiększyło zasobność roślin w ten składnik w odniesieniu do obiektu A o 30% i była to różnica statystycznie istotna. Zastosowanie włókien na obiektach C, E, F w odniesieniu do obiektu tylko nawożonego zwiększyła zawartość tego składnika o 0,8–1,4 g kg s.m. Przyrost ten był statystycznie nie istotny. Natomiast roślinność na obiekcie D w porównaniu do roślinności wariantu B była uboższa o 0,3 g N kg s.m.

Tabela 14. Zawartość azotu w plonie suchej masy roślin

| Obiekt | Lata | | | Średnia ważona |
|--------|---------------|------|------|----------------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | |
| | N g · kg s.m. | | | |
| A | 17,3 | 10,0 | 20,7 | 15,2 a |
| B | 17,6 | 16,0 | 23,2 | 19,2 c |
| C | 17,5 | 20,0 | 21,6 | 20,6 c |
| D | 18,6 | 18,6 | 19,2 | 18,9 b |
| E | 25,8 | 17,0 | 22,1 | 20,2 c |
| F | 24,5 | 19,7 | 19,7 | 20,0 c |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

Średnioroczny zbiór azotu z plonem masy roślinnej obrazują dane w tabeli 15. Najmniejszą ilość tego składnika zebrano na obiekcie A $73.3 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Nawożenie PKN (B) zwiększyło jego zbiór o $91 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, czyli o 123%. Włókniny na tle nawożenia dodatkowo wpłynęły na zbiór azotu z plonem masy roślinnej. Spośród obiektów okrytych włókninami najmniejszą ilość azotu z plonem roślin zebrano z obiektu F o $7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ więcej niż na obiekcie B. Z kolei na obiektach z włókniną biodegradowalną zbiór azotu w odniesieniu do obiektu B był większy o 15% na obiekcie z włókniną o gramaturze 100, o 19%, a z włókniną $200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ o 30% na obiekcie z włókniną $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Różnice w zbiorze azotu pomiędzy obiektami okrytymi włókniną nowej generacji, a obiektami A, B i F były statystycznie istotne.

Tabela 15. Zbiór azotu z plonem suchej masy runi

| Obiekt | Lata | | | Średnia z lat 2019–2021 |
|--------|-------------------------|-------|-------|----------------------------|
| | 2019 | 2020 | 2021 | |
| | N kg · ha ⁻¹ | | | |
| A | 21,1 | 70,6 | 128,3 | 73,3 a |
| B | 29,6 | 204,6 | 257,5 | 163,9 b |
| C | 35,7 | 226,2 | 304,1 | 188,7 c |
| D | 58,0 | 222,8 | 307,2 | 196,0 c |
| E | 76,9 | 235,8 | 325,1 | 212,6 c |
| F | 41,9 | 216,1 | 254,5 | 170,8 b |

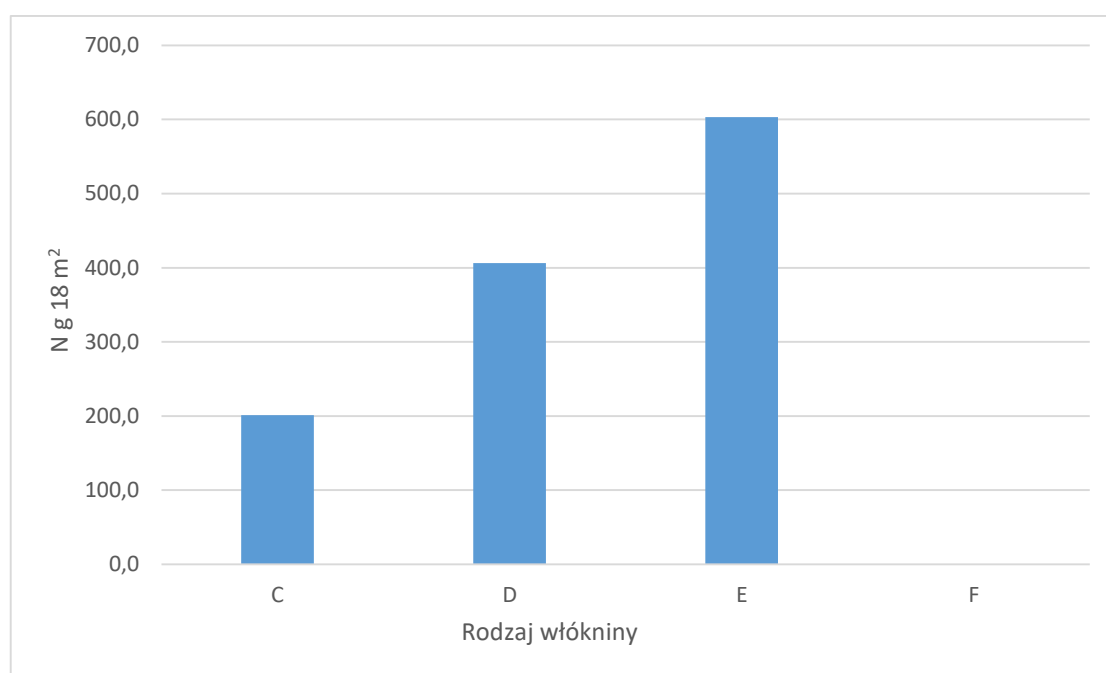
Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.2.6. Ilość dostarczonego azotu do gleby z rozkładających się włókien

Przyjmując całkowity rozkład włókien w okresie 3 lat badań szacuje się, że dostarczyły one do gleby w przeliczeniu na 1 ha następujące ilości azotu: włóknina o gramaturze 100 – 112 kg, włóknina 200 – 225 kg, włóknina 300 – 330 kg N · ha⁻¹ (tab. 16). Na powierzchni 1 poletka doświadczalnego (18 m²) ilość azotu pochodząca z rozkładu włókien wahała się od 200 do 600 g w zależności od obiektu (ryc. 6). W ciągu 3 lat badań sumaryczne ilości azotu pobranego przez roślinność na obiektach z włókniną biodegradowalną były wyższe od ilości dostarczonego w nawożeniu o 74,4 kg · ha⁻¹ na obiekcie C, o 96,3 kg · ha⁻¹, na obiekcie D i o 146,1 kg · ha⁻¹ na obiekcie E. Nie uwzględniając innych możliwych strat tego składnika występujących podczas rozkładu włókien (wymywania, ulatniania) a także ilości azotu dostarczonego przez koniczynę stwierdzono, że wykorzystanie azotu pochodzącego z włókien było znaczące i wynosiło na obiekcie z włókniną o gramaturze 100 – 64%, a na pozostałych 2 włókninach około 43%. Tempo rozkładu włókien było zależne od gramatury. Włókniny o gramaturze 100 i 200 w drugim roku badań uległy całkowitemu rozkładowi, trudno było znaleźć ich ślady na glebie (ryc. 6). Na obiekcie z włókniną 300 były widoczne jeszcze duże jej kawałki.

Tabela 16. Ilość azotu dostarczonego do gleby z włókien biodegradowalnych i jego pobranie przez rośliny

| Obiekt | Ilość N kg·ha ⁻¹ | | Wykorzystanie (%) |
|--------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|
| | Dostarczone z włókninami | Pobrane przez rośliny | |
| C | 112 | 74,4 | 64,0 |
| D | 225 | 96,3 | 42,8 |
| E | 335 | 146,1 | 43,6 |



Rycina 5. Ilość dostarczonego azotu z rozkładu włókien na poletko doświadczalne [g]



Rycina 6. Stan rozkładu włókien na początku okresu wegetacyjnego w 2020 roku

4.2.7. Wilgotność gleby

Ocena wilgotności gleby przeprowadzona po 125 dniach od założenia doświadczenia była bardzo niska (tab. 17). Powodem tego były bardzo małe opady w poprzedzającym okresie, ich suma wynosiła około 5 mm (ryc. 2). Jednak na obiektach z włókniną biodegradowalną wilgotność gleby była 1,5–2-krotnie większa w porównaniu do obiektów bez włókien biodegradowalnych i obiektu z włókniną handlową. Stwierdzono znacznie większą wilgotność gleby w drugim terminie badań (150 dni od wysiewu) w stosunku do pierwszego terminu. Wilgotność ta była zbliżona we wszystkich obiektach. Było to wynikiem dużych opadów (58 mm) występujących pod koniec pierwszej dekady października.

Tabela 17. Średnie arytmetyczne pomiaru wilgotności gleby

| Obiekt | Wilgotność gleby (%) | |
|--------|----------------------|--------------------|
| | 125 dni od wysiewu | 150 dni od wysiewu |
| A | 8,4 a | 32,5 a |
| B | 7,1 a | 31,1 a |
| C | 11,4 b | 32,2 a |
| D | 12,4 b | 27,9 a |
| E | 18,4 c | 29,0 a |
| F | 8,0 a | 33,2 a |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

4.2.8. Właściwości fizyko-chemiczne gleby

Po zakończeniu badań wykonano analizy chemiczne gleby, wykazały zmiany w niektórych parametrach w odniesieniu do stanu wyjściowego (tab. 18). Na obiektach A i B stwierdzono zmniejszenie pH gleby zaś na obiektach, na których zastosowano włókniny pH gleby na ogół nie uległo większym zmianom. Zawartość węgla organicznego i potasu na obiektach A, B i F była zbliżona do stanu wyjściowego, a na obiektach z zastosowaniem włóknin biodegradowalnych stwierdzono znaczący wzrost zawartości tych składników: węgla o 1,5-2,4 g kg suchej masy, a potasu o 3,2-8,6 mg kg suchej masy. Zawartość azotu ogólnego na ogół we wszystkich obiektach była zbliżona do stanu wyjściowego. Natomiast na wszystkich obiektach zwiększyła się zawartość fosforu z 2,7 mg do 3,1 mg kg s.m. Z kolei zawartość magnezu obniżyła się w stosunku do stanu wyjściowego.

Tabela 18. Właściwości fizyko-chemiczne gleby

| Obiekt | pH _{H2O} | pH _{KCl} | Węgiel organiczny | N ogółem | Przyswajalne | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|----------------------|-------------|----------------------------|---------|--------|
| | | | | | P | K | Mg |
| | | | | | mg · kg ⁻¹ s.m. | | |
| Stan wyjściowy | 6,78 b | 6,04 b | 14,2 a | 1,1 a | 2,7 a | 95,2 a | 35,6 a |
| Po zakończeniu badań | | | | | | | |
| A | 6,52 a | 5,84 a | 14,7 a | 1,3 a | 3,2 b | 95,2 a | 34,1 a |
| B | 6,30 a | 5,24 a | 14,8 a | 1,2 a | 3,9 b | 95,6 a | 31,4 a |
| C | 6,99 b | 6,32 b | 15,7 b | 1,1 a | 3,1 b | 102,3 a | 32,8 a |
| D | 6,97 b | 6,46 b | 16,8 c | 1,2 a | 3,6 b | 98,4 a | 30,0 a |
| E | 6,84 b | 6,03 b | 16 3 bc | 1,2 a | 3,4 b | 103,8 a | 36,0 a |
| F | 7,00 b | 6,36 b | 14,9 a | 1,2 a | 3,5 b | 95,2 a | 32,7 a |

Wartości oznaczone tym samym symbolem nie różnią się istotnie przy $p = 0,05$

5. Dyskusja

Z uzyskanych wyników w badaniach laboratoryjnych na uwagę zasługują dwa fakty:

1. Różnice pomiędzy rodzajami włókniń w utrzymywaniu wody po 2 godzinach od ich namoczenia – suszenia na wolnym powietrzu.
2. Różnice w ilości skielkowanych nasion po 7 dniach na podłożu z włókniń.

Wolniejsze oddawanie wody przez włókniń wykonane z dodatkiem piór w porównaniu z włókniń wykonanymi z wełny owczej świadczy, że te pierwsze cechują się większą retencją wody. Natomiast stwierdzone szybsze kiełkowanie nasion na podłożu z włókniń bez dodatku piór jest zjawiskiem trudnym do wyjaśnienia. Można przypuszczać, że przyczyną tego mógł być nadmiar wody, ponieważ regularne podlewanie nasion w kuwetach jednakową ilością wody spowodowało większe jej gromadzenie w włókniń z dodatkiem piór. Nadmierna wilgotność tych włókniń mogła ograniczyć ich kiełkowanie.

Stwierdzony korzystny wpływ nawożenia na wschody po 22 dniach od wysiewu roślin raczej wynikał z dynamizowania ich wzrostu i rozwoju, a nie sprzyjał samym wschodom, gdyż kiełkowanie nasion głównie zależy od temperatury i wilgotności [Jankowski i in. 2011]. Natomiast wysoce dodatni wpływ przykrycia gleby po wysiewie nasion na ich wschody w pełni wpisuje się w opinię innych badaczy informujących o korzystnym wpływie włókniń [Kacorzyk i in. 2018]. Zadarnienie powierzchni gleby przez wzeszłe rośliny na obiektach A i B wynosiło około 1%. Natomiast przy wykorzystaniu włókniń o gramaturze 100 i 200 zadarnienie wynosiło 12%. Włóknińa o gramaturze 300 nieznacznie ograniczała początkowe wschody roślin o 10–12%. Podobnie można tłumaczyć powolne wschody koniczyny białej pod włóknińą w porównaniu z obiektami bez okrywy. Powolne wschody wiechlina łąkowej wynikają ze sposobu rozwoju tego gatunku [Falkowski 1982, Szenejko 2007]. Znacznie późniejsze wschody koniczyny białej w porównaniu z trawami na obiektach A i B nie znajdują potwierdzenia w obserwacjach terenowych. Przyczyną późniejszych wschodów koniczyny białej w warunkach laboratoryjnych mógł być brak mikroorganizmów rozkładających okrywę nasienną koniczyny.

Po 50 dniach od wysiewu nasion stwierdzone większe zagęszczenie roślin na obiektach A, B niż w pozostałych było wynikiem sprzyjających warunków meteorologicznych a w pewnym stopniu większej wolnej przestrzeni, którą pod włóknińami rośliny wcześniej zajęły. W czasie tej oceny rośliny intensywnie przerastały włóknińę. To przerastanie roślin było

ujemnie skorelowane z gramaturą. Włóknina o gramaturze 100 w tym czasie zespoliła się całkowicie z glebą. Po 125 dniach od wysiewu czyli pod koniec wegetacji zadarnienie powierzchni gleby na obiektach, gdzie wykorzystywano włókninę było 2,5-krotnie większe niż w roku drugim w porównaniu do obiektów bez okrywy włóknin. Przy braku włókniny zadarnienie gleby wynosiło 40–50%, a przy wykorzystaniu włókniny 70–80%. Natomiast w trzecim roku badan zadarnienie powierzchni zmniejszyło się. W drugim roku zadarnienie na obiektach z włókniną dochodziło do 100%, a na obiektach bez wykorzystania włókniny było mniejsze i wynosiło 75–80%. W czasie tej oceny stwierdzono również różnice w dominacji gatunków w runi. Na obiektach A, B i C dominującym gatunkiem była kostrzewa czerwona. Natomiast na obiektach D, E kostrzewa łąkowa. Kostrzewa łąkowa z reguły cechuje się większymi wymaganiami nawozowymi [Kacorzyk 2007, Zarzycki i Korzeniak 2012]. Stąd też większa jej ilość na obiektach D i E mogła wynikać z większej podaży azotu pochodzącego z rozkładu włóknin o gramaturze 200 i 300. Na uwagę zasługuje fakt, iż w trzecim roku badań zadarnienie gleby istotnie się zmniejszyło, wynikało to z ubytku życicy trwałej i koniczyny białej w runi gatunków tworzących typowo dobre zadarnienie. Zmniejszenie tych dwóch gatunków w runi wynika z ich trwałości a także z mało sprzyjających warunków siedliskowych panujących na stoku o wystawie południowo-wschodniej silnie narażonej na przesychnanie. O dużej wrażliwości życicy trwałej na niekorzystne warunki siedliskowe informują inni badacze [Rutkowska i in.1994, Grabowski i in. 1999, 2003, Harkot i Czarnecki, 1999, Harkot i Czarnecki, 2002, Domański i Golińska 2003, Dąbrowski i Pawluśkiewicz 2011]. Również z badań Kacorzyka i Kasperczyka [2014] wynika, że w warunkach górskich udział w runi życicy trwałej i koniczyny białej uzależniony był od warunków siedliskowych.

Skuteczność zastosowanego nawożenia PKN w zagospodarowaniu stoku była wysoka. Zapewniała ona średnio 2-krotny wzrost plonowania roślinności trawiastej a także wyraźne zwiększenie zadarnienia powierzchni gleby. W przypadku przyrostu plonów efektywność tego nawożenia w tych niesprzyjających warunkach siedliskowych była wysoka (gleba o dużej ilości części mechanicznych, dużym nachyleniu) i jest podobna jak na górskich zbiorowiskach łąkowych [Kasperczyk i in. 2007].

Na uwagę zasługuje fakt, że w miarę zwiększania się gramatury włóknin plonowanie roślin zwiększało się w kolejnych latach. Wynikało to ze zwiększonej podaży azotu w glebie pochodzącego z rozkładu włóknin oraz powolnego jego uwalniania się podczas zachodzącej mineralizacji kreatyny [Łaba i Rodziewicz 2004, Riffel i Brandelli 2006, Bohacz i Kornilowicz-Kowalska 2009, Staroń i in. 2011, Paul i in. 2013, Kacorzyk i in 2021].

Natomiast na obiektach bez włókniny A i B najwyższe plony zebrano w drugim roku trwania doświadczenia.

O powolnym uwalnianiu się azotu z włóknin świadczy również jego wykorzystanie. W roku pierwszym wykorzystanie azotu z dostarczonej ilości we włókninach wahało się od 5,5% na obiekcie z włókniną o gramaturze 100 do 14,1% na obiekcie z gramaturą 300. W roku drugim wartości te wynosiły odpowiednio: 19,3% i 9,3%, a w roku ostatnim (trzecim) 41,6% i 20,2%. Średnio za trzy lata wykorzystanie azotu na powyższych obiektach wynosiło: na C – 66,4%, D – 42,6% i na E – 43,6%. Największe wykorzystanie azotu na obiekcie C (gramatura 100) należy tłumaczyć dwoma faktami. Po pierwsze w miarę zwiększania dawek azotu jego wykorzystanie się zmniejsza. Po drugie włóknina o tej gramaturze w dużej mierze już w pierwszym roku uległa rozkładowi.

Z obserwacji wynika, że przy tworzeniu tras narciarskich często w celu wzbogacenia gleby w substancję organiczną a także w składniki nawozowe używano osadu komunalnego. Zabieg ten należy uznać za niewłaściwy, nie zawsze przyczynia się do poprawy warunków adaptacyjnych dla wysianych nasion. Czarny kolor osadu sprzyja nagrzewaniu gleby a tym samym przesuszeniu, ponadto w czasie intensywnych opadów ulega wraz z nasionami zmyciu. Również skład chemiczny osadów nie jest stabilny, który może być przyczyną zanieczyszczenia środowiska glebowego i wodnego. Natomiast stosowanie włóknin w odniesieniu do osadu chroni glebę przed erozją, przegrzaniem z racji białego koloru oraz jest dostarczycielem dużej ilości substancji organicznych i składników nawozowych [Wołoszyn 2009]. Na przykład z włókniną o gramaturze 100 dostarczono do gleby w przeliczeniu na hektar około 1 tonę substancji a w niej 112 N kg · ha⁻¹.

Wykorzystanie włóknin biodegradowalnych korzystnie wpłynęło na niektóre właściwości chemiczne gleby. Po zakończeniu badań stwierdzono zwiększenie się pH gleby i zawartości w niej węgla i potasu. Wzrost tych parametrów należy łączyć / tłumaczyć dwoma faktami: pochodzeniem tych składników z rozkładających się włóknin oraz uruchomieniem ich w glebie w wyniku poprawy mikroklimatu w wyniku jej lepszego zadarnienia. Z tą drugą zależnością należy łączyć zwiększenie zasobności gleby w fosfor na wszystkich obiektach.

Podsumowując rezultaty badań należy stwierdzić, że włókniny wyprodukowane na bazie piór i wełny spełniają oczekiwania zwarte w projekcie. Włóknina o gramaturze 100 i 200 może być stosowana również do przykrycia innych roślin jednorocznych, gdyż w wyniku rozkładu w okresie wegetacji nie są przeszkodą w zbiorze plonu i wykonywaniu zabiegów

agrotechnicznych pod następne rośliny. Natomiast włóknina o gramaturze 300 wymaga dłuższego okresu rozkładu około dwóch lat.

Oprócz możliwości wszechstronnego wykorzystania włókniny biodegradowalnej posiada ona dodatkowo następujące zalety:

Nie wpływa ujemnie na środowisko, a wręcz przeciwnie przyczynia się do poprawy właściwości fizyko-chemicznych gleby.

Nie wymaga recyklingu, który jest kłopotliwym procesem technologicznym i wysokonakładowym. Według Briassoulis i in. [2004] przyczyną niskiego stopnia wykorzystania tworzyw sztucznych w recyklingu jest wysoki koszt ich przetwarzania. Produkcja włókniny biodegradowalnej pozwala w sposób racjonalny zagospodarować uciążliwy odpad jakim są pióra z ubojni drobiu.

6. Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników wyciągnięto następujące wnioski:

1. Przydatność włókien biodegradowalnych do wykorzystania ich w praktyce zależy od gramatury, udziału w nich piór i prędkości igłowania.
2. Nawożenie PKN oraz stosowane na jego tle włókniny biodegradowalne do przykrycia gleby było istotnym czynnikiem wspomagającym zadarnienie na powierzchni trasy narciarskiej.
3. Najbardziej przydatnymi okazały się włókniny o gramaturze 100 i 200. Włókniny te zapewniły 2-krotnie większą liczbę wzeszłych siewek roślin oraz pod koniec wegetacji 2-krotnie większe zadarnienie powierzchni. Efektem tego było znaczące skrócenie możliwości wystąpienia zmycia nasion i gleby w wyniku intensywnych opadów.
4. Użyte w mieszance gatunki nasion należy uznać za prawidłowe. W drugim i trzecim roku badań znaczący ubytek życicy trwałej i koniczyny białej wynikał z ich mniejszej trwałości. Jednak ich znaczący udział w pierwszym roku sprzyjał szybszemu zadarnieniu powierzchni gleby.
5. Włókniny o gramaturze 100 i 200 ulegały systematycznemu rozkładowi i nie utrudniały wschodom roślin w porównaniu do włókniny handlowej.
6. Zastosowane włókniny biodegradowalne dodatkowo wpłynęły na plonowanie roślin i ich zasobność w azot, a wpływ ten był dodatnio zależny od gramatury włókien. Wykorzystanie przez rośliny azotu pochodzącego z rozkładu włókien było stosunkowo duże. Wahało się od 43 do 64%.
7. Włókniny biodegradowalne korzystnie wpłynęły na niektóre właściwości chemiczne gleby. Zwiększyły one nieznacznie pH gleby oraz jej zasobność w węgiel i potas.
8. Wykorzystanie włókien biodegradowalnych zawierających 41% piór – uciążliwego odpadu, bogatego w azot należy uznać za wysoce zasadne z punktu widzenia ekologicznego i ekonomicznego.

7. Zgłoszenie patentowe

Zgłoszenie Nr P.430284 – Zgłoszenie wynalazku w Urzędzie Patentowym RP pt. "Sposób wytwarzania puszystej włókniny kompozytowej", Warszawa, dnia 19.06.2019.

8. Literatura

1. Adamczewska-Sowińska K., Kołota E., 2010. Yielding and nutritive value of field cultivated eggplant with the use of living and synthetic mulches. *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 9(3): 191–199.
2. Antonkiewicz J., Radkowski A., 2006. Przydatność wybranych gatunków traw i roślin motylkowatych do biologicznej rekultywacji składowisk popiołów paleniskowych. *Annales UMCS, Sec. E*, 61, 413–421.
3. Bohacz J., Kornilowicz-Kowalska T., 2009. Changes in enzymatic activity in composts containing chicken feathers. *Bioresource Technology*, 100, 3604–3612.
4. Bolt A.F., Duszyńska A., 2001. Badania cech i trwałości geotekstyliów według przepisów CEN. 3, 125–137.
5. Bonafe S., 2020. The Importance of the Circular Economy Model. *Accelerating the Transition to a Circular Economy Model Is Not an Option, but a Mandatory Decision*, in: Eisenriegler, S. (Ed.), *The Circular Economy in the European Union: An Interim Review*. Springer Nature Switzerland AG, Cham, pp. 55–56.
6. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R.J., Holmes B.J., Muck R.E., 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *J. Dairy Sci.*, 101, 3952–3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>.
7. Brandelli A., 2008. Bacterial Keratinases: Useful Enzymes for Bioprocessing Agroindustrial Wastes and Beyond. *Food Bioproc. Tech.*, 1, 105–116.
8. Briassoulis D., Hiskakis M., Babou E., 2013. Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste. *Waste Manag.*, 33, 1516–1530.
9. Briassoulis D., Aristopoulou A., Bonora M., Verlodt I., 2004. Degradation Characterisation of Agricultural Low-density Polyethylene Films. *Biosyst. Eng.*, 88, 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.02.010>.
10. Cholewa M., Zydrón T., Pelc Ł., 2003. Badania wybranych parametrów wytrzymałości geowłóknin ułożonych na podłożu odkształcalnym i nieodkształcalnym. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*, 1, IV, 129–141.
11. Czyż H., Gos A., Kitzak T., Trzaskoś M., 2000. Skrypt do ćwiczeń z łąkarstwa. *Wyd.Nauk.AR. Szczecin*. s. 154.
12. Dalton F. N., Maggio A., Piccinni G., 1997. Effect of root temperature on plant response functions for tomato: comparison of static and dynamic salinity stress indices. *Plant Soil* 192: 307–319.

13. Dąbrowski P., Pawluśkiewicz B., 2011. Wpływ warstwy wierzchniej podłoża o różnej zawartości piasku na rozwój wybranych gazonowych odmian *Lolium perenne* L. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 51, 27–35.
14. Domański P.J., Golińska B., 2003. Perspektywy *Lolium perenne* w użytkowaniu trawnikowym i darniowym. *Łąkarstwo w Polsce*, 6, 37–45.
15. Durło G., 2003. Typologia mikroklimatyczna Jaworzyny Krynickiej i Doliny Czarnego Potoku. *Sylwan*, 2, 58–66.
16. Durło G., 2006. Warunki klimatyczne rezerwatu „Baniska” w Beskidzie Sądeckim. *Sylwan*, 6, 50–64.
17. Falkowski M., 1982. *Trawy polskie*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa, 384–392.
18. FAO., 2021. Assessment of agricultural plastics and their sustainability. A call for action. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb7856en>.
19. Firek E., Filipek J., 1960. *Postępy Nauk Rolniczych* nr 4 (64).
20. Golińska B., 2018. Kształtowanie się szaty roślinnej na terenach zieleni przylegających do autostrady. *Łąkarstwo w Polsce*, 21, 43–61.
21. Goliński P., 2000. "Trawy nasienne: wysoki plon daje zysk." *Top Agrar Polska* 05 (2000): 76–80.
22. Grabowski K., Grzegorzczak S., Benedycki S., Kwietniewski H., 1999. Ocena wartości użytkowej wybranych gatunków i odmian traw gazonowych do obsiewu nawierzchni trawiastych. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis* 197, *Agricultura* 75, 81–88.
23. Grabowski K., Grzegorzczak S., Kwietniewski H., 2003. Ocena przydatności gatunków i odmian traw gazonowych na trawniki rekreacyjne w warunkach Pojezierza Olsztyńskiego. *Biuletyn IHAR*, 225, 295–302.
24. Gregory M.R., Andrady A.L., 2003. Plastics in the environment, in: A.L. Andrady (Eds.), *Plastics and the Environment*, John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 379–401.
25. Hancock D.W., Collins M., 2006. Forage Preservation Method Influences Alfalfa Nutritive Value and Feeding Characteristics. *Crop Sci.*, 46, 688. <https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0183>.
26. Harkot W., Czarnecki Z., 1999. Grasses in the lawns of Lublin (Poland) within areas
27. Harkot W., Czarnecki Z., Wylupek T., Lipiński W., 2002. Wpływ natężenia ruchu pojazdów mechanicznych na udział *Lolium perenne* w runi przyulicznych trawników Lublina i Zamościa. *Łąkarstwo w Polsce*, 5, 101–109.

28. Jankowski K., Sosnowski J., Szczykutowicz A., 2011. Zadarnienie muraw trawnikowych założonych na bazie kostrzewy czerwonej przy zastosowaniu hydrożeli w podłożu Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, s. 89–92.
29. Jankowski K., Sosnowski J., Jankowska J., 2011. Effect of hydrogel and different types of fertilizers on the numer of turf shoots in lawns created by monocultures of red fescue (*Festuca rubra* L.) Cultivars and its mixtures, *Acta Agrobotanica* vol. 64(3), 109–118.
30. Jermołowicz P., 2016. Geosyntetyki – podział i charakterystyka. *Rynek Inwestycji*, 52–57.
31. Jotisankasa A., Rurgchaisri N., 2018. Shear strength of interfaces between unsaturated soils and composite geotextile with polyester yarn reinforcement. *Geotext. Geomembr.*, 46, 338–353.
32. Kabała C., Karczewska A., 2019. *Metodyka analiz laboratoryjnych gleb i roślin*. wyd. 8. Wrocław.
33. Kacorzyk P., 2007. Zmiany składu botanicznego runi łąki górskiej oraz wielkości plonu suchej masy i białka ogólnego jako rezultat nawożenia obornikiem owczym. *Łąkarstwo w Polsce*, 10, 69–77.
34. Kacorzyk P., Kasperczyk M., 2014. Możliwość wykorzystania tras narciarskich w gospodarce pastwiskowej *Łąkarstwo w Polsce*, 17, 33–38.
35. Kacorzyk P., Kasperczyk M., Szewczyk W., 2018. Wpływ różnych zabiegów na zadarnienie modernizowanego wału przeciwpowodziowego. *Łąkarstwo w Polsce*, 21, 63–69.
36. Kacorzyk P., Kasperczyk M., 2016. Struktura plonu biomasy wybranych traw na wałach przeciwpowodziowych / The structure of the crop biomass of selected grass from river dikes. *Łąkarstwo w Polsce*, Nr 19, 141–148.
37. Kacorzyk, P., Strojny J., Białczyk B., 2021. "The Impact of Biodegradable Geotextiles on the Effect of Sodding of Difficult Terrain" *Sustainability* 13, no. 11: 5828.
38. Kacorzyk P., Kasperczyk M., Szewczyk W. 2022. Wykorzystanie włókien przy tworzeniu zadarnienia na wałach przeciwpowodziowych, *Praca w druku*.
39. Kasperczyk M., Szewczyk W., Kacorzyk P., 2007. Produktywność azotu na łące górskiej. *Łąkarstwo w Polsce*. 10, 111–118.
40. Koitabashi M., Sameshima-Yamashita Y., Watanabe T., Shinozaki Y., Kitamoto H., 2016. Phylloplane Fungal Enzyme Accelerate decomposition of Biodegradable Plastic Film in Agricultural Settings. *JARQ Jpn. Agric. Res. Q.*, 50(3), 229–234. DOI: 10.6090/jarq.50.229.

41. Korol J., Hejna A., Wypiór K., Mijalski K., Chmielnicka E., 2021. Wastes from Agricultural Silage Film Recycling Line as a Potential Polymer Materials. *Polymers*, 13, 1383. <https://doi.org/10.3390/polym13091383>.
42. Kozłowski S., 1997. Hodowla traw a zmienność ich cech morfologicznych, biologicznych i chemicznych. *Biul. Oceny Odm.* 28: 17–28.
43. Kyrikou I., Briassoulis D., 2007. Biodegradation of agricultural plastic films: A critical review. *J. Polym. Environ.* 15, 125–150.
44. Łaba W., Rodziewicz A., 2004. Biodegradacja odpadów keratynowych z przemysłu drobiowego przy udziale bakterii z rodzajów *Bacillus* i *Sarcina*. *Biotechnologia*, 3(1-2), 109–120.
45. Margielewski W., 1998. Rozwój form osuwiskowych w Barnowcu (Beskid Sądecki, Karpaty zewnętrzne), w świetle analizy strukturalnych uwarunkowań osuwisk w Karpatach fliszowych. *Przeegl. Geol.*, 46 (5), 436–450.
46. Maraveas Ch., 2020. Environmental Sustainability of Plastic in Agriculture. *Agriculture and Environment, Agriculture*, 10(8), 310. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080310>.
47. Orłowski M., Jadczyk D., Żurawik A., 2005. The effect of covering and diameter of planted bulbils on the quantity and quality of shallot grown for bunching harvest. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu* 515: 387–393 [in Polish with English summary].
48. Paul T., Halder S.K., Das A., Bera S., Maity Ch., Mandal A., Das P.S., Das Mohapatra P.K., Pati B.R., Mondal K.C., 2013. Exploitation of chicken feather waste 49 as a plant growth promoting agent using keratinase producing novel isolate *Paenibacillus woosongensis* TKB2. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 2, 50–57.
49. Piecuch T., 2006. *Zarys metod termicznej utylizacji odpadów*. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin.
50. Piecuch T., Dąbrowski J., Dąbrowski T., 2009. Badania laboratoryjne nad możliwością termicznej utylizacji poprodukcyjnych odpadów poliestrowych / Laboratory investigations on possibility of thermal utilisation of post-production waste polyester. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 11(1), 87–101.
51. Piehl S., 2020. Contamination of the environment with plastic debris : “Development, improvement, and evaluation of monitoring methods”. Thesis for Doctoral, University of Bayreuth, Bayreuther Graduiertenschule für Mathematik und Naturwissenschaften, Bayreuth, Germany.
52. Prończuk M., Laudański Z., Prończuk, S., 2003. Porównanie gatunków i odmian *Festuca* ssp. w wieloletnim użytkowaniu trawnikowym. *Biul. IHAR*, 225, 239–257.

53. PTG., 2008. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. *Roczniki gleboznawcze*, 60(2), 5–16.
54. Rekowska E., 2011. The effect of soil and plants covering with the polypropylene non-woven on the quantity and quality of yield of stem lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Augustana irish*). *Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus* 10(1): 3–11.
55. Riffel A., Brandelli, A., 2006. Keratinolytic bacteria isolated from feather waste. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37, 395–399.
56. Rodziewicz A., Łaba W., Sobolczyk J., Grzelak A., Drozd J., 2009. Kompostowanie odpadów keratynowych przy udziale szczepionki bakteryjnej w bioreaktorze obrotowym. *Inż. Ap. Chem.*, 48 (3), 95–97.
57. Rosa R., 2013. Wpływ terminu siewu i przykrycia gleby agrowłókniną na wzrost i długość okresu wegetacji kukurydzy cukrowej uprawianej w warunkach wschodniej Polski, „*Nauka Przyroda Technologie*”, t. 7, z 4.
58. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 (rozporządzenie o produktach ubocznych pochodzenia zwierzęcego) (Dz.U. L 300 z 14.11.2009, str. 1).
59. Rutkowska B., Stypiński P., Piekarczyk K., 1994. Rola trawników w ochronie środowiska aglomeracji miejskich w Polsce. W: *Nauka a jakość życia. Materiały II Międzynarodowej Konferencji*. Wilno, *Studium Vilnense* 5 (4), 78.
60. Sawicki B., 2003. Ocena handlowych mieszanek traw gazonowych w warunkach gleb.
61. Siwek P., 2002. Modification of environmental conditions by mulching and direct plant covering in the culture of cucumber and stalk celery. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, ser. Rozprawy* 279.
62. Siwek P., Libik A., Gryza I., 2011. Zastosowanie osłon biodegradowalnych w uprawie sałaty na zbiór wczesny. *Mat. Konf. Nauk. pt. „Nauka i Praktyka Ogrodnicza dla Zdrowia i Środowiska” AR w Lublinie*.
63. Siwek P., Libik A., Gryza I., Niekraszewicz A., Ciechalska D., 2009. Physico-mechanical properties and utility of melt-blown biodegradable nonwovens, 18 International Congress of CIPA – 10 International Congress of CIDAPA. *Mat. konf.*
64. Siwek P., Libik A., Zawiska I., 2012. The effect of biodegradable nonwovens in butterhead lettuce cultivation for early harvest. *Folia Hort.* 24(2) 161–166.

65. Siwek P., Kalisz A., Domagała-Świątkiewicz I., Libik A., 2017. Efektywność zastosowania włóknin biodegradowalnych w uprawie wybranych gatunków warzyw. In *Innowacyjne metody ochrony w uprawach ekologicznych*. Małopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Karniowicach: Karniowice, Poland, pp. 21–24.
66. Sonneveld C., Krei C., 1999. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to an unequal distribution of salts in the root environment. *Plant Soil* 209: 47–56.
67. Staroń P., Banach M., Kowalski Z., 2011. Keratyna – źródła, właściwości, zastosowanie. *Chemik* 65(10), 1019–1026.
68. Szenejko M., 2007. Masa i wielkość nasion a zdolność kiełkowania wybranych form *Poa pratensis* L. *Łąkarstwo w Polsce* 10, 173–183.
69. Świątkowski M., Walczak K., 2004. Stan rozwoju tworzyw polimerowych zawierających skrobię. *Przetwórstwo Tworzyw*, 5, 10: 138–145.
70. Tosic I., Mirosavljevic M., Przulj N., Trkulja V., Pesevic D., Barbir J., 2019. Effect of geotextile and agrotexile covering on productivity and nutritional values in lettuce. *Chil. J. Agr. Res.*, 79(4), 1–15.
71. Wagner M., Engwall M., Hollert H., 2014. Editorial: (Micro)Plastics and the environment. *Environmental Sciences Europe*, 26(16). DOI: 10.1186/s12302-014-0016-3.
72. Wilkinson, J.M., Muck R.E., 2019. Ensiling in 2050: Some challenges and opportunities. *Grass Forage Sci.*, 74, 178–187. <https://doi.org/10.1111/gfs.12418>.
73. Wolfe Dw., Albright I.D., Wyland J., 1989. Modelling row covers effects on microclimate and yield: Growth response of tomato and cucumber. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 562–568.
74. Wołoszyn E., 2009. *Meteorologia i klimatologia w zarysie*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej: Gdańsk.
75. Wu H.; Yao C., Li C., Miao M., Zhong Y., Lu Y., Liu T., 2020. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering. *Materials*, 13, 1–21. DOI:10.3390/ma13071774.
76. Zarzycki J., Korzeniak J., 2012. Wpływ zróżnicowanych zabiegów agrotechnicznych na różnorodność florystyczną łąki górskiej. *Ekologia i Technika*, 20(1), 41–46.
77. Zettler E.R., Mincer T.J., Amaral-Zettler L.A., 2013. Life in the "Plastisphere": microbial communities on plastic marine debris. *Environ Sci Technol.*, 47, 7137–7146.
78. Zhou B., Wang J., Zhang H., Shi H., Fei Y., Huang S., Tong Y., Wei D., Luo Y., Barcelo D., 2019. Microplastics in agricultural soils on the coastal plain of Hangzhou Bay, east

China: Multiple sources other than plastic mulching film. *J. Hazard. Mater.*, 388, 121814.
DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121814.

9. Spis tabel

Tabela 1. Rodzaje wytworzonych włókien

Tabela 2. Średnie miesięczne temperatury powietrza i ilość opadów atmosferycznych w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021

Tabela 3. Skład mieszanki

Tabela 4. Charakterystyka włókien

Tabela 5. Pojemność wodna włókien i ich zdolność do zatrzymywania wody

Tabela 6. Ilość odparowanej wody z lustra wody

Tabela 7. Procent skielkowanych nasion na podłożu z włókien

Tabela 8. Ilość roślin wzeszłych i przerośniętych przez włókninę po 22 i 50 dniach od wysiewu

Tabela 9. Udział gatunków wysianych oraz innych roślin w plonie runi po 125 dnach od wysiewu

Tabela 10. Skład botaniczny runi w II i III roku od wysiewu mieszanki (%)

Tabela 11. Pokrycie powierzchni gleby (%)

Tabela 12. Średnia arytmetyczna pomiarów LAI w latach 2019–2021

Tabela 13. Plon suchej masy runi

Tabela 14. Zawartość azotu w plonie suchej masy roślin

Tabela 15. Zbiór azotu z plonem suchej masy runi

Tabela 16. Ilość azotu dostarczonego do gleby z włókien biodegradowalnych i jego pobranie przez rośliny

Tabela 17. Średnie arytmetyczne pomiaru wilgotności gleby

Tabela 18. Właściwości fizyko-chemiczne gleby

10. Spis rycin

Rycina 1. Średnie dekadowe temperatury powietrza w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021

Rycina 2. Dekadowe sumy opadów atmosferycznych w stacji doświadczalnej w okresie badań 2019–2021

Rycina 3. Współczynnik pokrycia gleby przez rośliny w trzecim roku badań

Rycina 4. Współczynnik pokrycia gleby przez rośliny i ilość roślin przerastających włókniny w pierwszym roku badań

Rycina 5. Ilość dostarczonego azotu z rozkładu włókien na poletko doświadczalne

Rycina 6. Stan rozkładu włókien na początku okresu wegetacyjnego 2020 roku