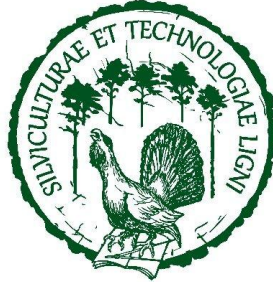


UNIwersytet PRZYRODniczy  
W POZNANIU  
WYDZIAŁ LEŚNY I TECHNOLOGII DREWNA



KONRAD KAMIŃSKI

NUMER ALBUMU: 85564

**Zmiany zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno spał na świerkach  
ze szczególnym uwzględnieniem grzybów patogenicznych  
i powodujących zgnilizny drewna**

**Changes of fungal communities inhabiting bark stripped Norway Spruce  
trees with particular focus on pathogenic and rot causing fungi**

*Praca doktorska  
wykonana pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Piotra Łakomego  
w Katedrze Entomologii i Fitopatologii Leśnej*

*Podpis promotora.....*

POZNAŃ 2024

**Dziękuję:**

Katarzynie bez wsparcia której, ta praca by nie powstała;

Pracownikom PGL LP Nadleśnictwa Drygały,

Nadleśnictwa Giżycko i Nadleśnictwa Suwałki;

Prof. dr. hab. Piotrowi Łakomemu za poświęcony czas i cierpliwość;

Prof. UPP dr hab. Jolancie Behnke-Borowczyk za rozwiewanie  
moich wątpliwości i ciągłą motywację do jeszcze cięższej pracy;

Paniom Annie Ratajczak i Arlecie Świetlik-Chudy za pomoc podczas  
prac laboratoryjnych.

mgr inż. Konrad Kamiński

## Oświadczenie autora rozprawy doktorskiej

Niniejszym oświadczam, że przedłożoną rozprawę doktorską pt.: „**Zmiany zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno spał na świerkach ze szczególnym uwzględnieniem grzybów patogenicznych i powodujących zgnilizny drewna**” napisałem samodzielnie, tj.:

nie zleciłem opracowania rozprawy lub jej części innym osobom,

- nie przepisałem rozprawy lub jej części z innych opracowań i prac związanych tematycznie z moją pracą,
- korzystałem jedynie z niezbędnych konsultacji,
- wszystkie elementy rozprawy, które zostały wykorzystane do jej realizacji (cytaty, ryciny, tabele, programy itp.), a nie będące mojego autorstwa, zostały odpowiednio zaznaczone wraz z podaniem źródła ich pochodzenia,
- rozprawa nie była wcześniej przedmiotem procedur związanych z uzyskaniem stopnia naukowego.

Oświadczam ponadto, że niniejsza wersja rozprawy jest identyczna z załączoną wersją elektroniczną.

Mam świadomość, że złożenie nieprawdziwego oświadczenia skutkować będzie niedopuszczeniem do dalszych czynności postępowania w sprawie nadania stopnia doktora lub cofnięciem decyzji o nadaniu mi stopnia doktora oraz wszczęciem postępowania dyscyplinarnego.

Data 28.12.2024

Podpis autora rozprawy .....

prof. dr hab. inż. Piotr Łakomy  
Katedra Entomologii i Fitopatologii Leśnej  
Wydział Leśny i Technologii Drewna  
Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu

### **Oświadczenie promotora rozprawy doktorskiej**

Oświadczam, że niniejsza rozprawa doktorska pt.: **„Zmiany zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno spał na świerkach ze szczególnym uwzględnieniem grzybów patogenicznych i powodujących zgnilizny drewna”** została przygotowana pod moim kierunkiem i stwierdzam, że spełnia ona warunki do przedstawienia jej w postępowaniu o nadanie stopnia naukowego.

Poznań, 29 grudnia 2024 r.    Podpis promotora rozprawy .....

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP .....	6
2. CEL PRACY .....	9
3. PRZEGLĄD LITERATURY .....	10
4. MATERIAŁY I METODY .....	20
4.1. Obiekt badań .....	20
4.2. Powierzchnie badawcze .....	23
4.3. Określenie stopnia zasiedlenia powierzchni badawczych przez grzyby powodujące zgnilizny drewna .....	27
4.4. Określenie gatunków grzybów zasiedlających rany na pniach świerków .....	27
4.4.1. Drzewa doświadczalne .....	27
4.4.2. Izolacja DNA i przygotowanie bibliotek OTU .....	28
4.4.3. Analiza statystyczna wyników .....	30
4.4. Określenie wskaźników różnorodności zbiorowisk grzybów w drewnie ran .	31
4.5. Określenie zagrożenia przyszłego drzewostanu za pomocą modelu prognostycznego ROTSTAND .....	31
5. WYNIKI .....	37
5.1. Grzyby powodujące zgnilizny drewna występujące na powierzchniach badawczych .....	37
5.2. Zbiorowiska grzybów i <i>Oomygota</i> zasiedlające drewno pni świerkowych ...	41
5.3. Taksony zasiedlające drewno naturalnych spał na świerkach .....	43
5.4. Taksony zasiedlające drewno sztucznych ran na pniach świerków w zależności od pory roku wykonania rany na pniu .....	46
5.5. Taksony zasiedlające drewno sztucznych spał na pniach świerków w zależności od wysokości powstania rany na pniu .....	52
5.6. Taksony zasiedlające drewno sztucznych ran na pniach świerków w zależności od strony świata powstania rany na pniu .....	59
5.7. Wskaźniki bioróżnorodności .....	66
5.8. Zmiany i interakcje pomiędzy zbiorowiskami grzybów i <i>Oomygota</i> .....	71
5.9. Zmiany występowania wybranych taksonów grzybów w drewnie spał .....	80
5.10. Symulacja rozwoju huby korzeni przy pomocy modelu ROTSTAND .....	90
6. DYSKUSJA .....	97
7. WNIOSKI .....	104
8. LITERATURA .....	105
STRESZCZENIE .....	113
SUMMARY .....	118
Aneks (pendrive)	

## 1. WSTĘP

Świerk pospolity (*Picea abies* (L.) Karst.) należy do najważniejszych gatunków lasotwórczych Polski. Występuje naturalnie w całym kraju z wyjątkiem części Podlasia, Mazowsza, Pomorza i Wielkopolski (gdzie jest wprowadzany sztucznie). Przez teren Polski przebiegają dwie granice występowania tego gatunku – zachodnia (populacje borealne) oraz północna (populacje górskie). Rozdziela je tzw. pas dysjunkcji prawdopodobnie pochodzenia antropogenicznego (BORATYŃSKI i in. 1998). Świerk jako gatunek panujący w 2020 roku zajmował 5,3% (487 tys. ha) powierzchni lasów w Polsce (GUS 2022).

Świerk to gatunek charakteryzujący się prostym, gonnym pniem oraz drewnem wysokiej wartości technicznej. Ponadto drzewostany świerkowe wykazują duże możliwości produkcyjne, w wieku rębności znacznie przewyższające zasobnością sosnowe czy modrzewiowe. W zależności od możliwości siedliska w warunkach nizinnych może ona przeciętnie wynosić 238-402 m<sup>3</sup>/ha, w terenach wyżynnych 348-396 m<sup>3</sup>/ha, natomiast w warunkach górskich zawiera się w przedziale 247-435 m<sup>3</sup>/ha (ŻYBURA 1990).

Od lat 50-tych XX wieku świerk jest gatunkiem, którego stan zdrowotny na terenie Polski stale ulega osłabieniu. Na początku omawianego okresu główną przyczyną takiego stanu było zanieczyszczenie powietrza powodowane emisjami przemysłowymi, natomiast w chwili obecnej pierwszoplanową rolę odgrywa ocieplenie klimatu skutkujące zmniejszeniem ilości opadów, obniżeniem poziomu wód gruntowych, gradacyjnym pojawem kornika drukarza, nasileniem występowania chorób, częstszym występowaniem „huraganowych” wiatrów (BRZEZIECKI i in. 2018, DMYTERKO i in. 2019, ŠKVARENINOVÁ I MREKAJ 2022, D’ANDREA i in. 2023, MCNULTY 2023) jak również wzrostem poziomu szkód powodowanych uszkodzaniem drzewostanów świerkowych w wyniku żerowania zwierzyny płowej (DZIĘCIOŁOWSKI 1981, SZUKIEL 1981, BERNADZKI 1990, FRUZIŃSKI 1990). Wzrost poziomu szkód spowodowany jest wzrostem pogłowia zwierzyny przy jednoczesnym zbyt niskiej intensywności pozyskania łowieckiego, które w zaistniałej sytuacji nie kompensuje przyrostu zrealizowanego (zwłaszcza łośia, który od 2001 roku objęty jest moratorium na odstrzał). Trend ten utrzymuje się od kilkudziesięciu lat. Biorąc pod uwagę, że zapotrzebowanie pokarmowe łośia w sezonie jesienno-zimowym wynosi średnio 370 kg suchej masy rocznych gałązek sosnowych (MOROW 1974), powyższa sytuacja prowadzi do eskalacji poziomu szkód powodowanych przez zwierzynę w drzewostanach. Na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat liczebność jeleniowatych na terenie kraju wzrosła znacząco. Według danych GUS

liczebność populacji łosia zwiększyła się z 2 076 osobników w roku 2000, do poziomu 40 773 osobników w roku 2024. Wzrost liczebności populacji jelenia szlachetnego w analogicznym okresie czasu nastąpił z poziomu 117 000 osobników do 288 000 osobników.

Świerk pospolity jest gatunkiem charakteryzującym się cienką korowiną w wyniku czego zagrożony jest powstawaniem ran pionowych, powodowanych żerowaniem jeleniowatych, aż do 50 roku życia (SZUKIEL 1989). Spałowanie, oprócz zgryzania pędów wierzchołkowych było zaliczane do najważniejszych problemów w ochronie lasu przed zwierzyną. W obecnej sytuacji przegęszczenia populacji łosia na terenie wschodniej Polski, również zgryzanie pędów bocznych może okazać się istotnym problemem, który należy obserwować pod kątem wpływu na stan zdrowotny, jakość i produktywność szczególnie drzewostanów świerkowych. O wielkości problemu jakim są szkody powodowane w drzewostanach przez jeleniowate może świadczyć fakt iż, koszty ochrony lasów przed zwierzyną, poniesione przez PGL LP wyniosły w 2023 roku 287 mln zł.

Spałowanie jest to jeden ze sposobów żerowania parzystokopytnych ssaków przeżuwiających na roślinach drzewiastych i krzewiastych. Polega ono na odrywaniu przy pomocy siekaczy płatów korowiny o długości od kilku, do nawet kilkudziesięciu centymetrów. Najwcześniejsze doniesienia na temat tego zjawiska pojawiły się XVII wieku i od tego czasu uznawane są za problem pojawiający się cyklicznie w zagadnieniach dotyczących zabezpieczania lasu przed szkodami powodowanymi przez zwierzynę. Zerwanie kory, czego bezpośrednim efektem jest zamarcie miazgi uruchamia reakcję obronną drzewa. W miejscu uszkodzenia zaczyna tworzyć się tkanka przyranna (kalus), która z czasem zasklepia ranę. Ponadto włókna drzewne wewnątrz pnia mają nieregularny przebieg co skutkuje zniekształceniem strzały. Wszystkie wymienione powyżej wady drewna wpływają na duże obniżenie wartości technicznej pozyskiwanych sortymentów, a co za tym idzie wysoki poziom strat ekonomicznych. Rany jakimi są spały stanowią istotną drogę zakażeń przez grzyby powodujące zgnilizny drewna. Straty gospodarcze powodowane tym zjawiskiem dotyczą utraty wartościowego surowca drzewnego w drzewostanach świerkowych wynikającego z intensywnej zgnilizny twardzieli (GILL 1992, VASILIAUSKAS i STENLID 1998, GILL i in. 2000, ČERMÁK i in. 2004, ČERMÁK i STREJČEK 2007, VASAITIS i in. 2012) powodowanej przez korzeniowca drobnoporego *Heterobasidion parviporum* Niemelä & Korhonen lub sosnowego *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (ŁAKOMY 2023). Zakażenie drzew dokonuje się dzięki zarodnikom podstawkowym, które zakażają pniaki oraz rany pionowe drzew stojących (przy czym świerk pospolity należy do gatunków najbardziej podatnych na ten typ infekcji) lub dzięki

grzybni wegetatywnej korzystającej z połączeń systemów korzeniowych sąsiadujących ze sobą drzew.

Rozkład drewna powodowany przez grzyby przyczynia się do obniżenia stabilności całych drzewostanów świerkowych, zwłaszcza w przypadkach gdy zgnilizna obejmuje odziomkową część strzały czy system korzeniowy (HONKANIEMI i in. 2017). Związany ze zmianami klimatycznymi wzrost dotkliwości i częstotliwości występowania ekstremalnych zjawisk meteorologicznych dodatkowo potęguje rozmiar szkód występujących w drzewostanach świerkowych (zwłaszcza powodowanych przez silne wiatry). Wraz ze wzrostem miąższości drewna korzeni czy pnia opanowanego przez zgniliznę, spada prędkość wiatru konieczna do powstania wywrotów czy złomów, natomiast rośnie wielkość szkód wyrządzonych przez wiatr (ŁAKOMY i in. 2001). Zmniejszona stabilność pojedynczego drzewa sugeruje również, że drzewa ospałowane mogą działać jako słabe punkty zmniejszające zbiorową stabilność drzewostanów w dłuższej perspektywie, zwiększając tym samym podatność na szkody abiotyczne (SHIBATA i TORAZAWA 2008).

## 2. CEL PRACY

Głównym celem pracy było określenie gatunków grzybów zasiedlających rany na świerkach, także te powstałe w wyniku spalowania drzew przez jeleniowate. Ponadto badania miały określić stopień zagrożenia infekcyjnego ze strony grzybów patogenicznych i powodujących zgnilizny drewna. Ten cel realizowano w wybranych 50-letnich drzewostanach świerkowych w Nadleśnictwach Drygały i Suwałki. Na drzewach wykonywano w sposób sztuczny rany imitujące spały w dwóch terminach wiosennym (kwiecień-maj) i jesiennym (listopad-grudzień), na dwóch wysokościach strzały (25 cm i 125 cm), zlokalizowanych na strzale z czterech głównych kierunków geograficznych.

Dodatkowym celem tej pracy było testowanie modelu ROTSTAND dla drzewostanów świerkowych. Ten teoretyczny model rozwoju huby korzeni w drzewostanach świerkowych może zasugerować możliwe scenariusze rozwoju choroby i jej wpływu na wzrost drzewostanów świerkowych, a ponadto oszacować teoretyczny rozmiar szkód gospodarczych powodowanych przez korzeniowce, by określić celowość hodowli świerka w następnym pokoleniu.

Przyjęto następujące hipotezy robocze:

1. Najbardziej rozpowszechnionym gatunkiem mogącym powodować zgnilizny drewna w badanych drzewostanach jest *Heterobasidion parviporum*.
2. Istnieją różnice w zasiedlaniu ran powstałych w okresie letnim a jesiennym przez grzyby.
3. Wysokość powstawania ran na pniu będzie różnicowała zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno.
4. Kierunek geograficzny powstawania ran na pniu będzie różnicował zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno.
5. Model ROTSTAND może być przydatny dla praktyki leśnej do prognozowania rozwoju porażenia drzewostanów świerkowych przez *H. parviporum*.

### 3. PRZEGLĄD LITERATURY

Zjawisko spałowania znajduje się w kręgu zainteresowania osób zajmujących się leśnictwem od XIX wieku. Efektem żerowania zwierzyny jest powstawanie ran (spał), które mogą zostać zasiedlone przez grzyby powodujące zgnilizny drewna. Następująca deprecjacja surowca drzewnego generuje znaczne straty finansowe, dlatego wszystko co związane z tym zjawiskiem pozostawało w kręgu zainteresowania wielu leśników. Literatura przedmiotu jest bogata i można w niej wyróżnić kilka głównych trendów badawczych związanych z łowiectwem, składem gatunkowym zbiorowisk grzybów, mechanizmem rozwoju zgnilizny w strzale oraz wpływem na przyrost drzew.

Jedną z pierwszych prac badawczych podejmujących temat spałowania drzewostanów świerkowych przez jeleniowate była praca REUSSA z 1888 roku (za SZCZERBIŃSKI 1957). W początkach XX wieku nad tymi samymi zagadnieniami pracował SEIBT (1911, 1912). Autor uważał, że zjawisko spałowania w krajach Europy północnej i wschodniej znane było już od połowy XVIII wieku, zaś jego przyczyn dopatrywał się w mechanizmach przystosowywania się zwierzyny płowej do zmieniających się warunków bytowych. W okresie międzywojennym WOSZCZYŃSKI (1936) podjął próbę ustalenia powodów, dla których jelenie spałują drzewostany sosnowe. Autor uważał, iż głównym źródłem problemu jest intensyfikacja gospodarki leśnej, powodująca powstanie wielkopowierzchniowych monokultur o uproszczonej strukturze drzewostanu i zubożonym składzie gatunkowym. W swej pracy wskazał metody, mogące istotnie zredukować poziom szkód wyrządzanych spałowaniem. W drugiej połowie XX wieku wielu autorów prowadziło badania nad rozwojem zgnilizny w porażonej strzale. Efekty infekowania ran na świerku (w powiązaniu ze stanowiskiem biosocjalnym drzewa) były w kręgu zainteresowań KALLIO (1973). Stwierdził on, iż sztuczna infekcja ran zawiesiną z mycelium *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich jest skuteczna w 75% (drzewa zdominowane) i 50% przypadków (drzewa dominujące) oraz, że grzyb zasiedla zarówno biel jak i twardziel. Zaobserwował on, że biel był rzadziej infekowany, a do porażenia dochodziło w okresie od czerwca do listopada. W tym samym okresie roku zauważono infekcję *Heterobasidion annosum* s. l. (Fr.) Bref. Autor zwrócił również uwagę na rozwój zgnilizny oraz przebarwień drewna zranionego pnia. Zgnilizna rozwijała się w drewnie twardzieli do wysokości 1,3 metra. Tempo rozwoju barwic drewna, którym towarzyszyła obecność drobnoustrojów zależało od rodzaju. Rozwój barwic w górę pnia przy których, nie zaobserwowano drobnoustrojów silniej korelował ze stopniem rozwinięcia korony, niż z rodzajem rany. Postęp barwic w dół pnia zależał bardziej

od rodzaju ran niż od stopnia rozwinięcia korony. Gdy przebarwienie zawierało drobnoustroje, zarówno jego rozwój w górę, jak i w dół pnia wykazywał ściślejszą korelację z rodzajem i umiejscowieniem rany niż ze stopniem rozwinięcia korony. W uszkodzonych drzewach stwierdzono występowanie 37 gatunków grzybów, liczne gatunki bakterii oraz jeden gatunek nicienia. Powszechne były gatunki rodzaju *Penicillium*, a z grzybów powodujących zgnilizny *Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr. Relatywnie pospolite były również *Neobulgaria premnophila* (Tul.) Korf i *Cephalosporium* spp. Badania powtórzono po upływie 3 lat (KALLIO 1976). Po raz drugi najpospolitszym gatunkiem był *S. sanguinolentum*. Podobne wyniki otrzymano badając rozwój zgnilizn i przebarwień strzały. *Heterobasidion annosum* s. l. zainfekował 17% ran. ISOMÄKI i KALIO (1974) potwierdzili szybszy postęp zgnilizny w kierunku korony. Rany z najszybciej rozwijającą się zgnilizną umieszczone były tuż powyżej powierzchni gruntu – na wystających korzeniach oraz szyi korzeniowej. Może mieć to związek z wielkością rany, która w przypadku maszynowego pozyskania drewna ma większe rozmiary w powyższych przypadkach niż na strzale. Wielkość rany pozytywnie korelowała z zasięgiem zgnilizny w pniu. Ponadto efektem zranienia wczesnym latem był szybszy rozwój zgnilizny niż późnym latem czy zimą. Objętość zgnilizny była tym większa, im większa była objętość strzały, przyrost promieniowy oraz zasobność gleby. Efekty rozwijającej się zgnilizny na przyrost drzewa widoczne były w ograniczeniu przyrostu na wysokość jak i na grubość, przy czym większy wpływ miały uszkodzenia korzeni niż strzały. Grzybem najczęściej izolowanym z próbek zainfekowanego drewna był *S. sanguinolentum*. *Heterobasidion annosum* s. l. występował na 15% uszkodzonych strzał. Podobne wyniki uzyskano badając porażenie drzewostanów świerkowych na Wyspach Alandzkich (KALLIO i TAMMINEN 1974). Zgnilizna częściej rozwijała się bliżej odziomka, a zaatakowanych zostało 23% świerków (miąższość zgnilizny stanowiła 5% drewna wliczając korę). Autorzy odnotowali znaczący negatywny wpływ na przyrost zwłaszcza w młodszych fazach rozwojowych drzew. Najczęściej występujące w próbkach gatunki to: *S. sanguinolentum*, *Cephalosporium* spp. – w ranach na strzale oraz *H. annosum* s. l. i *Armillaria mellea* (Vahl) P. Kumm. s. l. – w ranach odziomka. We wczesnych latach 70-tych przeprowadzono doświadczenie porównujące cechy ran oraz tempo rozprzestrzeniania się infekcji powodowanej przez *S. sanguinolentum* (PAWSEY i STANKOVICOVA 1974). Wnioski z powyższego doświadczenia były następujące – infekcja łatwiej rozwijała się w momencie uszkodzenia drewna niż tylko usunięcia kory, oraz że istnieje indywidualna odporność osobnicza na infekcję. Podobne obserwacje młodników, ale dębu szypułkowego prowadził

VASILIAUSKAS (1988). Stwierdził on, że zasięg zgnilizny determinowany był głównie przez początkową wielkość rany (pozytywny związek między długością rany a długością kolumny gnilnej oraz między szerokością rany a jej horyzontalnym zasięgiem na przekrojach poprzecznych pnia). Diametralnie różne wyniki uzyskano w wyniku badań spał na świerku sitkajskim *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière przeprowadzonych w Szkocji (WELCH i in. 1997). Rany o powierzchni mniejszej niż 180 cm<sup>2</sup> goiły się szybko (w ciągu ośmiu lat były kompletnie pokryte nową tkanką). Zgnilizna wykształciła się jedynie w przypadku 1% prób, w większości wypadków powierzchnia rany była większa niż 180 cm<sup>2</sup>. VASILIAUSKAS i STENLID (1998) w doświadczeniu infekcyjnym zaobserwowali, że 7 lat po wykonaniu spał na około 50-letnich świerkach rozmiar kolumny gnilnej spowodowanej przez *S. sanguinolentum* wynosił między 1 a 4 m, a zgnilizna obejmowała od 3 do 84% przekroju poprzecznego pnia w miejscu zranienia. Pomimo jednolitej wielkości rany w momencie założenia doświadczenia (300 cm<sup>2</sup>), po upływie 7 lat powierzchnia rany wahała się pomiędzy 97-355 cm<sup>2</sup>, co wskazuje na duże różnice w zdolności do zasklepienia ran pomiędzy poszczególnymi osobnikami. Dane zebrane z 37 drzewostanów *P. abies* zlokalizowanych na Litwie (VASILIAUSKAS 1998) dostarczały informacji o patogeniczności pięciu gatunków grzybów. W wyniku porównania zasięgu wywołanej przez nie zgnilizny okazało się, że najczęściej spotykane, a zarazem najbardziej sprawnie rozkładające drewno gatunki to w kolejności *S. sanguinolentum*, *Sistotrema brinkmannii* (Bres.) J. Erikss, *Resinicium bicolor* (Alb. & Schw.) Parm. Gatunki takie jak *Postia stiptica* (Pers.) Jülich czy *Coniophora arida* (Fr.) Karst. osiągały bardzo dużą sprawność rozkładania drewna (ustępowały jedynie *S. sanguinolentum*), jednakże w materiale badawczym występowały sporadycznie. Doświadczenie infekcyjne badające rozprzestrzenianie się *Amylostereum areolatum* (Chaillet ex Fr.) Boidin oraz *Amylostereum chailletii* (Pers.) Boidin w inokulowanych pniach *P. abies* udowodniło, że istnieje pozytywna korelacja między rozmiarem rany a lateralnym zasięgiem zgnilizny, między pierśnicą a zasięgiem w głąb przekroju poprzecznego pnia, oraz między pierśnicą a lateralnym zasięgiem zgnilizny (VASILIAUSKAS 1999). Ciekawe wyniki uzyskano na terenie Śląsko-Morawskiego Beskidu oraz w okolicach Brna (ČERMÁK i in. 2004a). Tempo rozprzestrzeniania się zgnilizny pnia powodowanej przez *S. sanguinolentum* w kierunku pionowym określono na 19,7 cm/rok. Zwrócono uwagę na fakt, że zgnilizna zajmująca średnio 40% miąższości ospałowanego pnia, znacząco wpływa na stabilność drzew, a w przypadku występowania istotnych szkód (średnia liczba uszkodzonych drzew na powierzchni wyniosła 48%)

na stabilność całych drzewostanów (ČERMÁK i in. 2004b, ČERMÁK i STREJČEK 2007). Podobne rezultaty uzyskał SZABAN (2009) w badaniach przeprowadzonych na terenie Gór Sowich, VLAD i SIDOR (2015) na terenie rumuńskich Karpat oraz VACEK i inni (2020) w północno-zachodnich Czechach.

Spalowanie drzewostanów jodłowych nie jest istotnym problemem dla ich stabilności (PACH 2005). Zgnilizna pojawiająca się w wyniku infekcji obejmuje wyłącznie słoje powstałe przed zranieniem, rozprzestrzenia się ze średnią prędkością 4,7 cm/rok w kierunku pionowym i 2% powierzchni przekroju w kierunku poziomym, a jej zasięg w kierunku poziomym wyniósł średnio 17% powierzchni przekroju pnia. Dodatkowo autor stwierdził, że pojawienie się spał w fazie podrostu może nie być, aż tak groźne, gdyż jodła stosunkowo szybko (nawet w ciągu 8 lat) zabliznia rany (PACH 2008). SZABAN (2008) porównał podatność na rozwój zgnilizny drzewostanów daglezi zielonej *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco oraz świerka pospolitego, które zostały ospalowane w wieku około 10-12 lat. Ustalił, iż w ciągu 15 lat od pojawienia się spał nie doszło do infekcji i pojawienia się zgnilizny w przypadku daglezi, mimo że była częściej spalowana niż świerk. Zgniliznę stwierdzono w przypadku połowy analizowanych świerków. Największym obszarem zgnilizny został objęty przekrój poprzeczny umiejscowiony na wysokości 0,5 m, a zgnilizna zmniejszała swój zasięg w kierunku wierzchołka oraz podstawy pnia. Ponieważ okolice szyi korzeniowej były wolne od zgnilizny autor wyciągnął wniosek, iż jej rozwój jest połączony z występowaniem spał. Podobne wyniki uzyskał DEFLORIO i inni (2008). Daglezja obficie przesycala okolice rany żywicą, a zwiększona zawartość związków fenolowych w pobliżu rany dodatkowo je uszczelniała. VASAITIS i inni (2012) badali tempo zasklepienia się ran w 50-60 letnich drzewostanach świerkowych na Litwie. Po 20 latach od zranienia sprawdzono obecność zgnilizny oraz stopień zamknięcia rany. Około 30% ran o szerokości 3 cm, 75% 5 cm i 100% 15 cm nie było zasklepionych. Występowanie zgnilizny korelowało pozytywnie z początkową szerokością rany. Pora roku, w której dokonano zranienia oraz pierśnica nie miały wpływu na tempo zasklepienia rany, a ponadto stopień zamknięcia rany nie miał zauważalnego wpływu na wielkość zasięgu zgnilizny w pniu. W 2011 roku na Łotwie przeprowadzono badania drzewostanów świerkowych, w których występowała zgnilizna odziomkowa pnia (ARHIPOVA i in. 2011). Przeanalizowano 24 745 pni z czego opanowanych przez zgniliznę było średnio 21,8%. Zaobserwowano pozytywną korelację pomiędzy częstością występowania zgnilizny a wiekiem drzewostanu oraz typem siedliska leśnego. Długość kolumny gnilnej dochodziła do 12,4 m (średnio  $6,6 \pm 2,6$  m). Zasięg lateralny zgnilizny wykazywał pozytywny związek ze średnicą pniaka, pierśnicą pnia,

wysokością drzewa oraz średnicą zgnilizny na poziomie pniaka. Stratę miąższości zdeprecjonowanego surowca obliczono w zależności od wieku na 6-16% miąższości drzewostanu. Najczęściej występującymi gatunkami grzybów należących do *Basidiomycota* były *H. parviporum* i *S. sanguinolentum* natomiast spośród *Ascomycota* i grzybów anamorficzych *Ophiostoma piceae* (Münch) Syd. & P. Syd., *Cytospora* spp., *Chalara* spp., *A. cylichnium* i *Neonectria fuckeliana* (C. Booth) Castl. & Rossman (= *Corinectria fuckeliana* (C. Booth) C.D. González & P. Chaverri). Więcej gatunków odnotowano w drewnie pniaków na powierzchniach zrębowych niż trzebieżowych. Pniaki jako obiekty charakteryzujące się możliwie największą powierzchnią podatną na infekcję zarodnikami grzybów zgniliznowych były obiektem łotewskiego doświadczenia z 2021 roku (BRŪNA i in. 2021). Stwierdzono, że infekcja *Heterobasidion* spp. dokonywana za pomocą zarodników w warunkach naturalnych jest równie skuteczna jak w kontrolowanych laboratoryjnie. Najbardziej podatne na infekcję gatunki w kolejności to *Pinus contorta* Dougl. ex Loud., *Pinus sylvestris* L., *Pinus strobus* L., *P. abies*, *Larix sibirica* Ledeb., *P. menziesii*. W przypadku wszystkich gatunków patogeny zajmowały znacznie większą powierzchnię bielu niż twardzieli. Odnotowano znaczący spadek wskaźnika infekcji wraz ze wzrostem dystansu od owocników potwierdzający wagę lokalnych źródeł spor w rozprzestrzenianiu się *Heterobasidion* spp.

W kręgu zainteresowań wielu badaczy znalazły się gatunki grzybów powodujących zgnilizny drewna, a z biegiem czasu również skład gatunkowy zbiorowisk grzybów zasiedlających rany pni drzew. PECHMANN i AUFSESS (1971) badali czynniki sprawcze zgnilizn w drzewostanach świerkowych zachodnich Niemiec. Zdaniem autorów jedynie do 50% przypadków może być klasyfikowanych jako zgnilizna postępująca od systemu korzeniowego. Za tę w 70% przypadków odpowiadał *H. annosum* s. l., *A. mellea* (9%) s. l., *S. sanguinolentum* (7%), *Stereum areolatum* (Chaillat ex Fr.) Fr. (5%), *Odontia bicolor* (Alb. & Schwein.) Quél. (= *Resinicium bicolor* (Alb. & Schwein.) Parmasto) (5%). Najczęściej izolowanymi gatunkami w ranach były *S. sanguinolentum* (40%), *S. areolatum* (20%), *Odontia bicolor* (16%), *H. annosum* s. l. (15%) oraz *A. mellea* s. l. (6%). BAZZIGHER (1973) prowadził badania dotyczące spał na strzałach świerkowych spowodowanych wypasem kóz w latach 1935-1945 w szwajcarskim kantonie Graubünden. *Cylindrocarpon cylindroides* var. *tenue* (stadium konidialne *Nectria fuckeliana*) był najczęściej spotykanym grzybem izolowanym zarówno z ran otwartych jak i zasklepionych. Drugim okazał się być *H. annosum* s. l., trzecim *S. sanguinolentum* (jednakże izolowanym w przeważającej większości z otwartych spał). PAWSEY i STANKOVICOVA (1974) w południowo-

zachodniej Anglii badali gatunki grzybów występujące w ranach powstałych w trakcie prac związanych ze zrywką drewna prowadzonych w drzewostanach świerkowych, jak również bytujące na nieuszkodzonej korowinie. Jedynie *S. sanguinolentum* był, identyfikowany w przypadku ran z ewidentną zgnilizną. W drewnie przyrannym (bez znaczenia czy nastąpił rozwój zgnilizny) powszechnie notowane były *Graphium* spp., *Cephalosporium* spp., *Cryptosporiopsis abietina* Petr., *Sclerophoma pythiophila* (Corda) Höhn. Nie znaleziono dowodów na występowanie stałej mykobioty bytującej na nieuszkodzonych partiach strzał. Bardzo wszechstronnie temat zasiedlania ran przez grzyby przeanalizowali ROLL-HANSEN i ROLL-HANSEN (1980). Najczęściej izolowanymi gatunkami były *N. fuckeliana* (79%), *Sarea difformis* (Fr.) Fr (14%), *Ceratocystis piceae* (Münch) Bakshi (13%), *Cytospora mougeotii* Lev., (7 %), *Cytospora* spp. (6%), *Nectria* spp. (6%), *Zalerion arboricola* Buczacki (6%), *Botryodiplodia excelsa* (P. Karst.) Petr. & Syd. (4%), *Leptodontium beauverioides* de Hoog (4%), *Libertella betulina* Desm. (3%), *Ceratocystis coerulescens* (Münch) Bakshi (2%), *Cladosporium cladosporioides* (Fres.) de Vries (2%). Poddano analizie miesiące w jakich dokonywana była infekcja, i tak *N. fuckeliana* infekował we wrześniu i grudniu, *C. coerulescens* infekował wyłącznie w lipcu, *C. piceae* wyłącznie w lipcu i wrześniu, *C. mougeotii* oraz *Z. arboricola* przeważnie w grudniu. Duży procent infekcji *H. annosum* s. l. odnotowano w ranach wykonanych w lipcu. Jeżeli chodzi o rozmiary infekowanych świerków zauważono jedynie, iż *Cylindrobasidium evolvens* (Fr.) Jülich częściej zasiedlał drzewa o większych rozmiarach. Biorąc pod uwagę wysokość rany powyżej poziomu podstawy pnia jedynie *C. evolvens*, *S. sanguinolentum* i *C. mougeotii* infekowały mniej ran umiejscowionych na niskiej wysokości strzały wykonanych w grudniu – prawdopodobnie z powodu pokrywy śnieżnej. Analizując rozmiary zasiedlanych ran autorzy doszli do wniosku, że duże i głębokie rany zwykle skutkowały najwyższą częstotliwością infekcji a także, najczęściej były zasiedlane przez grzyby najszybciej przerastające drewno. Tylko rozwój *N. fuckeliana* był niezależny od powyższych czynników. Jeżeli chodzi o wiek infekowanych ran to *B. excelsa* i *C. coerulescens* były izolowane wyłącznie rok i 2 lata po zranieniu. Może to wskazywać na to, iż gatunki te są patogenami pierwotnymi. Podobna sytuacja może mieć miejsce w przypadku *H. annosum* s. l., który po 4 latach nie był już notowany w ranach o niewielkich rozmiarach. *Nectria fuckeliana* mógł infekować rany świeże oraz starsze niż rok – nawet po 4 latach grzyb ten izolowany był z wierzchnich warstw drewna rany. Badając sytuację pod kątem mutualistycznych oddziaływań międzygatunkowych stwierdzono, że relatywnie często na tych samych drzewach znajdowano *C. evolvens* wraz z *S. sanguinolentum*, *H. annosum* s. l. i *C. piceae*

lub *C. coerulescens*. Często występujący z innymi grzybami *N. fuckeliana* nie przejawiał ani reakcji antagonistycznych ani synergistycznych. HALLAKSELA (1984) w południowej Finlandii przeanalizowała gatunki występujące w drewnie odziomków oraz w ranach pnia świerków. Zgniliznę podstawy pni najczęściej wywoływały *H. annosum* s. l. (56%), *Ascocoryne* spp. (28%), *Phialophora* spp. (10%), *A. mellea* s. l. (8%) i *S. sanguinolentum* (6%). Jeżeli chodzi o współwystępowanie gatunków w 60% przypadków z innymi gatunkami występował *H. annosum* s. l. (z tego 40% to *Ascocoryne* spp.). W przypadku zgnilizny rozwijającej się w ranach najczęstszymi sprawcami były *S. sanguinolentum* (35%), *Ascocoryne* spp. (23%), *Phialophora* spp. (14%). Temat interakcji między gatunkami HALLAKSELA podjęła ponownie w roku 1993. Większość badanych drzew była skolonizowana przez *A. cylichnium* oraz *Neobulgaria premnophila* Roll-Hansen & H. Roll-Hansen przed inokulacją drzew doświadczalnych. Gatunki takie jak *H. annosum* s. l. czy *S. sanguinolentum* były obecne w drewnie przez odpowiednio 2 i 3 sezony wegetacyjne niezależnie od obecności bądź braku *A. cylichnium* lub *N. premnophila*, by po tym okresie zaniknąć. Jedoczesna inokulacja *N. fuckeliana*, *A. cylichnium*, grzybami drożdżopodobnymi i bakteriami *Bacillus pumilus* Meyer and Gottheil 1901 oraz *Pantoea agglomerans* (Beijerinck 1888) Gavini et al. 1989 z *S. sanguinolentum* może ograniczać rozwój tego ostatniego. *Ascocoryne cylichnium* oraz bakterie zasiedliły prawie wszystkie drzewa doświadczalne. Uzyskane wyniki wskazywały na inne mechanizmy obronne drzewa żywicielskiego wobec grzybów powodujących zgnilizny niż bakterii i grzybów endofitycznych. ATTA i HAYES (1987) w drzewostanach świerkowych południowo-wschodniej Szkocji przeanalizowali najczęściej występujące gatunki w ranach powodowanych zrywką drewna. Rozmiar badanych ran wynosił między 52-1099 cm<sup>2</sup>. Stwierdzona częstotliwość infekcji to 47% (w przypadku ran 4-letnich) i 54% (w przypadku ran 8-letnich). Najczęstszym gatunkiem był *S. sanguinolentum*, któremu towarzyszyły *Trichoderma viride* Fr., *Chaetomium cochlioides* Pall. oraz *H. annosum* s. l. Częstotliwość izolacji *S. sanguinolentum* wzrastała w próbach pobranych od zewnętrznej strony pnia do wewnątrz, podczas gdy inne grzyby wykazywały odwrotną tendencję. VASILIAUSKAS i inni (1996) w Szwecji badali gatunki grzybów zasiedlających spały świerkowe spowodowane żerowaniem łosi. Badane strzały miały średnicę 8-40 cm, a wiek ran oceniono na 1-23 lat, wielkość spał wynosiła 2-4815 cm<sup>2</sup>. W największej liczbie prób zidentyfikowano obecność *N. fuckeliana* (35,7%), *S. sanguinolentum* (26,7%), *C. evolvens* (23,8%), *A. areolatum* (5,2%), *H. annosum* s. l. (5,2%). Częstotliwość infekcji *S. sanguinolentum* pozytywnie korelowała z wiekiem spały (odwrotnie w przypadku *C. evolvens*). Ponadto

zauważono pozytywny związek częstotliwości infekcji *C. evolvens* a rozmiarem rany oraz negatywny między pierśnicą. Zanotowano pozytywną korelację między pierśnicą a częstotliwością infekcji przez *H. annosum* s. l. czy *N. fuckeliana*. Oprócz negatywnej korelacji między infekcją *S. sanguinolentum* i *H. annosum* s. l. nie zauważono innych statystycznie znaczących związków pomiędzy wymienionymi gatunkami grzybów. Podobne badania wykonane na Litwie (VASILIAUSKAS i STENLID 1998a) dały jednakże nieco odmienne rezultaty. Pnie w drzewostanie w przeważającej mierze uszkodzono podczas zrywki drewna (23%), zaś ospałowanych było 14%. W ranach pnia najczęściej odnotowywanym gatunkiem był *S. sanguinolentum* (20,3% prób, częściej występujący w drewnie strzał powyżej części odziomkowej), *Ophiostoma* spp. (4,5% prób, częściej występujący w drewnie odziomków), *C. evolvens* (3,7% prób, występujący wyłącznie w drewnie strzał), *A. areolatum* (3,5% - częściej występujący w drewnie odziomków), *A. chailetti* (2,6% - częściej występujący w drewnie odziomków). Pora roku, w której powstały uszkodzenia również znacząco wpływała na częstotliwość infekcji (*Ophiostoma* spp. najczęściej infekowały w sierpniu, *S. sanguinolentum* i *C. evolvens* najczęściej w styczniu). Najczęściej występującymi grzybami w pniach pozbawionych ran były: *N. fuckeliana* (27,5%), *H. annosum* s. l. (22,5%), *Ascocoryne* spp. (20%). Badania spał powstałych w wyniku żerowania łosi i jeleni przeprowadzono również na Łotwie (BURNEVIČA i in. 2016). Zgniliznę odnotowano w średnio 26,7% spał świerkowych (13 do 50% przypadków w zależności od powierzchni badawczej). Najczęściej izolowane w pozyskanym materiale gatunki to *N. fuckeliana* (24,8%), *A. cylichnium* (13,4%), *S. difformis* (13,4%), *Phialocephala* spp. (13,4%), *C. evolvens* (10,8%), *A. areolatum* (3,8%).

METZLER (1997) przeprowadził badania nad infekowaniem przez grzyby ran powstających w wyniku podkrzesywania strzał świerkowych i doszedł do następujących wniosków: grzyby wywołujące zgniliznę drewna praktycznie nie były obecne w pobranym materiale badawczym (przeanalizowano ponad 6000 próbek). Najczęściej występującym gatunkiem w analizowanym drewnie był *N. fuckeliana* (zwłaszcza w końcowych fragmentach sęków). Dodatkowo obecność tego gatunku można było ograniczyć wykonując podkrzesywanie w miesiącach letnich. Doświadczenie mające ustalić skład gatunkowy zbiorowisk grzybów rozkładających świeżo ścięte drewno świerkowe w drzewostanach gospodarczych Szwecji założyli VASILIAUSKAS ze współpracownikami (2005). Już siedem tygodni ekspozycji w drzewostanie wystarczyło by użyte próbki drewna zostały zasiedlone przez 97 gatunków grzybów. Liczba gatunków odnotowana latem była o 42,5%

większa niż jesienią. Najczęściej występującymi gatunkami z gromady *Ascomycota* były: *Nectria viridescens* C. Booth (61,7%), *Cylindrocarpon didymum* (17,5%), *O. piceae* (16,7%), *Phialophora fastigiata* (11,7%), *N. fuckeliana* (5%), *Hypoxylon serpens* (Pers.) Fr. (5%). Najczęściej występującymi gatunkami z gromady *Basidiomycota* były: *Hypholoma capnoides* (Fr.) P. Kumm. (46,7%), *R. bicolor* (34,2%), *S. brinkmannii* (29,2%), *P. gigantea* (27,5%), *Phanerochaete sordida* (P. Karst.) J. Erikss. & Ryvarden (15,8%), *Heterobasidion* spp. (5,8%), *Bjerkandera adusta* (Willd.) P. Karst. (5%). Dane uzyskane w doświadczeniu pokazały, że pozostawienie świeżo ściętego drewna przyczynia się do wzrostu różnorodności, zapewniając siedliska ponad 100 gatunkom grzybów. Pracę przedstawiającą bogactwo gatunkowe grzybów związanych z rozkładającym się drewnem przedstawił SZCZEPKOWSKI i inni w 2022 roku. Wyniki analizy 386 pniaków oraz 821 drzew z ośmiu drzewostanów są następujące: zgniliznę wewnętrzną pnia stwierdzono w 13,3-73,3% przypadków (średnio 41%) i prawdopodobieństwo jej wystąpienia wzrastało wraz z wiekiem drzewostanu. Odnotowano występowanie 79 gatunków grzybów. Znacznie bogatszym siedliskiem okazały się być pniaki. Grupę patogenów reprezentowały gatunki takie jak *H. parviporum* (obecny we wszystkich 8 drzewostanach), *S. sanguinolentum* (obecny w siedmiu drzewostanach), *Armillaria cepistipes* Velen. (obecny w siedmiu drzewostanach), *Armillaria borealis* Marxm. & Korhonen (obecny w jednym drzewostanie) oraz dwa mykopasożyty *Hypocrea pulvinata* Fuckel i *Tremella encephala* Pers. Z grupy saprotrofów odnotowano *A. cylindrium* (obecny w sześciu drzewostanach), *Gymnopilus penetrans* (Fr.) Murrill (obecny w 6 drzewostanach), *H. capnoides* (obecny w 6 drzewostanach), *Hypholoma fasciculare* (Huds.) P. Kumm. (obecny w pięciu drzewostanach). Stwierdzono sześć gatunków znajdujących się na czerwonej liście grzybów: *Onnia tomentosa* (Fr.) P. Karst., *Pleurotus pulmonarius* (Fr.) Quél., *Entoloma byssisedum* (Pers.) Donk, *Galerina triscopa* (Fr.) Kühner, *Physisporinus vitreus* (Pers.) P. Karst. i *Postia ptychogaster* (F. Ludw.) Vesterh.

Wpływ ran pni na przyrost drzew był tematem wielu prac. ISOMÄKI (1974) podaje, że świerk zareagował zmniejszeniem przyrostu zarówno na wysokość jak i na grubość po powstaniu ran w wyniku maszynowego pozyskania drewna. Rany umiejscowione ponad odziomkami zmniejszyły jednakowo przyrost na grubość jak i na wysokość o ok. 15%. Uszkodzenia umiejscowione w okolicy podstawy pnia zmniejszyły przyrost wysokości o około 40%, natomiast uszkodzenia korzeni o około 25%. Przyrost na grubość w obu ostatnich grupach uszkodzeń został zmniejszony o około 35%. Wpływ szerokości uszkodzenia na przyrost grubości drzewa był również znaczny. Najszersze uszkodzenia (17-32 cm) zmniejszyły przyrost promieniowy o prawie 35%. Przyrost wysokości również zmniejszył

się wraz ze wzrostem szerokości uszkodzenia. WELCH i SCOTT (1998) stwierdzili, że w warunkach szkockich spalowanie świerka sitkajskiego praktycznie nie wpływa na przeżywalność i przyrost obwodu uszkodzonych drzew. W drzewostanach uszkodzonych w wieku 8 lat i mniej w ciągu kolejnych 10-18 lat nie zmarło żadne z ospalowanych drzew. W starszych drzewostanach 13% ospalowanych drzew zmarło. Strata na przyroście obwodu po 20 latach wynosiła średnio 2 cm. Szczegółowe badania strat przyrostu jodły pospolitej przeprowadził PACH (2002, 2003, 2004). Autor stwierdził, że w przypadku jodły spały o wielkości przekraczającej 40% obwodu i 30% powierzchni przekroju poprzecznego pnia uniemożliwiają osiągnięcie wysokiej tendencji wzrostowej oraz żywotności. Rozpatrując przyrost na grubość w miejscu uszkodzenia w pierwszym roku po uszkodzeniu spada szerokość słoików (o około 10% wartości ostatniego przyrostu), by następnie wzrosnąć w interwałach trzy- i pięcioletnich (wielkości przewyższały o około 17-18% przyrosty w tożsamych okresach przed powstaniem spały). Średnie zmniejszenie przyrostu wysokości wyniosło 12%, a miąższości 6% wartości ostatniego przyrostu przed ospalowaniem. Zmniejszenie przyrostu wysokości odnotowano u 62%, natomiast miąższości u 58% badanych jodeł i trwało najczęściej od roku do 3 lat po zranieniu. MÄKINEN i inni (2007) przedstawili wyniki odmienne od przytoczonych powyżej. Według autorów od 5 do 20 lat po powstaniu ran związanych z mechanicznym pozyskaniem drewna, sosny i świerki poddane badaniu nie wykazały zmniejszenia przyrostu grubości, wysokości czy miąższości. CUKOR i inni (2019) wykazali, że spalowane między 10 a 20 rokiem 40-sto letnie drzewostany świerkowe wykazywały nie tylko obniżony przyrost grubości (mniejszy o 36%) czy miąższości (mniejszy o 35%), ale również większe zróżnicowanie budowy pionowej, rozmieszczenia przestrzennego czy budowy korony uszkodzonych drzew.

## 4. MATERIAŁY I METODY

### 4.1. Obiekt badań

Badania były prowadzone na terenie administrowanym przez Nadleśnictwa Drygały oraz Suwałki, Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku.

Powierzchnia lasów Nadleśnictwa Drygały wynosi 25 130,21 ha (PUL Nadleśnictwa Drygały, 2020). Zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną (ZIELONY i KLICZKOWSKA, 2012) teren nadleśnictwa położony jest w II Krainie Przyrodniczo-Leśnej Mazursko-Podlaskiej, Mezoregionie Wielkich Jezior Mazurskich, Puszczy Mazurskich, Wysoczyzny Kolneńskiej oraz Mezoregionie Pojezierza Ełckiego. Okres wegetacyjny trwa 190-200 dni, średnia roczna temperatura wynosi 8,5°C, a średni opad roczny 610 mm. Przeważające typy siedliskowe lasu w Nadleśnictwie Drygały to BMśw (34,15%), LMśw (24,84%) oraz Bśw (24,00%). Udział dominujących gatunków panujących w poszczególnych typach siedliskowych lasu ukształtowana jest następująco:

- na siedlisku boru świeżego sosna pospolita zajmuje 94%, natomiast brzoza brodawkowata 2% udziału,
- na siedlisku boru mieszanego świeżego sosna pospolita zajmuje 90%, świerk pospolity 2%, dąb szypułkowy 1%, natomiast brzoza brodawkowata 3% udziału,
- na siedlisku lasu mieszanego świeżego sosna pospolita zajmuje 85%, świerk pospolity 4%, dąb szypułkowy 6%, oraz brzoza brodawkowata 3% udziału.

Największą powierzchnię na gruntach leśnych nadleśnictwa obejmują drzewostany IIIb, IVa oraz IVb podklasy wieku. Zajmują one odpowiednio 14,61%, 13,46% oraz 11,97% powierzchni leśnej. Rzeczone drzewostany reprezentują również największy udział pod względem miąższościowym. Ogólnie drzewostany z gatunkiem panującym w wieku powyżej 100 lat (VI klasa wieku i starsze) zajmują w nadleśnictwie 6,48% powierzchni i 11,74% miąższości na gruntach leśnych.

Zagrożenia środowiska leśnego występujące na terenie Nadleśnictwa Drygały można podzielić na trzy zasadnicze grupy: abiotyczne, biotyczne oraz antropogeniczne. Jeśli chodzi o zagrożenia abiotyczne na omawianym terenie istotne są zmiany związane z ogólnym obniżeniem poziomu wód gruntowych. Zmniejszenie poziomu opadów powoduje obniżenie odporności drzewostanów. Susza z 2015 roku osłabiła drzewostany na powierzchni ok. 500 ha, w wyniku czego zostało pozyskanych ok. 8,5 tys. m<sup>3</sup> posuszu iglastego. Ponadto duże

znaczenie mają silne wiatry powodujące powstawanie wiatrołomów i wiatrowałów. Największe uszkodzenia spowodował huragan z dnia 11 lipca 2016 r. Szkody wystąpiły na łącznej powierzchni około 1,5 tys. ha, w tym szkody powierzchniowe około 25 ha. Pozyskano około 39 tys. m<sup>3</sup> wywrotów i złomów. Spośród czynników biotycznych największe znaczenie dla lasów Nadleśnictwa Drygały mają ssaki roślinożerne – przede wszystkim łosie i jelenie. Sarny i bobry powodują znacznie mniejsze szkody. W trakcie prac taksacyjnych zinwentaryzowano 639,27 ha drzewostanów uszkodzonych przez zwierzynę. W czasie ostatniego PUL nie stwierdzono istotnego zagrożenia ze strony owadzych szkodników pierwotnych. Zagrożenie ze strony szkodników wtórnych (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775), *Ips acuminatus*, (Gyllenhal 1827)) występuje głównie w drzewostanach osłabionych przez suszę, po huraganowych, jak również na gruntach porolnych. Odnotowywane są również szkody powodowane przez grzyby patogeniczne jednakże nie zagrażają one trwałości drzewostanów. Czynniki antropogeniczne mogące zagrażać drzewostanom nadleśnictwa to działalność Ośrodka Szkolenia Poligonowego Wojsk Lądowych Orzysz. W trakcie prac taksacyjnych uznano 113,19 ha drzewostanów jako postrzelane. Ponadto realnym zagrożeniem jest możliwość wywołania pożaru w wyniku prowadzenia ćwiczeń wojskowych.

Powierzchnia lasów Nadleśnictwa Suwałki wynosi 13 711,02 ha (PUL Nadleśnictwa Suwałki, 2022). Zgodnie z regionalizacją przyrodniczo-leśną (ZIELONY i KLICZKOWSKA, 2012) teren nadleśnictwa położony jest w II Krainie Przyrodniczo-Leśnej Mazursko-Podlaskiej, Mezoregionie Pojezierza Suwalskiego oraz Mezoregionie Wigier i Rospudy. Okres wegetacyjny trwa 195 dni, średnia roczna temperatura wynosi 6,9°C, a średni opad roczny 634 mm. Przeważające typy siedliskowe lasu w Nadleśnictwie Suwałki to BMśw (42,42%), LMśw (24,07%) oraz Lśw (19,87%). Udział dominujących gatunków panujących w poszczególnych typach siedliskowych lasu ukształtowana jest następująco:

- na siedlisku boru mieszanego świeżego sosna pospolita zajmuje 94%, natomiast świerk pospolity 6% udziału,
- na siedlisku lasu mieszanego świeżego sosna pospolita zajmuje 65%, świerk pospolity 27%, dąb szypułkowy 6%, oraz brzoza brodawkowata 1% udziału,
- na siedlisku lasu świeżego sosna pospolita zajmuje 13%, świerk pospolity 53%, dąb szypułkowy 24%, oraz brzoza brodawkowata 8% udziału.

Największą powierzchnię na gruntach leśnych nadleśnictwa obejmują drzewostany IVa, Vb oraz IIIb podklasy wieku. Zajmują one odpowiednio 15,1%, 12,01% oraz 11,44%,

powierzchni leśnej. W przypadku udziałów miąższościowych, największy udział posiadają podklasy wieku: Vb, IVa, oraz Va. Ogólnie drzewostany z gatunkiem panującym w wieku powyżej 100 lat (VI klasa wieku i starsze) zajmują w nadleśnictwie 10,9% powierzchni i 15,96% miąższości na gruntach leśnych.

Zagrożenia środowiska leśnego występujące na terenie Nadleśnictwa Suwałki można podzielić na trzy zasadnicze grupy: antropogeniczne, abiotyczne i biotyczne. Czynniki antropogeniczne najbardziej zagrażające lasom nadleśnictwa to przede wszystkim: obniżenie wód gruntowych spowodowane pozyskiwaniem kruszyw naturalnych w kopalniach położonych w pobliżu kompleksów leśnych oraz nadmierna penetracja lasu przez ludność i turystów (zwłaszcza w okresie letnim). Jeśli chodzi o zagrożenia abiotyczne na omawianym terenie największe znaczenie mają silne wiatry powodujące powstawanie wiatrołomów i wiatrowałów, niskie temperatury, przymrozki wczesne i późne, okiśc oraz okresowo występujące, przeważnie letnie susze. Spośród czynników biotycznych największym zagrożeniem dla lasów Nadleśnictwa Suwałki mogą być gradacje pierwotnych i wtórnych szkodników owadzi, występowanie grzybów patogenicznych oraz zagrożenie ze strony ssaków roślinożernych. Spośród szkodników pierwotnych lasom nadleśnictwa najczęściej w przeszłości zagrażały: *Lymantria monacha* (Linnaeus, 1758), zwójki i miernikowce oraz *Sacchiphantes viridis* (Ratzeburg, 1843), a ze szkodników wtórnych *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), oraz *I. acuminatus*. W nadleśnictwie nie stwierdzono występowania ognisk gradacyjnych rozrodu pierwotnych szkodników sosny. Z grzybów pasożytniczych najgroźniejsze są patogeny rodzaju *Heterobasidion* spp. występujące przeważnie na gruntach porolnych. Z innych chorób powodowanych przez grzyby wymienić należy: osutki, opieńkową zgniliznę korzeni, mączniaki i zgorzel siewek. Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez grzyby wynosi 586,36 ha, z tego powierzchnia zredukowana to 144,35 ha. Duże znaczenie mają również ssaki roślinożerne. Uszkodzenia w postaci spalowania oraz zgryzania upraw i młodników występują dość często i mają bezpośredni wpływ na jakość hodowlaną drzewostanów. Na omawianym terenie bytują duże populacje łosia, jelenia, sarny oraz bobra. Powierzchnia drzewostanów uszkodzonych przez zwierzyńnię wynosi 525,19 ha, z tego powierzchnia zredukowana to 124,05 ha.

Badania prowadzono na terenie obwodów łowieckich nr 198 i 199 (Drygały) oraz 28 (Suwałki). W Nadleśnictwie Drygały powierzchnia ogólna obwodów wynosi 25 069 ha z czego lasy stanowią 13 956 ha. Inwentaryzacja zwierzyńny wg stanu na dzień 10 marca 2024 roku stwierdza występowanie 336 łosi i 525 jeleni. Zgodnie z Wieloletnim Łowieckim Planem Hodowlanym na lata 2017-2027 dla Rejonu Hodowlanego Puszczy Piskiej docelowa

liczebność łośi powinna wynosić 93 osobniki, natomiast docelowa liczebność jeleni powinna wynosić 455 osobników. W Nadleśnictwie Suwałki powierzchnia ogólna obwodów wynosi 8 377 ha z czego lasy stanowią 5 643 ha. Inwentaryzacja zwierzyny wg stanu na dzień 10 marca 2024 roku stwierdza występowanie 10 łośi i 190 jeleni. Zgodnie z Wieloletnim Łowieckim Planem Hodowlanym na lata 2017-2027 dla Rejonu Hodowlanego Puszczy Augustowskiej docelowa liczebność łośi powinna wynosić 27 osobników, natomiast docelowa liczebność jeleni powinna wynosić 109 osobników.

#### **4.2. Powierzchnie badawcze**

W sierpniu 2017 roku wybrano do badań 8 drzewostanów świerkowych. Kryterium wyboru był wiek (30-50 lat), skład gatunkowy (jak największy udział świerka) oraz zaobserwowane uszkodzenia drzewostanu przez jeleniowate w postaci spalowania strzał. Wybrano 8 wydzieleń, których łączna powierzchnia wynosiła 30,23 ha.

Założonych zostało osiem powierzchni badawczych – cztery w Nadleśnictwie Drygały oraz cztery w Nadleśnictwie Suwałki. Powierzchnie badawcze zostały założone na planie kwadratu, każda o wymiarach 40 m x 40 m. Wszystkie drzewa na powierzchniach zostały ponumerowane i trwale oznakowane w terenie za pomocą farby. Razem oznaczono i ponumerowano 961 drzew.

Charakterystykę pododdziałów sporządzono na podstawie opisu taksacyjnego (Operat Urzędzeniowy Nadleśnictwa Drygały na lata 2020-2029, Operat Urzędzeniowy Nadleśnictwa Suwałki na lata 2013-2022).

#### Powierzchnia badawcza A

Nadleśnictwo **Drygały**

Obręb **Grądówka**

Leśnictwo **Wierzbiny**

Pododdział **83f** powierzchnia 0,49 ha; wiek 42 lata (w momencie założenia powierzchni); teren nizinny falisty; pokrywa mszysta; typ gospodarczy: Db-Św-So; zadrzewienie 0,9; zwarcie pełne; średnia pierśnica 18 cm; średnia wysokość 21 m; bonitacja I; typ siedliskowy: las mieszany świeży (LMśw); uszkodzenie 50% – zwierzyna; podszytu brak (ryc.1).



Ryc. 1. Powierzchnia badawcza A w Nadleśnictwie Drygały

### Powierzchnia badawcza B

Nadleśnictwo **Drygały**

Obręb **Grądówka**

Leśnictwo **Orzysz**

Pododdział **100g** powierzchnia 0,63 ha; wiek 42 lata (w momencie założenia powierzchni);

teren nizinny falisty; pokrywa zielna; typ gospodarczy: Db-Św-So;

zadrzewienie 0,9;

zwarcie pełne; średnia pierśnica 22 cm; średnia wysokość 21m; bonitacja I;

typ siedliskowy: las mieszany świeży (LMśw);

uszkodzenie 20% – zwierzyna; podszyt Kru, Czm, Jrz 20%.

### Powierzchnia badawcza C

Nadleśnictwo **Drygały**

Obręb **Grądówka**

Leśnictwo **Orzysz**

Pododdział **122j** powierzchnia 2,92 ha; wiek 45 lat (w momencie założenia powierzchni); teren nizinny falisty; pokrywa zadarniona; typ gospodarczy: Św-Db-So; zadrzewienie 0,7; zwarcie przerywane; średnia pierśnica 20 cm; średnia wysokość 21 m; bonitacja I; typ siedliskowy: las mieszany świeży (LMśw); uszkodzenie 40% – zwierzyna; podszyt Kru, Jrz, Św, Głg, Os 30% grunt porolny.

### Powierzchnia badawcza D

Nadleśnictwo **Drygały**

Obręb **Grądówka**

Leśnictwo **Grądówka**

Pododdział **419a** powierzchnia 4,23 ha; wiek 44 lata (w momencie założenia powierzchni); teren nizinny równinny; pokrywa mszystą; typ gospodarczy: So-Db-Św; zadrzewienie 0,7; zwarcie umiarkowane; średnia pierśnica 22 cm; średnia wysokość 22 m; bonitacja I; typ siedliskowy: las mieszany wilgotny (LMw); uszkodzenie 20% – owady; podszyt Brz, Św, Kru, Ol, Os 40%.

### Powierzchnia badawcza E

Nadleśnictwo **Suwałki**

Obręb **Suwałki**

Leśnictwo **Papiernia**

Pododdział **13b** powierzchnia 7,39 ha; wiek 41 lat (w momencie założenia powierzchni); teren płaski; pokrywa zadarniona; typ gospodarczy: Św-So; zadrzewienie 1,1; zwarcie pełne; średnia pierśnica 23 cm; średnia wysokość 21 m; bonitacja I; typ siedliskowy: las mieszany świeży (LMśw); uszkodzenie 15% – grzyby; podszyt Db, Św, Jrz, Sch, Kru 50%.

### Powierzchnia badawcza F

Nadleśnictwo **Suwałki**

Obręb **Suwałki**

Leśnictwo **Płociczno**

Pododdział **56c** powierzchnia 8,25 ha; wiek 33 lata (w momencie założenia powierzchni); teren płaski; pokrywa ściółą; typ gospodarczy: Św-So; zadrzewienie 1,2; zwarcie umiarkowane; średnia pierśnica 19 cm; średnia wysokość 16 m; bonitacja I; typ siedliskowy: bór mieszany świeży (BMśw); uszkodzenie – 15 % zwierzyna; podszyt Św, Sch, Os, Iwa 30%.

### Powierzchnia badawcza G

Nadleśnictwo **Suwałki**

Obręb **Suwałki**

Leśnictwo **Walne**

Pododdział **184g** powierzchnia 2,00 ha; wiek 40 lat (w momencie założenia powierzchni); teren zagłębienie; pokrywa ściółą; typ gospodarczy: So; zadrzewienie 1,2; zwarcie pełne; średnia pierśnica 22 cm; średnia wysokość 23 m; bonitacja I; typ siedliskowy: bór mieszany wilgotny (BMw); uszkodzenie 60% – zwierzyna; podszyt Św 20%.

### Powierzchnia badawcza H

Nadleśnictwo **Suwałki**

Obręb **Suwałki**

Leśnictwo **Walne**

Pododdział **194f** powierzchnia 4,28 ha; wiek 41 lat (w momencie założenia powierzchni); teren zagłębienie; pokrywa ściółą; typ gospodarczy: So-Św; zadrzewienie 1,4; zwarcie pełne; średnia pierśnica 21 cm; średnia wysokość 23 m; bonitacja I; typ siedliskowy: las mieszany wilgotny (LMw); uszkodzenie 30% – zwierzyna; podszyt Lsz,, Św, Kru, Prz. c 20% (ryc. 2).



Ryc. 2. Powierzchnia badawcza H w Nadleśnictwie Suwałki

### **4.3. Określenie stopnia zasiedlenia powierzchni badawczych przez grzyby powodujące zgnilizny drewna**

Przeprowadzono lustrację terenową powierzchni badawczych w celu inwentaryzacji owocników grzybów powodujących zgnilizny drewna. Inwentaryzowane były owocniki na pniakach, leżących kłodach i gałęziach. Dodatkowo dla określenia występowania grzybów rodzaju *Heterobasidion* wykopano na każdej powierzchni badawczej po 16, regularnie rozmieszczonych odkrywek glebowych o wymiarach 30 cm x 30 cm i głębokości 30 cm. W obrębie odkrywek przebiegał system korzeniowy, na którym mechanicznie uszkodzono pniak i korzenie. Po sześciu miesiącach dokonano analizy występowania owocników grzybów rodzaju *Heterobasidion* na korzeniach w odkrywkach (Sierota 1997).

### **4.4. Określenie gatunków grzybów zasiedlających rany na pniach świerków**

#### **4.4.1. Drzewa doświadczalne**

W każdym z nadleśnictw, na dwóch powierzchniach badawczych, wybrano po cztery drzewa w celu przeprowadzenia eksperymentu. Drzewa nie miały uszkodzeń na pniach. Na wysokości 25 cm i 125 cm (ryc. 3) po przeciwległych stronach pnia zostały wykonane rany usuwając korę na powierzchni 100 cm<sup>2</sup>. Każde drzewo zraniono w ośmiu miejscach, naprzemiennie w stosunku do stron świata (ryc. 4). W sumie wykonano 64 sztuczne spały. Połowa ran została wykonana w miesiącach zimowych (listopad-grudzień 2018), a połowa w miesiącach letnich (kwiecień-maj 2019). Po trzech latach ekspozycji z każdej rany

pobrano próby drewna, które przekazano do analizy laboratoryjnej. Analogicznie połowa prób została zebrana w miesiącach zimowych (listopad-grudzień 2021), a połowa w miesiącach letnich (kwiecień-maj 2022).



Ryc. 3. Rany na pniu wykonane na dwóch wysokościach 25 cm i 125 cm



Ryc. 4. Rany na pniu od strony zachodniej i wschodniej

#### 4.4.2. Izolacja DNA i przygotowanie bibliotek OTU

Za pomocą wiertarki (DeWalt DC 756) i wiertła o średnicy 6 mm pobierano próby drewna z obszaru wcześniej wykonanych ran (spał). Ponadto na powierzchniach nawiercano drzewa z zablizniającymi się ranami spał powstałych nie wcześniej niż rok przed pobraniem prób. Pobrany materiał rozdrabniano w młynku kriogenicznym PEXTM SamplePrepTM Freezer/MillTM. DNA ekstrahowano za pomocą zestawu Bead-Beat Micro AX Gravity Kit (A&A Biotechnology, Gdynia, Polska), z modyfikacją w protokole producenta w postaci wydłużonej lizy (do 45 minut). Jako element standaryzujący wykorzystano stałą masę próbki (1 g). Po ekstrakcji DNA, materiał oczyszczono za pomocą zestawu Anty-Inhibitor Kit (A&A Biotechnology, Gdynia, Polska). Otrzymane DNA wykorzystano do reakcji PCR. Analizę metagenomiczną zbiorowisk grzybów przeprowadzono na podstawie regionu ITS1. Do amplifikacji wybranego regionu i przygotowania biblioteki OTU użyto specyficznych

starterów: (5' GAA CCW GCGGAR TCA 3') oraz 5.8S (5' CGC TGC GTT CTT CATCG 3') (VILGALYS i HESTER, 1990. SCHMIDT i in., 2013). W skład mieszaniny reakcyjnej wchodziły: 0,2  $\mu\text{mol/L}$  każdego startera, 12,5  $\mu\text{l}$  2 $\times$  PCR MIX (A&A Biotechnology) oraz 2  $\mu\text{l}$  DNA. Mieszaninę uzupełniono do 25  $\mu\text{l}$  wodą dejonizowaną. Reakcję PCR przeprowadzono w następujących warunkach: 94°C przez 5 min; 35 cykli: 94°C przez 30 s, 56°C przez 30 s, 72°C przez 30 s, a następnie 72°C przez 7 min. Produkt PCR sprawdzono pod względem jakości, oczyszczono i wysłano do sekwencjonowania systemem Illumina w firmie zewnętrznej, Genomed S.A. (Warszawa, Polska). Dalsza analiza składała się z dwóch etapów: 1. automatyczne demultipleksowanie próbek, 2. generowanie plików fastq, zawierających surowe odczyty. Otrzymane sekwencje poddano dalszej analizie bioinformatycznej w celu przygotowania biblioteki OTU (ang. operational taxonomic unit, operacyjna jednostka taksonomiczna). Analiza bioinformatyczna zapewniająca klasyfikację odczytów do poziomu gatunku została przeprowadzona pakietem oprogramowania QIIME2 w oparciu o bazę sekwencji referencyjnych NCBI (CAPORASO i in., 2010). Analiza polegała na usunięciu sekwencji adapterowych w oprogramowaniu cutadapt (MARCEL, 2011), a następnie na analizie jakościowej odczytów. Sekwencje o niskiej jakości (jakość <25, długość do 30 pz) zostały usunięte. W kolejnym etapie połączono sekwencje sparowane (algorytm fastq-join) (ARONESTY, 2011), usunięto sekwencje chimeryczne (algorytm usearch61). Przeprowadzono klastrowanie w oparciu o wybraną bazę sekwencji referencyjnych (algorytm uclust) oraz przypisano taksonomię w oparciu o bazę sekwencji referencyjnych NCBI (algorytm blast). Utworzono bibliotekę OTU (BENSON i in., 2018). W celu identyfikacji przyjęto procent podobieństwa analizowanej sekwencji z sekwencją referencyjną na poziomie 98-100% dla gatunków, 94-97% dla poziomu rodzaju i 80-94% dla rzędu, odpowiadający co najmniej 90% pokryciem z sekwencją referencyjną. Taksony zostały zidentyfikowane do najniższego możliwego poziomu taksonomicznego. OTU, które nie należały do Fungi lub Oomycota, usunięto z dalszej analizy. Funkcja ekologiczna (tzw. grupa troficzna) poszczególnych taksonów w zbiorowisku została określona na podstawie bazy danych FungalTraits (PÖLME, 2020) z ręczną korektą w oparciu o dane literaturowe. Taksony posegregowano na endotrofy, mykopasożyty, patogeny, saprotrofy (w tym m. in. saprotrofy drewna, niespecyficzne, gleby itp.) oraz pozostałe (o nieokreślonej funkcji, pasożyty zwierząt, gatunki mikoryzowe czy licheniujące).

#### 4.4.3. Analiza statystyczna wyników

Otrzymałą bibliotekę OTU zestawiono w arkuszu kalkulacyjnym Excel, a następnie przeanalizowano statystycznie z wykorzystaniem programu R (R Core Team, 2024). W celu wizualizacji struktury zbiorowisk grzybów zastosowano analizę PCoA (Principal Coordinates Analysis) na podstawie odległości Bray-Curtis. Wykresy PCoA zostały wygenerowane za pomocą funkcji `ordinate()` z pakietu `phyloseq` w języku R, a następnie przedstawione przy użyciu funkcji `ggplot2`. Analiza PCoA umożliwia ocenę, jak różne czynniki (np. etap badania, pora roku, wysokość rany) wpływają na rozmieszczenie próbek w przestrzeni wielowymiarowej. Wyniki wizualizowane na wykresach PCoA zostały wzbogacone o elipsy konfidencyjne dla różnych grup, co pozwala na łatwiejszą interpretację rozkładu danych w kontekście poszczególnych zmiennych eksperymentalnych. Aby ocenić wpływ zmiennych niezależnych na zmienność struktury danych, przeprowadzono permutacyjną analizę wariancji (PERMANOVA) z użyciem odległości Bray-Curtis. Analiza ta została przeprowadzona za pomocą funkcji `adonis2` z pakietu `vegan` w programie R (ANDERSON, 2001); funkcja `adonis2` z pakietu `vegan` (OKSANEN i in., 2020). Model uwzględnił czynniki główne: Etap (początek-koniec), Pora roku (wiosna-jesień), Wysokość spały (25-125 cm) oraz Strona świata, a także ich interakcje (Etap-Pora roku, Etap-Wysokość spały, Pora roku-Wysokość spały, Etap-Strona świata, Pora roku-Strona świata, Wysokość spały-Strona świata, oraz interakcje wyższych rzędów). W analizie wykorzystano 999 permutacji, aby oszacować istotność statystyczną wpływu poszczególnych zmiennych na strukturę danych. Dla każdej zmiennej i interakcji obliczono wartość F oraz odpowiadającą jej wartość p, która została użyta do oceny istotności wyników. Za poziom istotności przyjęto wartość  $p < 0,05$ . Zależności między liczbą taksonów w analizowanych wariantach zostały zilustrowane za pomocą diagramu Vienna (<https://bioinfogp.cnb.csic.es/tools/venny/>, dostęp 14 listopada 2024). Ponadto przeanalizowano zmiany udziału grzybów powodujących zgnilizny drewna, grzybów patogenicznych, a także grzybów rzadkich.

#### **4.4. Określenie wskaźników różnorodności zbiorowisk grzybów w drewnie ran**

Dla każdego zbiorowiska określono bioróżnorodność gatunkową z wykorzystaniem wskaźników różnorodności. Bogactwo gatunkowe określono jako całkowitą liczbę gatunków w zbiorowisku. Frekwencję określano jako procentowy udział danego taksonu w zbiorowisku.

W celu oceny alfa różnorodności poszczególnych prób obliczono różne wskaźniki bioróżnorodności, takie jak: Chao1, szacujący bogactwo gatunkowe; wskaźnik Pielou, mierzący równomierność rozmieszczenia gatunków; indeks Shannona, określający różnorodność gatunkową; oraz wskaźnik Simpsona, stosowany do oceny dominacji pojedynczych gatunków. Zastosowanie tych czterech wskaźników zapewnia różną perspektywę analizowania danych, co pozwala na dokładną kwerendę różnorodności zbiorowisk grzybów. Wskaźniki różnorodności Shannona i Simpsona uwzględniają dane ilościowe (tj. ile razy dany takson wystąpił w próbie; diversity function from vegan package, OKSANEN i in. 2020). Wskaźnik Shannona skupia się na ilości gatunków i ich liczebności pokazując jaka jest proporcja liczebności danego gatunku pomiędzy próbami. Natomiast wskaźnik różnorodności Simpsona skupia się na gatunkach dominujących.

#### **4.5. Określenie zagrożenia przyszłego drzewostanu za pomocą modelu prognostycznego ROTSTAND**

W roku 2018 podjęto działania polegające na pomiarze pierśnicy wszystkich drzew na powierzchniach badawczych. Pomiar pierśnicy wykonywano średnicomierzem mierząc każde drzewo na krzyż (dwa pomiary z jednego drzewa), czego efektem było uzyskanie dokładnych danych umożliwiających określenie pierśnicowego pola przekroju drzewostanu. Przy pomocy wysokościomierza Suunto PM-5/1520 pomierzono wysokość 10% drzew na każdej powierzchni, w celu obliczenia średniej wysokości drzewostanu. Czynności te powtórzono w 2021 roku. Na podstawie wykonanych pomiarów obliczono pierśnicowe pole przekroju. Przy pomocy Tablic miąższości drzewostanów pomierzonych sposobem Bitterlicha (TRAMPLER, 1974) określono miąższość drzew na powierzchni. Następnie przeliczono te wartości na hektar drzewostanu. Dane te były niezbędne do modelowania przebiegu choroby.

W celu określenia zagrożenia przyszłego drzewostanu został użyty Model Rotstand, który prognozuje rozwój choroby powodowanej przez korzeniowce w drzewostanach

iglastych (sosnowych, świerkowych czy jodłowych) uwzględniając zajmowane siedlisko oraz warunki klimatyczne panujące w różnych częściach kontynentu europejskiego (WOODWARD i in. 2002, 2005). Działanie modelu opiera się na rzeczywistych danych uzyskanych z badanych drzewostanów tj. dymensje poszczególnych drzew, historia zabiegów gospodarczych czy też objawy rozwoju choroby na przedmiotowej powierzchni.

Założenia modelu Rotstand dotyczące sposobu infekcji są następujące:

1. Pewna ilość pniaków infekowana jest za pomocą zarodników podstawkowych uwalnianych podczas sezonu wegetacyjnego. Dla takich sytuacji określono współczynnik infekcji o wartościach od 0 do 1, oddzielnie dla *H. annosum* i *H. parviporum*. Wartość współczynnika uzależniona jest od stosowania bądź nie, ochrony przed hubą korzeni w postaci inokulacji pniaków preparatem opartym na grzybni *P. gigantea*. W przypadku stosowania zabiegów ochronnych wartość współczynnika pomniejszana jest o 95%. Współczynnik infekcji warunkowany jest również przez porę roku, w której wykonywane są cięcia drzewostanu. W przypadku cięć zimowych jego wartość spada do 0. Dodatkowo uwzględniony został również aspekt ran powstających w wyniku ścinki czy zrywki pozyskiwanego surowca drzewnego. Określono współczynnik uszkodzenia dedykowany drzewostanom świerkowym, odzwierciedlający sukces patogena w zasiedlaniu zranień odziomkowej części strzały.
2. Patogeny powodujące zgniliznę korzeniową są w stanie infekować zdrowe drzewa wegetatywnie poprzez zrosty korzeniowe. Twórcy modelu określili współczynniki infekcji dla poszczególnych gatunków (sosna, świerk, jodła) jak również osobno dla sytuacji, w której zasiedlany jest pniak albo stojące drzewo. Wynika on z prędkości przerastania drewna przez grzybnię patogena – martwe drewno pniaków jest przerastane szybciej niż żywe drewno zdrowego korzenia. W przypadku sosny patogen łatwiej przerasta drewno bielaste niż twarde, co powoduje obniżenie przyrostów, a ostatecznie zamieranie drzew. Jeśli chodzi o świerka i jodłę rozwój zgnilizny w głównej mierze dotyczy drewna twardego, co pozwala na stosunkowo długi wzrost bez zaburzania przyrostów. W modelu Rotstand przyjęto następujący sposób rozprzestrzeniania się porażenia przez chorobę w drzewostanie: patogen opanowuje system korzeniowy i podstawę pnia pojedynczego drzewa, a dopiero następnie atakuje sąsiadujące drzewa przemieszczając się przez zrosty systemów korzeniowych.

3. Model wzrostu drzew sosny zwyczajnej twórcy projektu uzyskali od prof. dr. hab. Arkadiusza Bruchwalda (1977, 1988, BRUCHWALD i in. 2000). W przypadku świerka pospolitego zostały użyte dwa modele – model wzrostu w warunkach północy kontynentu opracowany w Szwecji jak również w Finlandii, oraz model wzrostu w warunkach górskich opracowany w Austrii. Dla jodły pospolitej użyto modelu włoskiego.

W celu uruchomienia symulacji zagrożenia przyszłego drzewostanu wprowadza się następujące dane wejściowe:

Dane wprowadzane przez użytkowników dotyczące cech drzewostanu:

- gatunek drzewa (w przedmiotowej pracy jest to świerk),
- średni wiek drzew (37-49 lat),
- pierśnicowe pole przekroju (26,04- 33,92 m<sup>2</sup>/ha),
- minimalna, maksymalna i średnia pierśnica,
- średnia wysokość drzewostanu (20,37-24,49 m),
- liczba drzew na ha (437-881 szt./ha).

Dane wprowadzane przez użytkowników dotyczące patogenów:

- liczba drzew na hektarze w wieku rębności drzewostanu oraz gatunek drzew w poprzednim drzewostanie (w tym liczba pniaków zasiedlonych przez grzyby z rodzaju *Heterobasidion*/ha – 0 do 22%),
- sposób traktowania pniaków po cięciu uprzątającym – zabezpieczanie pniaków, bez zabezpieczania, karczowanie pniaków,
- termin cięcia – letnie/zimowe.

Inne dane wynikające z informacji na temat historii drzewostanu i jego zagospodarowania to:

Dane wprowadzane przez użytkowników dotyczące gospodarki leśnej:

- liczba cięć pielęgnacyjnych do wieku rębności (3-5),
- pierśnicowe pole przekroju, kiedy wykonuje się cięcia pielęgnacyjne (30 m<sup>2</sup>/ha),

- rodzaj cięć pielęgnacyjnych (% usuwanych drzew w zależności od stanowiska biosocjalnego- 70% najcieńszych oraz 30% najgrubszych),
- zabezpieczanie pniaków potrzebieżowych: bez zabezpieczania/zabezpieczane/cięcia zimowe,
- wiek rębności (85 lat w Nadleśnictwie Drygały, 95 lat w Nadleśnictwie Suwałki),
- zabezpieczanie pniaków na zrębach: bez zabezpieczania/ zabezpieczane/ cięcia zimowe,
- liczba drzew na ha.

Dane wprowadzane przez użytkowników dotyczące warunków środowiskowych:

- suma średnich temperatur (lub długość okresu wegetacji, miesiące),
- historia drzewostanu: drzewostan iglasty/drzewostan liściasty/grunty rolne/pastwiska,
- typ gleby: piaszczysta, oglejona, gliniasta, torfowa, wapienna.

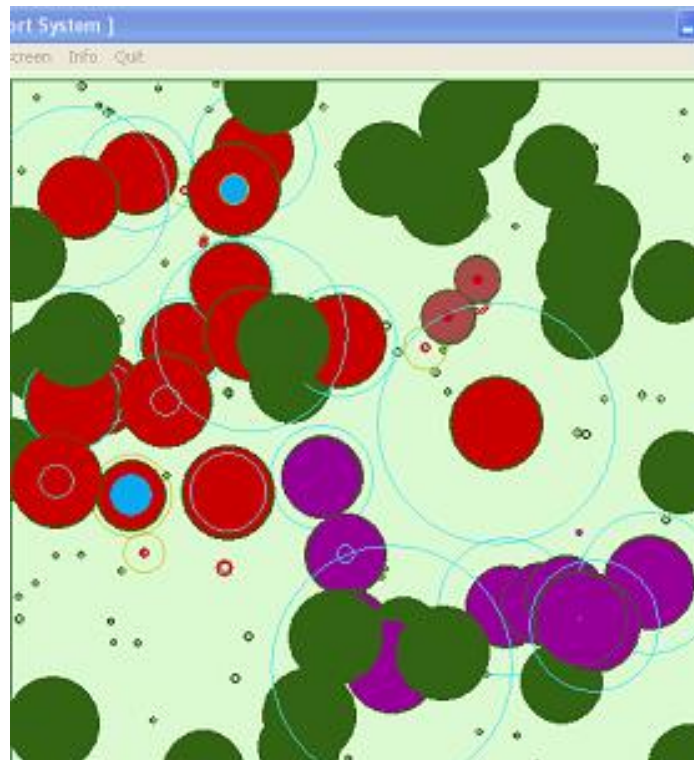
Powyższe zostały wprowadzone wg zapisów z Planów Urządzenia Lasu Nadleśnictw Drygały i Suwałki.

Wyniki symulacji modelu ROTSTAND generowane były w formie tabelarycznej ukazującej w pięcioletnich odstępach czasowych rozwój drzewostanu oraz postęp choroby. Możliwe do uzyskania były:

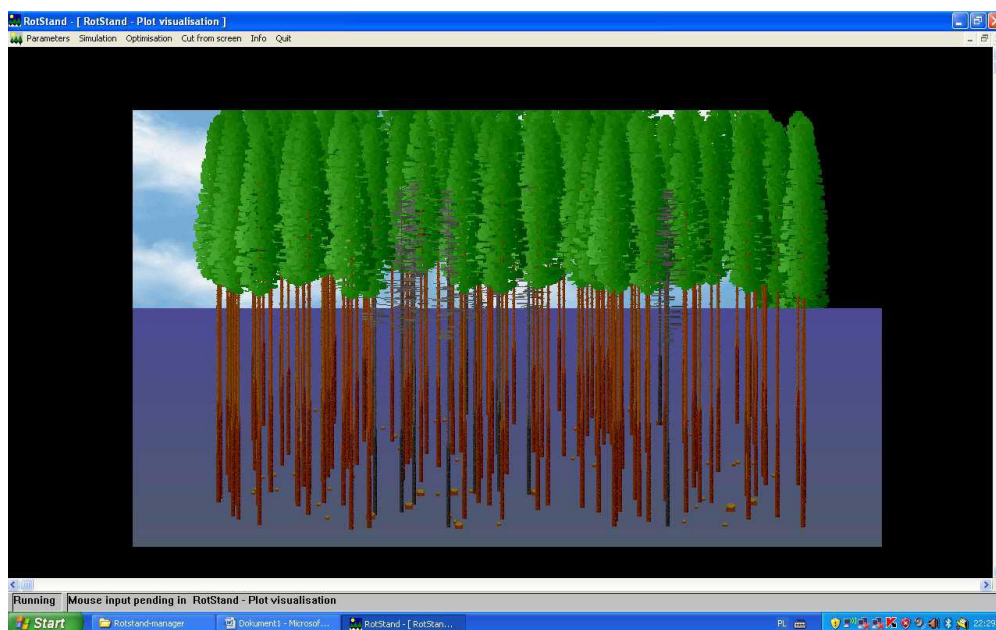
- informacje dotyczące wzrostu drzew oraz przyrostu miąższości drzewostanu (średnia wysokość drzewostanu, pierśnicowe pole przekroju, zasobność)
- liczba drzew porażonych oraz zmarłych w ciągu życia drzewostanu
- ilość drewna wielko i średniowymiarowego, ilość drewna zdeprecjonowanego przez zgniliznę, wartość sortymentów możliwych do pozyskania w cięciach trzebieżowych i zrębowym.

Model Rotstand oferuje również możliwość graficznego odwzorowania procesów rozwoju drzewostanu oraz infekcji przez *Heterobasidion* spp. w celu ułatwienia odbioru danych. Wizualizacja możliwa jest na dwa sposoby – mapa analizowanej powierzchni

obrazująca położenie drzew oraz ich stan zdrowotny (ryc. 5) bądź wizualizacja graficzna drzewostanu (ryc. 6).



Ryc. 5. Przykładowa wizualizacja powierzchni obrazująca położenie drzew oraz ich stan zdrowotny w rzucie poziomym



Ryc. 6. Przykładowa wizualizacja powierzchni obrazująca położenie drzew oraz ich stan zdrowotny w rzucie pionowym

W celu symulacji przebiegu choroby oraz prognozowania jej skutków założono pięć scenariuszy modelowania:

- A** – symulację rozwoju drzewostanu nieporażonego przez *Heterobasidion* spp. oraz niespałowanego,
- B** – symulację rozwoju drzewostanu nieporażonego przez *Heterobasidion* spp., występujące spałowanie,
- C** – symulację rozwoju drzewostanu porażonego przez *Heterobasidion* spp., bez zabezpieczania pniaków preparatem biologicznym, występujące spałowanie,
- D** – symulację rozwoju drzewostanu porażonego przez *Heterobasidion* spp., pniaki zabezpieczone preparatem biologicznym, występujące spałowanie,
- E** – symulację rozwoju drzewostanu porażonego przez *Heterobasidion* spp., cięcia użytkowania przedrębne i rębne wykonywane zimą, występujące spałowanie.

## 5. WYNIKI

### 5.1. Grzyby powodujące zgnilizny drewna występujące na powierzchniach badawczych

W okresie badań od jesieni 2018 roku do wiosny 2022 roku na 8 powierzchniach badawczych (areal 1,28 ha) zaobserwowano wystąpienie 34 gatunków grzybów. Różnorodność gatunków wynosiła od 4 do 9 gatunków na powierzchni badawczej. W Nadleśnictwie Drygały odnotowano obecność owocników 23 gatunków.

Na powierzchni badawczej A zauważono pojawienie się owocników 9 gatunków. Najczęstszym był *Trichaptum abietinum* (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden (niszczyk iglastodrzewny) odnotowany na 4 stanowiskach. Była to w przeważającej mierze leżanina strzał świerkowych. Zaobserwowano po dwa stanowiska *Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst. (pniarek obrzeżony) (ryc. 7) na stojącym i powalonym pniu świerkowym, oraz *Calocera viscosa* (Pers.) Bory (pięknoróg największy). Na rzeczonej powierzchni 4% pniaków wykazywało objawy zgnilizny.

Owocniki 8 gatunków grzybów zaobserwowano na powierzchni badawczej B. Przeważający udział stwierdzono w przypadku *H. parviporum* (10 stanowisk na pniakach i częściowo rosnących na powierzchni gleby korzeniach), (ryc. 8). Kolejną co do wielkości frekwencję odnotowano dla *T. abietinum* (3 stanowiska na leżaninie świerkowej). Na przedmiotowej powierzchni 20% pniaków wykazywało objawy zgnilizny.

Na powierzchni badawczej C zaobserwowano owocniki 7 gatunków na 7 stanowiskach, z tego na ponad połowie stanowisk obserwowany był *H. parviporum* (8 owocników na pniakach, szyi korzeniowej i korzeniach wystających ponad powierzchnię ziemi). Odnotowano także 6% pniaków ze zgnilizną. Drugi z kolei co do częstości występowania był *Tricholomopsis rutilans* (Schaeff.) Singer (rycerzyk czerwonożłoty, 2 stanowiska: pniak oraz podstawa pnia).

Owocniki 9 gatunków zaobserwowano na powierzchni badawczej D. *Hypholoma fasciculare* (Huds.) P. Kumm. (maślanka wiązkowa) wystąpił na 2 pniakach świerkowych natomiast pozostałe gatunki wystąpiły jedynie pojedynczo. Udział pniaków z objawami zgnilizny wyniósł 12%.

W 64 odkrywkach glebowych stwierdzono pojawienie się jednego owocnika *H. parviporum* na powierzchni badawczej C, który został ujęty w tabeli (tab. 1).



Ryc. 7. Owocniki *Fomitopsis pinicola* na pniu świerkowym (powierzchnia A)



Ryc. 8. Owocnik *Heterobasidion parviporum* na pniaku świerkowym (powierzchnia B)

Tabela 1

Występowanie na drewnie gatunków grzybów oraz ich liczebność na powierzchniach badawczych w Nadleśnictwie Drygały

Lp.	Nadleśnictwo	Nadleśnictwo Drygały			
		Powierzchnia badawcza / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j
1	<i>Amaropostia stiptica</i> (Pers.) B.K. Cui, L.L. Shen & Y.C. Dai				1
2	<i>Calocera viscosa</i> (Pers.) Bory	2		1	
3	<i>Crepidotus applanatus</i> (Pers.) P. Kumm.	1			
4	<i>Dacrymyces stillatus</i> Nees				1
5	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.	2			
6	<i>Fuscopostia fragilis</i> (Fr.) B.K. Cui, L.L. Shen & Y.C. Dai		1		
7	<i>Heterobasidion parviporum</i> Niemelä & Korhonen	1	10	8	
8	<i>Hypholoma capnoides</i> (Fr.) P. Kumm.	1	1	1	
9	<i>Hypholoma fasciculare</i> (Huds.) P. Kumm.		1		2
10	<i>Hypoxylon fragiforme</i> (Pers.) J. Kickx f.				1
11	<i>Kuehneromyces mutabilis</i> (Schaeff.) Singer & A.H. Sm.				1
12	<i>Laccaria laccata</i> (Scop.) Cooke			1	1
13	<i>Mycena amicta</i> (Fr.) Quél.	1			
14	<i>Naematelia encephala</i> (Pers.) Fr.	1			
15	<i>Neoantrodia serialis</i> (Fr.) Audet			1	
16	<i>Neolentinus lepideus</i> (Fr.) Redhead & Ginns				1
17	<i>Pluteus cinereofuscus</i> J.E. Lange		1		
18	<i>Ramaria stricta</i> (Pers.) Quél.				1
19	<i>Stereum sanguinolentum</i> (Alb. & Schwein.) Fr.			1	
20	<i>Tapinella panuoides</i> (Fr.) E.-J. Gilbert		1		
21	<i>Thelephora terrestris</i> Ehrh.	1	1		
22	<i>Trichaptum abietinum</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden	4	3		1
23	<i>Tricholomopsis rutilans</i> (Schaeff.) Singer			2	
	Suma	14	19	15	10

Na powierzchni badawczej E zauważono pojawienie się owocników 8 gatunków. Najczęściej występował *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink (opieńka ciemna), (ryc. 9) zaobserwowany w 12 miejscach na pniakach (z których 22% wykazywało zgniliznę) oraz korzeniach świerków, natomiast drugi w kolejności był rodzaj *Stereum* (3 stanowiska na zamaryłych gałęziach).

Występowanie 7 taksonów odnotowano na powierzchni badawczej F, gdzie najczęściej występującym gatunkiem był *Stereum sanguinolentum* (Alb. & Schwein.) Fr. (skórnik krwawiący), (ryc. 10) stwierdzony na 3 stanowiskach (leżanina powstała z pni świerkowych). Pozostałe gatunki wystąpiły pojedynczo. Na przedmiotowej powierzchni mniej niż 1% pniaków wykazywało objawy zgnilizny.

Z kolei na powierzchni badawczej G zaobserwowano występowanie jedynie trzech gatunków grzybów. Stwierdzono dwa stanowiska *F. pinicola* na leżaninie oraz pojedynczo *H. parviporum* i *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr. (siedzuń sosnowy) na pniakach świerkowych. Objawy zgnilizny wykazywało poniżej 1% pniaków.

Pięć gatunków grzybów stwierdzono na powierzchni badawczej H. Najliczniej wystąpiły owocniki *F. pinicola* i *H. parviporum* (po 2) natomiast takie gatunki jak *Phlebiopsis gigantea* (Fr.) Jülich (żylica olbrzymia), *Gymnopilus penetrans* (Fr.) Murrill (łysak plamistoblaszkowy) czy *T. abietinum* wystąpiły pojedynczo. Ogólnie na rzeczonej powierzchni 3% pniaków wykazywało objawy zgnilizny.

W 64 odkrywkach glebowych stwierdzono pojawienie się jednego owocnika *H. parviporum* na powierzchni badawczej G, który został ujęty w tabeli (tab. 2).



Ryc. 9. Owocnik *Armillaria ostoyae* przy pniaku świerkowym (powierzchnia E)



Ryc. 10. Owocniki *Stereum sanguinolentum* na pniu świerkowym (powierzchnia F)

Tabela 2

Występowanie na drewnie gatunków grzybów oraz ich liczebność na powierzchniach badawczych w Nadleśnictwie Suwałki

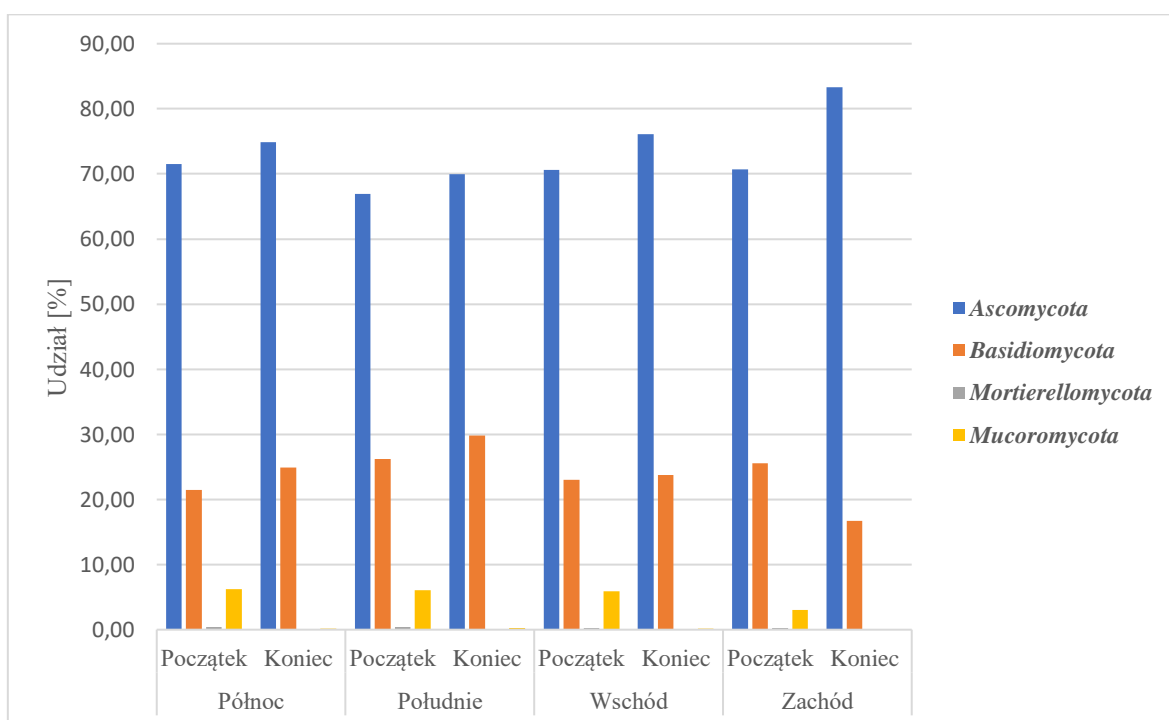
L.p	Nadleśnictwo	Nadleśnictwo Suwałki			
		Powierzchnia badawcza / pododdział	E 13b	F 56c	G 184g
1	<i>Armillaria cepistipes</i> Velen.	2			
2	<i>Armillaria ostoyae</i> (Romagn.)	12	1		
3	<i>Calocera viscosa</i> (Pers.) Bory		1		
4	<i>Cyanosporus caesius</i> (Schrad.) McGinty		1		
5	<i>Dacrymyces stillatus</i> Nees	1			
6	<i>Fomitopsis pinicola</i> (Sw.) P. Karst.			2	2
7	<i>Gymnopilus penetrans</i> (Fr.) Murrill	1	1	1	1
8	<i>Heterobasidion parviporum</i> Niemelä & Korhonen				2
9	<i>Leptoporus mollis</i> (Pers.) Quél.		1		
10	<i>Phlebiopsis gigantea</i> (Fr.) Jülich				1
11	<i>Postia guttulata</i> (Sacc.) Jülich	1			
12	<i>Sparassis crispa</i> (Wulfen) Fr.			1	
13	<i>Stereum</i>	2			
14	<i>Stereum sanguinolentum</i> (Alb. & Schwein.) Fr.		2		
15	<i>Stereum subtomentosum</i> Pouzar	1			
16	<i>Trichaptum abietinum</i> (Pers. ex J.F. Gmel.) Ryvarden		1		1
17	<i>Xylaria hypoxylon</i> (L.) Grev.	1			
	Suma	21	8	4	7

## 5.2. Zbiorowiska grzybów i Oomycota zasiedlające drewno pni świerkowych

Z pobranego materiału badawczego uzyskano 11 426 289 sekwencji DNA. Średnio na próbę przypadało ich 72 779 sztuk. Dokonano identyfikacji 1 752 taksonów (Aneks) z następujących typów: *Aphelidiomycota* (1 takson), *Ascomycota* (1201 taksony), *Basidiobolomycota* (3 taksony), *Basidiomycota* (483 taksonów), *Chytridiomycota* (1 takson), *Monoblepharomycota* (1 takson), *Mortierellomycota* (29 taksonów), *Mucoromycota* (17 taksonów), *Ochrophyta* (6 taksonów), *Olpidiomycota* (1 takson), *Oomycota* (5 taksonów), *Rozellomycota* (3 taksony) oraz *Zoopagomycota* (1 takson).

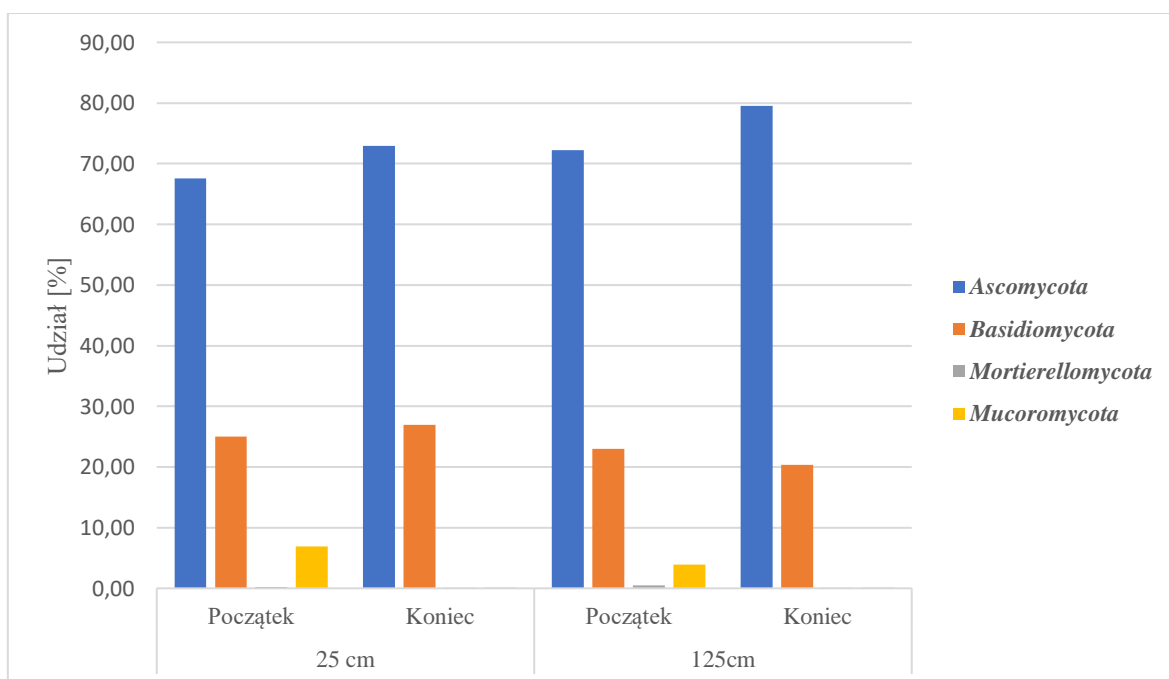
Najliczniej reprezentowane były grzyby z typu *Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Mortierellomycota* oraz *Mucoromycota*. Średni udział taksonów należących do *Ascomycota* w drewnie ran pobranym na początku doświadczenia wynosił od 66,89% do 71,55%.

Największy średni udział taksonów w ranach zaobserwowano od strony północnej, najmniejszy od południowej. W izolatach pobranych z drewna ran 3 lata od założenia doświadczenia średni udział taksonów należących do *Ascomycota* wzrósł we wszystkich wariantach i wynosił 69,96%-83,30%. Frekwencja tych taksonów zwiększyła się najbardziej w ranach od zachodniej strony pnia z 70,69% do 83,30% oraz wschodniej strony z 70,61% do 76,06%. W przypadku grzybów należących do *Basidiomycota* w większości wariantów zaobserwowano wzrost średniego udziału taksonów po 3 latach, jedynie w ranach wykonanych od zachodniej strony zaobserwowano zmniejszenie występowania. Na początku średni udział przedmiotowych taksonów wynosił od 21,42% do 26,18%. Największy udział zaobserwowano od południowej strony, najmniejszy po północnej. Po 3 latach od wykonania rany od południowej strony pnia udział taksonów należących do *Basidiomycota* był najwyższy i wynosił 29,78%. Z kolei liczba taksonów występujących po zachodniej stronie pnia zmniejszyła się z 25,56% do 16,69%. Natomiast u typów *Mucoromycota* i *Mortierellomycota* średni udział zmniejszył się pomiędzy próbkami pobranymi na początku doświadczenia i 3 lata od wykonania ran. Średni udział *Mucoromycota* na początku wynosił 2,99%-6,19% i zmniejszył się do 0,00%-0,25%. W przypadku *Mortierellomycota* udział na początku wynosił 0,23-0,45%, zmniejszył się do 0,004-0,007%. (ryc. 11)



Ryc. 11. Udział poszczególnych typów w zbiorowisku grzybów i *Oomycota* w zależności od strony pnia z jakiej wykonano rany

W zbiorowiskach grzybów pobranych z prób pochodzących z różnej wysokości pnia zaobserwowano, że najliczniej reprezentowanym wśród taksonów były typy *Ascomycota* i *Basidiomycota*. Średni udział taksonów należących do *Ascomycota* w drewnie w momencie wykonania ran pochodzącym z wysokości 25 cm wynosił 67,56% podczas gdy na 125 cm – 72,24%. Udział taksonów należących do *Ascomycota* i *Basidiomycota* po 3 latach od wykonania ran zwiększył się i wynosił odpowiednio 72,90% i 79,49%. Frekwencja taksonów z *Basidiomycota* na początku doświadczenia wynosiła 24,98% w ranach z wysokości 25 cm oraz 22,95% – 125 cm. Trzy lata od wykonania spały na wysokości 25 cm stwierdzono zwiększenie średniego udziału taksonów z *Basidiomycota* do 26,93%, a w przypadku wysokości 125 cm zmniejszenie do 20,40%. Średni udział taksonów należących do typów *Mucoromycota* i *Mortierellomycota* zmniejszył się pomiędzy próbkami pobranymi na początku i 3 lata od wykonania spał, bez względu na wysokość pnia na jakiej wykonano rany (ryc. 12).



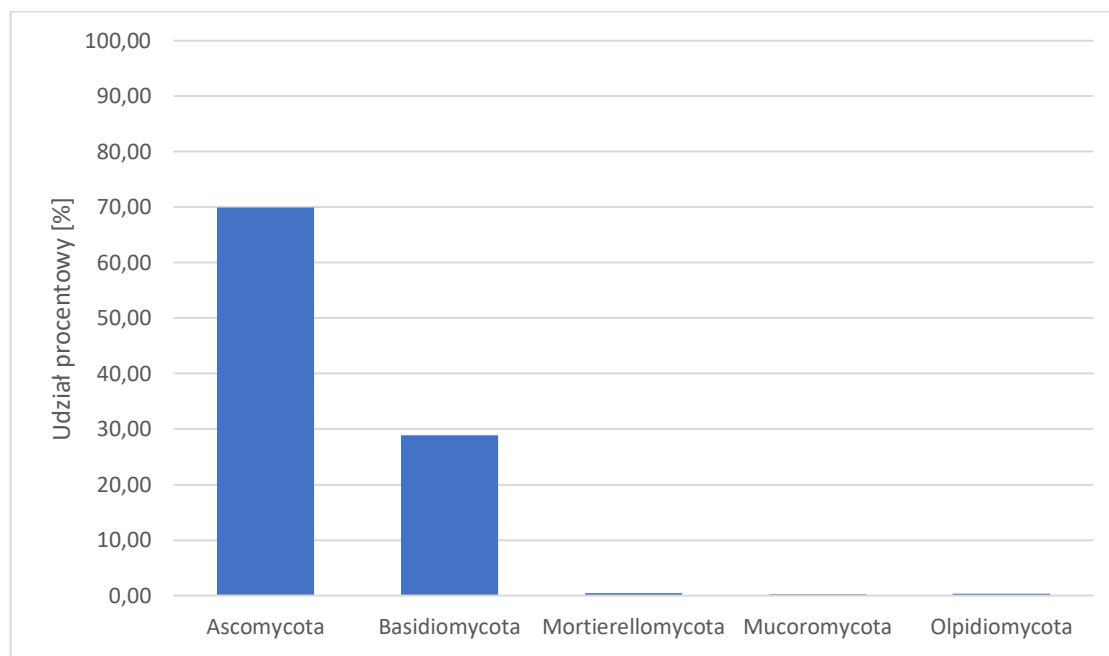
Ryc. 12. Udział poszczególnych typów w zbiorowisku grzybów i *Oomycota* w zależności od wysokości pnia na jakiej wykonano rany

### 5.3. Taksony zasiedlające drewno naturalnych spał na świerkach

W trakcie prowadzenia doświadczenia pobierano drewno również z ran, które powstały w naturalny sposób w wyniku spalowania przez jelenie i łosie. W spałach tych zidentyfikowano 1405 taksonów na różnym poziomie taksonomicznym. Taksony te należały

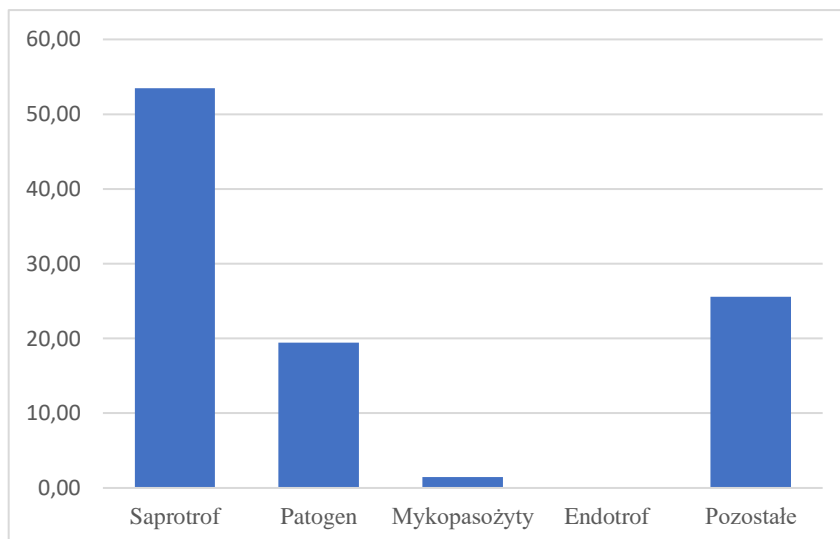
do 11 typów *Aphelidiomycota*, *Ascomycota*, *Basidiobolomycota*, *Basidiomycota*, *Mortierellomycota*, *Mucoromycota*, *Ochrophyta*, *Olpidiomycota*, *Oomycota*, *Rozellomycota*, *Zoopagomycota*.

Najliczniej reprezentowane były *Ascomycota* (średni udział 69,90%) oraz *Basidiomycota* (28,94%) (ryc. 13).



Ryc. 13. Średni udział taksonów należących do poszczególnych typów w drewnie spał pochodzenia naturalnego

Wśród grzybów związanych z rozkładem drewna taksony takie jak *Amylostereum areolatum*, *Claussenomyces olivaceus*, *Claussenomyces* sp., *Corinectria fuckeliana*, *Heterobasidion parviporum*, *Ischnoderma benzoinum*, *Ischnoderma* sp., *Lachnellula calyciformis*, *Sistotrema brinkmannii*, *Sistotrema* spp., *Stereum* spp. charakteryzowały się największym udziałem (tab. 3). Wśród zidentyfikowanych taksonów dominowały grzyby należące do saprotrofów i patogenów (ryc. 14). Saprotrofy o największym udziale to *I. benzoinum* (udział 5,93%), *Sarea* sp. (5,64%) oraz *Claussenomyces* sp. (4,09%), natomiast patogeny to *H. parviporum* (4,87%), *C. fuckeliana* (4,71%) i *Nectria dacryocarpa* (3,63%). *Nectria dacryocarpa* był identyfikowany wyłącznie w spałach naturalnych o nieokreślonym wieku na przestrzeni całego doświadczenia (tab. 3).



Ryc. 14. Procentowy udział poszczególnych grup troficznych w drewnie spał pochodzenia naturalnego

Tabela 3

Zestawienie taksonów wyizolowanych ze spał pochodzenia naturalnego, których udział przekraczał 0,05%

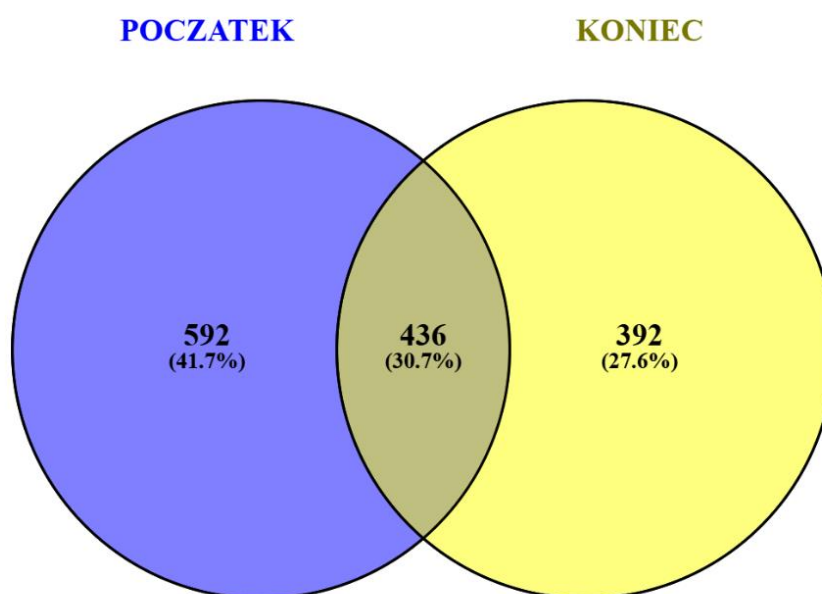
L.p.	Takson	Udział [%]
1	<i>Allantophomopsis cytisporae</i>	0,53187
2	<i>Amylostereum areolatum</i>	1,942
3	<i>Cladophialophora</i> sp.	0,533
4	<i>Claussenomyces olivaceus</i>	1,924
5	<i>Claussenomyces</i> sp.	4,089
6	<i>Corinectria fuckeliana</i>	4,271
7	<i>Exophiala cancerae</i>	0,864
8	<i>Heterobasidion parviporum</i>	4,870
9	<i>Ischnoderma benzoinum</i>	5,930
10	<i>Ischnoderma</i> sp.	1,381
11	<i>Lachnellula calyciformis</i>	1,640
12	<i>Nakazawaea ernobii</i>	0,575
13	<i>Nectria dacryocarpa</i>	3,627
14	<i>Penicillium canescens</i>	0,610
15	<i>Pseudeurotium</i> sp.	1,278
16	<i>Rhodosporeidiobolus colostri</i>	1,227
17	<i>Sarea difformis</i>	0,856
18	<i>Sarea</i> sp.	5,639
19	<i>Sistotrema brinkmannii</i>	0,756
20	<i>Sistotrema</i> spp.	0,659
21	<i>Solicoccozyma fuscescens</i>	0,959
22	<i>Stereum</i> spp.	2,155
23	<i>Vexillomyces verruculosus</i>	1,483
24	<i>Xenochalara</i> sp.	1,824
25	<i>Xenopolyscytalum pinea</i>	2,299

Skala dotycząca procentowego udziału poszczególnych taksonów



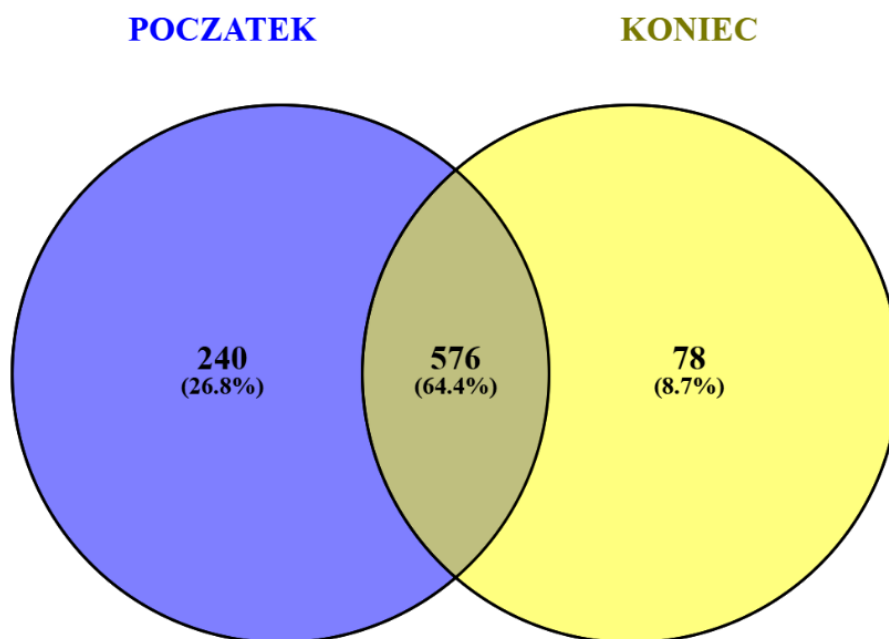
#### 5.4. Taksony zasiedlające drewno sztucznych ran na pniach świerków w zależności od pory roku wykonania rany na pniu

W drewnie pochodzącym z ran wykonanych jesienią zaobserwowano, że wraz z upływem czasu trwania doświadczenia liczba taksonów zasiedlających drewno zmniejszyła się z 1028 do 828. Prawie 31% taksonów występowało zarówno na początku, jak i na końcu okresu obserwacji (ryc. 15).



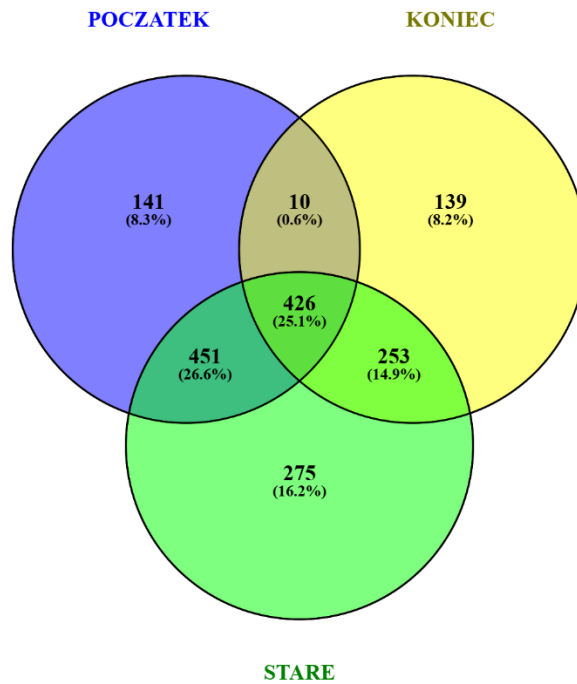
Ryc. 15. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych jesienią. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia podczas gdy żółty koniec doświadczenia

W przypadku ran wykonanych wiosną liczba zidentyfikowanych taksonów wynosiła początkowo 816, następnie uległa zmniejszeniu do 654. wiosną na koniec doświadczenia pojawiło się 78 nowych taksonów (ryc. 16).



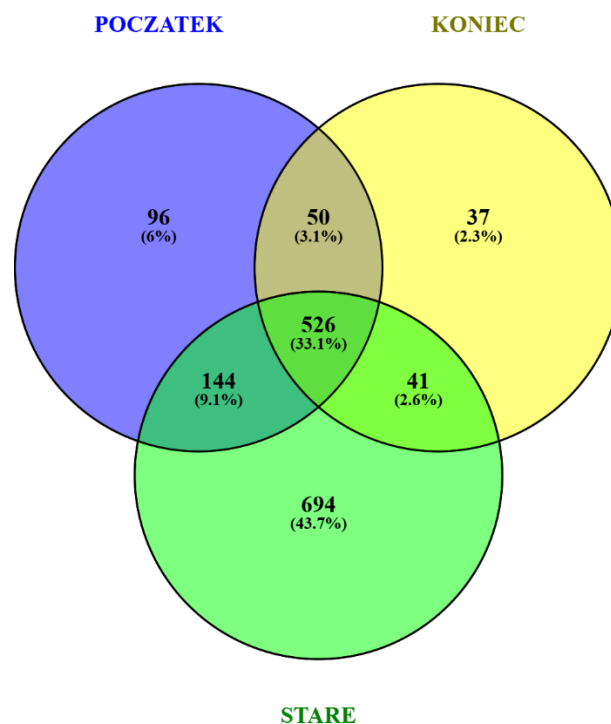
Ryc. 16. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych wiosną. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia podczas gdy żółty koniec doświadczenia

W naturalnych spałach zbiorowisko grzybów i *Oomycota* charakteryzowało się większą różnorodnością, obejmującą 1405 taksonów. Rany wykonane jesienią miały 25,1% taksonów wspólnych ze zbiorowiskami grzybów i *Oomycota* wyizolowanymi z ran powstałych naturalnie. Zbiorowisko naturalnych spał wykazywało 26,6% taksonów wspólnych ze zbiorowiskami wyizolowanymi na początku doświadczenia, natomiast na jego końcu odsetek ten zmniejszył się do 14,9%. W naturalnych spałach stwierdzono także 16,2% taksonów, które nie były obecne w ranach sztucznych wykonanych jesienią (ryc. 17).



Ryc. 17. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych jesienią. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia, żółty z końca doświadczenia oraz zielone ze starych spał pochodzenia naturalnego

Porównując zbiorowiska grzybów i *Oomycota* drewna z ran wykonanych wiosną, ich udział taksonów wspólnych z naturalnymi spałami wynosił 33,1%. W naturalnych spałach zaobserwowano również 43,7% taksonów, które były unikalne i nie występowały w żadnym z badanych zbiorowisk związanych z ranami sztucznymi wykonanymi na wiosnę (ryc. 18).

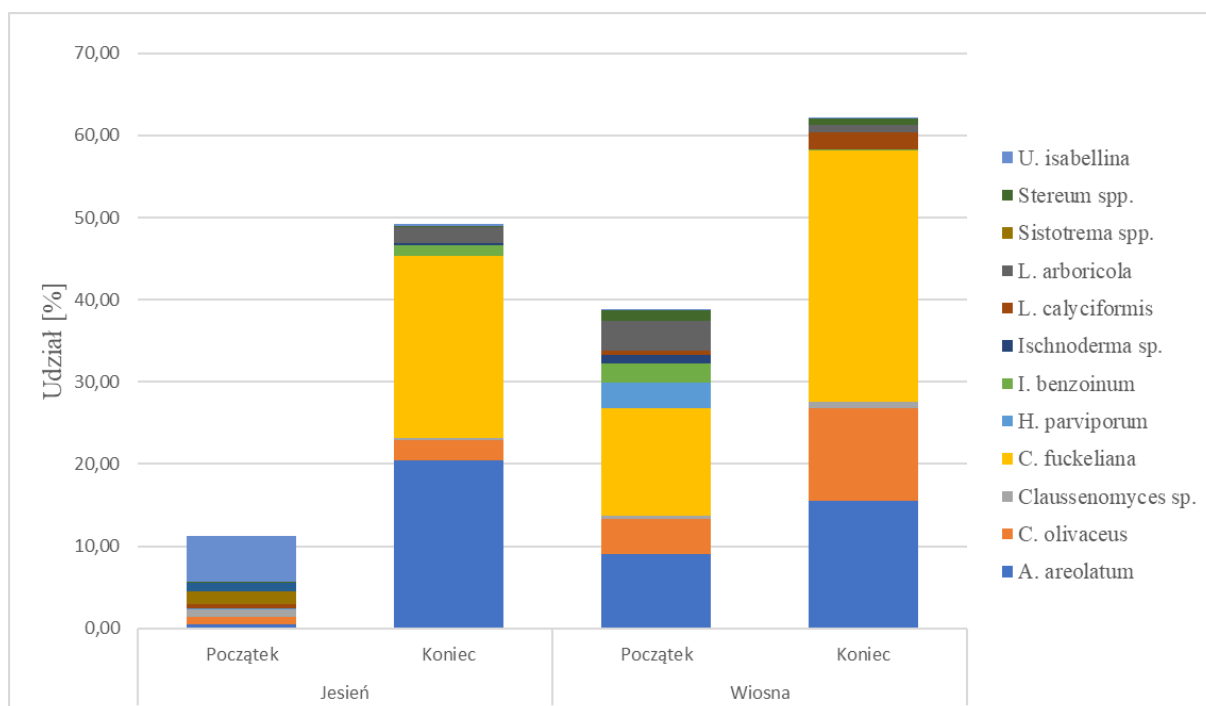


Ryc. 18. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych wiosną. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia, żółty z końca doświadczenia oraz zielone ze starych spał pochodzenia naturalnego

W przypadku taksonów związanych z rozkładem drewna, takich jak *Amylostereum areolatum* (skórnik świerkowy), *Claussenomyces olivaceus* (Fuckel) Sherwood, *Claussenomyces sp.*, *Corinectria fuckeliana*, *Heterobasidion parviporum* (korzeniowiec drobnopory), *Ischnoderma benzoinum* (Wahlenb.) P. Karst. (smolucha świerkowa), *Ischnoderma sp.*, *Lachnellula calyciformis* (Batsch) Dharne, *Lophium arboricola* (Buczacki) Madrid & Gené, *Sistotrema brinkmannii* (wielozarodniczka gruzełkowata), *Sistotrema spp.* oraz *Stereum spp.* (skórnik), zaobserwowano różne kierunki zmian w udziale taksonów w zależności od czasu trwania doświadczenia i pory wykonania ran. Udział taksonów takich jak *A. areolatum*, *C. olivaceus* oraz *C. fuckeliana* wzrósł na koniec doświadczenia, niezależnie od tego, czy rany wykonano jesienią, czy wiosną. Taksony te charakteryzowały się najwyższym udziałem w badanym okresie: dla *A. areolatum* wartości wynosiły 20,38% w przypadku ran jesiennych i 15,50% wiosennych; dla *C. olivaceus* 2,47% jesienią oraz 11,24% wiosną, natomiast dla *C. fuckeliana* – 22,08%

jesienią i 30,50% wiosną. Odwrotny trend zaobserwowano w przypadku taksonów takich jak *Sistotrema* spp., *Stereum* spp., oraz *H. parviporum*, których udział zmniejszył się na koniec doświadczenia.

W przypadku taksonów takich jak *I. benzoinum*, *Ischnoderma* sp. oraz *L. arboricola* udział w zbiorowiskach wykazywał różne zmiany w zależności od pory wykonania ran. W ranach wykonanych jesienią ich udział wzrósł odpowiednio do 1,38%, 0,22% oraz 1,95%, natomiast w ranach wiosennych odnotowano zmniejszenie dla *I. benzoinum* z 2,25% do 0,2%, dla *Ischnoderma* sp. z 1,09% do 0,02% oraz dla *L. arboricola* z 3,67% do 0,85% (tab. 4, ryc. 19).



Ryc. 19. Procentowy udział taksonów związanych z rozkładem drewna

Tabela 4

Zestawienie taksonów o udziale wynoszącym minimum 0,8% (w jednej próbie) w zbiorowiskach grzybów i Oomycota z drewna ran wykonanych w różnych porach roku

Lp.	Taksony	Jesień		Wiosna	
		Początek	Koniec	Początek	Koniec
1	<i>Allantophomopsiella pseudotsugae</i>	0,439	0,130	0,838	0,076
2	<i>Amylostereum areolatum</i>	0,462	20,379	9,082	15,504
3	<i>Beauveria asiatica</i>	0,871	0,000	0,000	0,000
4	<i>Chalara clidemiae</i>	1,014	0,000	0,000	0,000
5	<i>Cladosporium</i> sp.	0,006	3,229	1,912	1,338
6	<i>Claussenomyces olivaceus</i>	0,932	2,471	4,273	11,237
7	<i>Claussenomyces</i> sp.	0,840	0,351	0,350	0,871
8	<i>Corinectria fuckeliana</i>	0,054	22,084	13,069	30,502
9	<i>Cystobasidiopsis lophatheri</i>	0,352	0,836	0,410	0,594
10	<i>Cystobasidium pinicola</i>	1,962	0,041	0,014	0,020
11	<i>Cytospora rosae</i>	0,720	0,014	0,261	2,103
12	<i>Didymella macrostoma</i>	0,000	2,304	0,270	0,292
13	<i>Diplodia intermedia</i>	1,244	0,003	0,006	0,445
14	<i>Fusarium denticulatum</i>	1,263	0,004	0,006	0,000
15	<i>Heterobasidion parviporum</i>	0,117	0,007	3,182	0,027
16	<i>Ischnoderma benzoinum</i>	0,000	1,382	2,254	0,205
17	<i>Ischnoderma</i> sp.	0,000	0,221	1,090	0,020
18	<i>Kwoniella pini</i>	2,451	0,062	0,078	0,387
19	<i>Lachnellula calyciformis</i>	0,503	0,040	0,467	2,014
20	<i>Lophium arboricola</i>	0,000	1,954	3,669	0,845
21	<i>Mucor saturninus</i>	5,239	0,000	0,000	0,000
22	<i>Myxozyma monticola</i>	1,012	0,000	0,000	0,000
23	<i>Penicillium bialowiezense</i>	4,261	0,228	0,173	0,015
24	<i>Penicillium canescens</i>	1,367	0,917	3,076	0,002
25	<i>Penicillium cinerascens</i>	1,133	1,531	5,284	0,009
26	<i>Penicillium miczynskii</i>	0,818	0,119	0,055	0,002
27	<i>Penicillium multicolor</i>	0,044	0,048	0,029	2,193
28	<i>Penicillium penicillioides</i>	1,802	0,983	0,014	0,002
29	<i>Penicillium thomii</i>	0,887	0,003	0,102	0,001
30	<i>Phlebiopsis gigantea</i>	0,942	0,002	0,004	0,001
31	<i>Phomatodes aubrietiae</i>	0,995	0,026	0,000	0,002
32	<i>Rhodospordiobolus colostri</i>	1,168	0,109	0,076	0,007
33	<i>Rhodotorula</i> sp.	1,475	0,018	0,005	0,003
34	<i>Sarea difformis</i>	0,012	8,116	10,831	8,658
35	<i>Sarea resiniae</i>	1,419	0,568	1,147	0,214
36	<i>Sarea</i> sp.	1,668	3,945	3,845	1,169
37	<i>Sistotrema</i> spp.	1,601	0,001	0,001	0,000
38	<i>Stereum</i> spp.	0,177	0,021	1,238	0,803
39	<i>Sydowia polyspora</i>	0,000	0,878	0,470	2,599
40	<i>Tausonia pullulans</i>	0,142	0,262	2,497	0,000
41	<i>Umbelopsis isabellina</i>	5,527	0,269	0,115	0,000
42	<i>Vishniacozyma victoriae</i>	1,560	0,006	0,013	0,000

Skala dotycząca procentowego udziału poszczególnych taksonów:

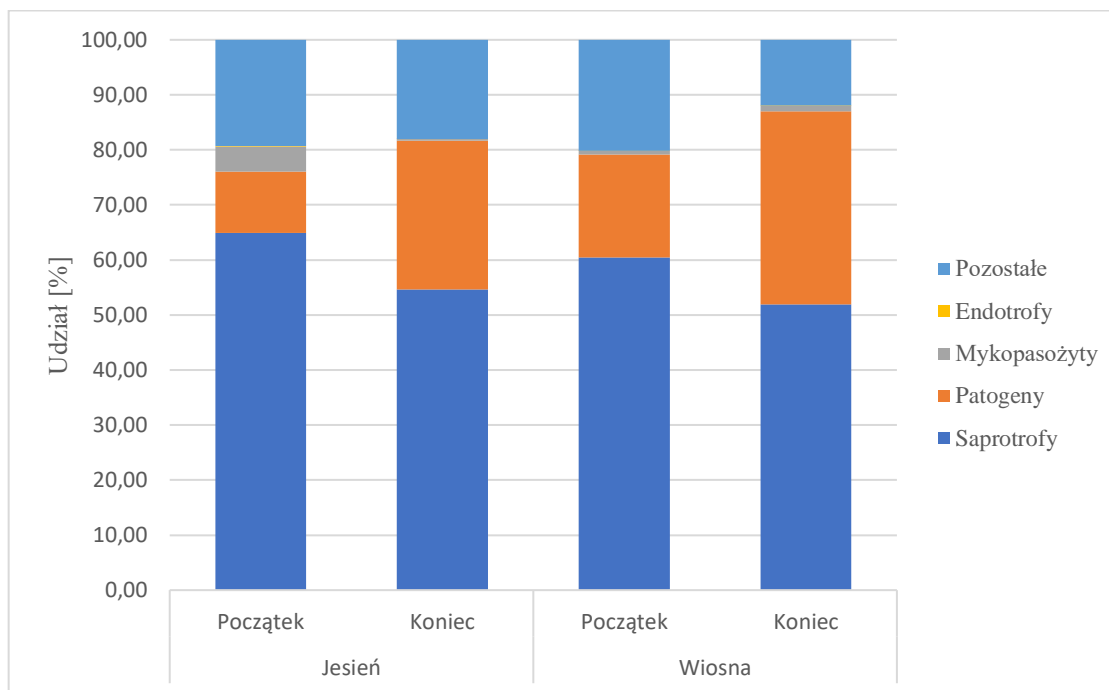


0

15

30

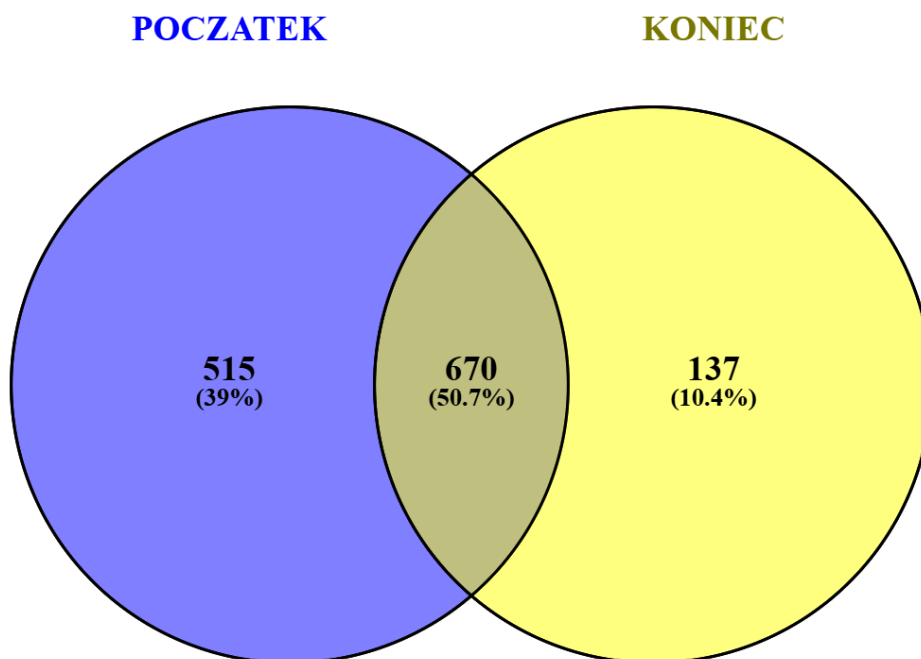
Taksony zidentyfikowane w badanym zbiorowisku w większości sklasyfikowano jako saprotrofy. Jednak ich udział zmniejszał się w miarę upływu czasu. W przypadku ran wykonanych jesienią udział saprotrofów zmniejszył się z 64,86% do 54,61%, a wiosną z 60,42% do 51,88%. Z kolei w przypadku patogenów zaobserwowano wzrost ich udziału: dla ran jesiennych z 11,15% do 27,05%, a wiosennych z 18,78% do 35,17%. Udział pozostałych analizowanych grup troficznych był niewielki i nie przekraczał 5% (ryc. 20).



Ryc. 20. Udział poszczególnych grup troficznych w zbiorowisku grzybów i *Oomycota* w zależności od pory roku w jakiej wykonano rany

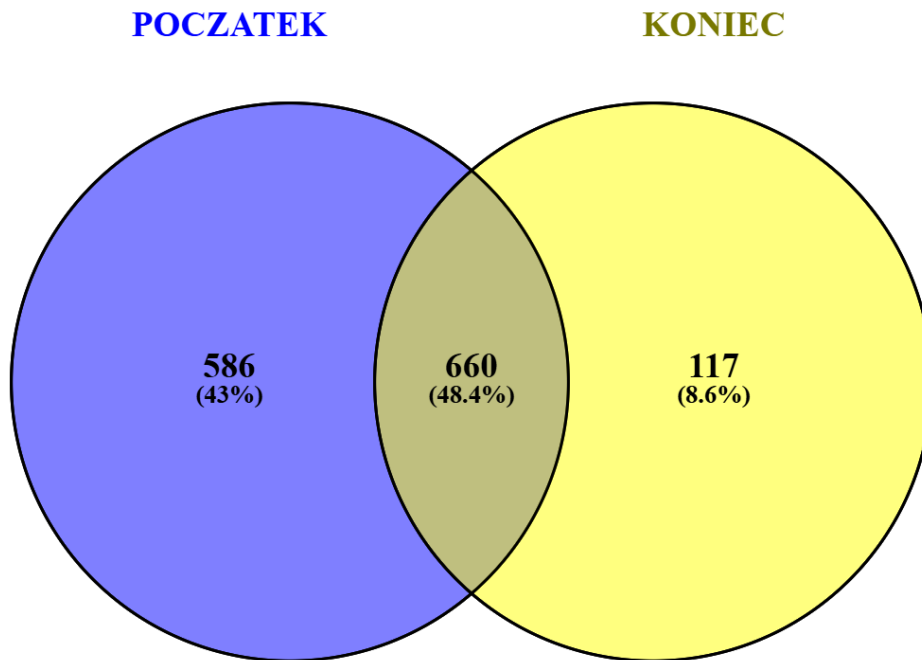
### 5.5. Taksony zasiedlające drewno sztucznych spał na pniach świerków w zależności od wysokości powstania rany na pniu

W drewnie ran powstałych na początku badań na wysokości 25 cm zidentyfikowano 1185 taksonów, natomiast po trzech latach stwierdzono obecność 807 taksonów. Sześćset siedemdziesiąt taksonów (50,7%) było wspólnych dla zbiorowisk grzybów pochodzących z drewna pobranego zarówno na początku jak i na końcu okresu badawczego. Po trzech latach stwierdzono 137 taksonów, które nie były notowane w drewnie na początku badań (ryc. 21).



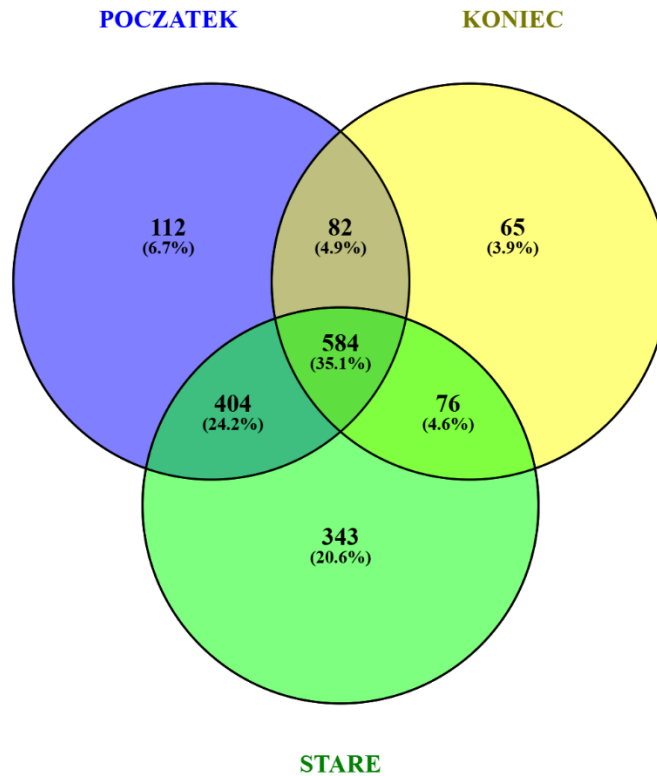
Ryc. 21. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na wysokości 25 cm. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia podczas gdy żółty koniec doświadczenia

Z kolei w drewnie ran powstałych na początku okresu badań na wysokości 125 cm stwierdzono 586 taksonów, podczas gdy po trzech latach 117. W analizowanych zbiorowiskach 48,4% taksonów było takich samych w drewnie z obu okresów pobierania prób. Z kolei po trzech latach w ranach z wysokości 125 cm zidentyfikowano 117 taksonów, które nie były obecne w drewnie na początku okresu badawczego (ryc. 22).



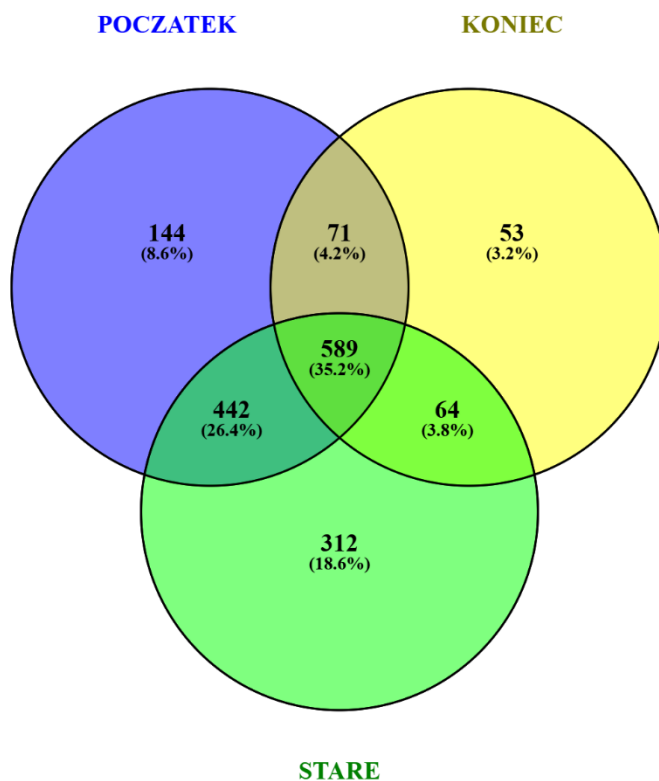
Ryc. 22. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na wysokości 125 cm. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia podczas gdy żółty koniec doświadczenia

Biorąc pod uwagę spały naturalne, w ich drewnie zidentyfikowano łącznie 1407 taksonów. Spośród nich 35,1% stanowiły taksony wspólne dla zbiorowisk z doświadczalnych spał wykonanych na wysokości 25 cm (zarówno na początku, jak i na końcu okresu badawczego) oraz z naturalnych spał. Natomiast 20,6% taksonów było unikatowych i występowało wyłącznie w drewnie naturalnych ran (ryc. 23).



Ryc. 23. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na wysokości 25 cm. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia, żółty – koniec doświadczenia oraz zielony – stare spały pochodzenia naturalnego

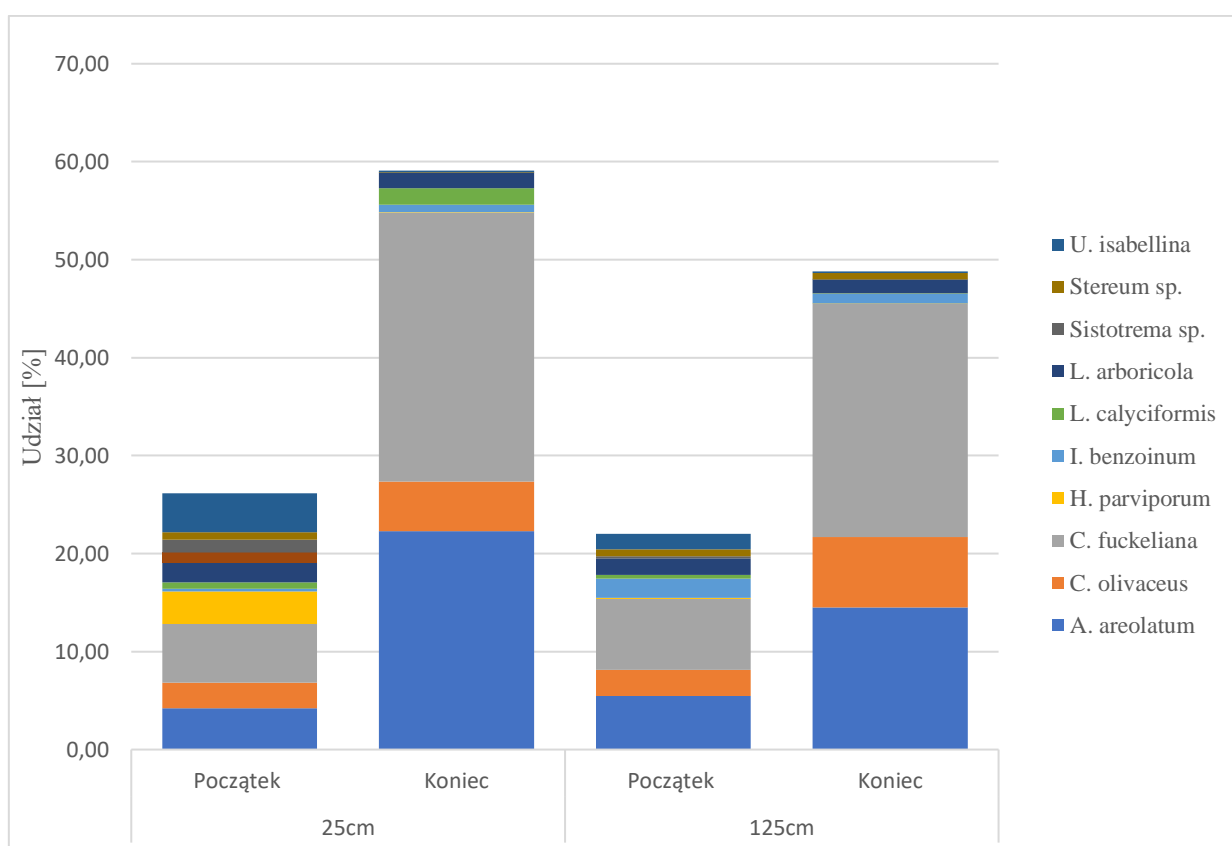
Podobne wyniki uzyskano przy porównaniu zbiorowisk grzybów i *Oomycota* ze spał powstałych w sposób naturalny oraz spał doświadczalnych wykonanych na wysokości 125 cm. W tym przypadku 35,2% taksonów było wspólnych dla zbiorowisk z ran wykonanych na wysokości 125 cm i z naturalnych spał. Unikatowe taksony występujące wyłącznie w naturalnych spałach stanowiły 18,6% wszystkich taksonów (ryc. 24).



Ryc. 24. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na wysokości 125 cm. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z początku doświadczenia, żółty – koniec doświadczenia oraz zielony – stare spały pochodzenia naturalnego

Wśród grzybów związanych z rozkładem drewna, najwyższy udział miały taksony: *C. fuckeliana* (najwyższy udział OTU w zbiorowisku grzybów), *A. areolatum*, *C. olivaceus*, *H. parviporum*, *I. benzoinum*, *L. arboricola*, *L. calyciformis*, *Sistotrema spp.*, *Stereum spp.*, oraz *Umbelopsis isabellina* (Oudem.) W. Gams, (Tab. ). Spośród wyżej wymienionych taksonów frekwencja trzech *C. fuckeliana*, *A. areolatum*, *C. olivaceus* wzrosła w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z ran w trakcie trwania doświadczenia. Udział *C. fuckeliana* w drewnie po trzech latach ekspozycji ran wzrósł z 6,03% do 27,45% w spałach wykonanych na wysokości 25 cm i z 7,28% do 23,82% na wysokości 125 cm, *A. areolatum* z 4,21% do 22,32% oraz z 5,45% do 14,51% (rany na wysokości 25 cm, i 125 cm odpowiednio) oraz *C. olivaceus* 2,59%-5,04%, oraz z 2,67% do 7,20%. W przypadku *H. parviporum*, *Sistotrema spp.*, *U. isabellina* w obu wariantach zaobserwowano zmniejszenie się udziału. Dla *H. parviporum* z 3,29% do 0,02% w drewnie ran wykonanych na wysokości 25 cm. Grzyby rodzaju *Sistotrema* były notowane wyłącznie

na początku doświadczenia, a ich udział w zbiorowisku w ranach na wysokości 25 cm wyniósł 1,34%, natomiast na wysokości 125 cm 0,25%. Frekwencja *U. isabellina* oraz *Lophium arboricola* w drewnie po trzech latach ekspozycji ran zmniejszyła się z 3,99% do 0,15%, z 2,052% do 1,583% odpowiednio na wysokości 25 cm oraz z 1,60 do 0,16% i z 1,68% do 1,40% na wysokości 125cm. Udział *Ischnoderma benzoinum* oraz *Lachnellula calyciformis* w ranach na wysokości 25 cm wzrósł z 0,3% do 0,8%, z 0,6% do 1,7% (odpowiednio), podczas gdy na wysokości 125 cm zmniejszył się z 1,96% do 0,98% (*I. benzoinum*) oraz 0,35% do 0,08% (*L. calyciformis*). (ryc. 25, tab. 5).



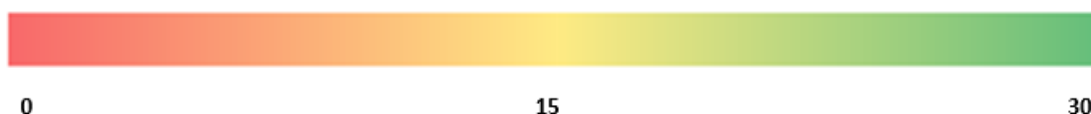
Ryc. 25. Procentowy udział najliczniejszych taksonów związanych z rozkładem drewna

Tabela 5

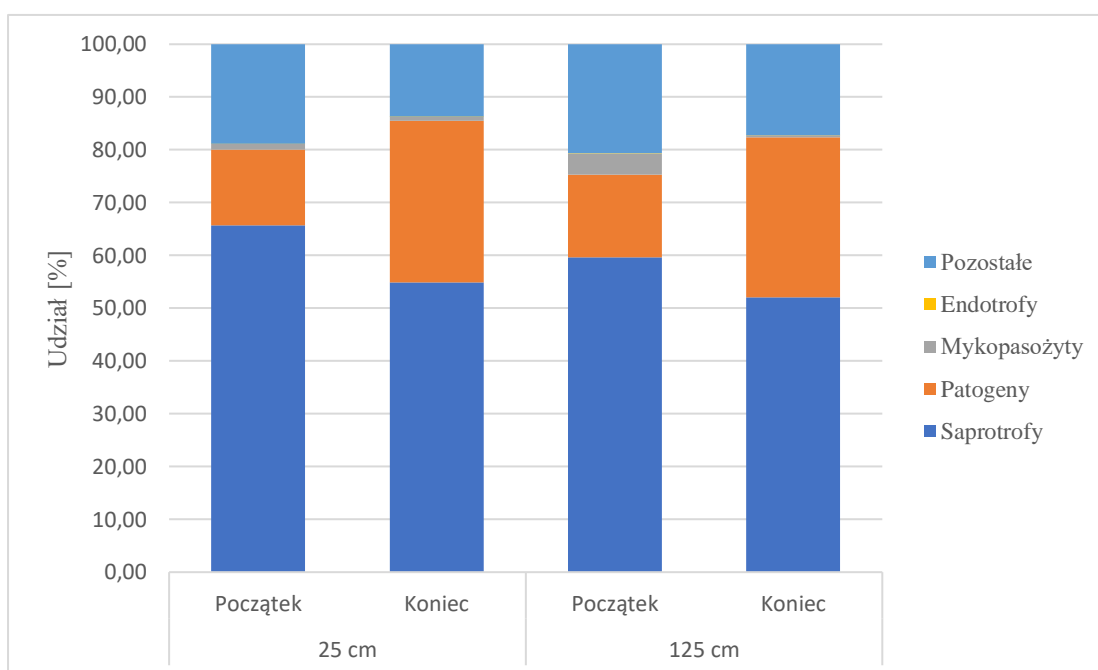
Zestawienie taksonów o udziale wynoszącym minimum 0,5% (w jednej próbie) w zbiorowiskach grzybów i *Oomycota* z drewna ran wykonanych na różnych wysokościach

L.p.	Wysokość na której wykonano ranę	25 cm		125 cm	
		Początek	Koniec	Początek	Koniec
1	<i>Amylostereum areolatum</i>	4,212	22,317	5,449	14,506
2	<i>Cladosporium</i> sp.	0,854	2,117	1,091	2,747
3	<i>Claussenomyces olivaceus</i>	2,590	5,036	2,666	7,198
4	<i>Claussenomyces</i> sp.	0,502	0,615	0,677	0,525
5	<i>Corinectria fuckeliana</i>	6,031	27,453	7,279	23,821
6	<i>Cystobasidium pinicola</i>	0,061	0,025	1,855	0,039
7	<i>Cytospora rosae</i>	0,393	0,131	0,578	1,617
8	<i>Didymella macrostoma</i>	0,150	1,461	0,125	1,465
9	<i>Heterobasidium parviporum</i>	3,286	0,023	0,112	0,008
10	<i>Ischnoderma benzoinum</i>	0,302	0,801	1,961	0,976
11	<i>Ischnoderma</i> sp.	0,511	0,124	0,595	0,149
12	<i>Kwoniella pini</i>	2,377	0,210	0,150	0,186
13	<i>Lachnellula calyciformis</i>	0,621	1,685	0,352	0,076
14	<i>Lophium arboricola</i>	2,052	1,583	1,680	1,401
15	<i>Mucor saturninus</i>	2,892	0,000	2,273	0,000
16	<i>Nectria dacryocarpa</i>	0,000	0,000	0,000	0,000
17	<i>Penicillium bialowiezense</i>	2,273	0,278	2,098	0,004
18	<i>Penicillium canescens</i>	2,597	0,090	1,885	0,963
19	<i>Penicillium cinerascens</i>	4,384	1,775	2,135	0,045
20	<i>Penicillium multicolor</i>	0,043	1,910	0,030	0,014
21	<i>Penicillium penicillioides</i>	1,709	0,036	0,104	1,089
22	<i>Pseudeurotium</i> sp.	0,136	0,026	0,314	0,044
23	<i>Rhodospordiobolus colostri</i>	0,979	0,017	0,258	0,113
24	<i>Rhodotorula</i> sp.	1,294	0,005	0,181	0,018
25	<i>Sarea difformis</i>	5,333	6,884	5,676	9,750
26	<i>Sarea resinae</i>	1,141	0,344	1,416	0,493
27	<i>Sarea</i> sp.	3,212	1,772	2,349	3,761
28	<i>Sistotrema</i> spp.	1,342	0,000	0,252	0,000
29	<i>Stegosporium protopyriforme</i>	0,113	0,003	1,167	0,004
30	<i>Stereum</i> spp.	0,748	0,021	0,684	0,664
31	<i>Sydowia polyspora</i>	0,121	1,448	0,352	1,743
32	<i>Tausonia pullulans</i>	0,117	0,146	2,521	0,159
33	<i>Umbelopsis isabellina</i>	3,994	0,151	1,600	0,162
34	<i>Vexillomyces verruculosus</i>	0,000	0,000	0,000	0,000
35	<i>Vishniacozyma victoriae</i>	1,389	0,003	0,178	0,004
36	<i>Xenochalara</i> sp.	0,228	0,050	0,199	0,086

Skala dotycząca procentowego udziału poszczególnych taksonów:



Saprotrofy dominowały w zbiorowiskach zarówno w ranach wykonanych na wysokości 25 cm, jak i 125 cm. Jednak ich udział w ranach położonych wyżej był niższy, zarówno na początku, jak i na końcu doświadczenia. Po trzech latach zaobserwowano zmniejszenie udziału saprotrofów (od 65,67% do 54,89% dla wysokości 25 cm oraz od 59,63% do 52,10% dla wysokości 125 cm). Odwrotną tendencję odnotowano w przypadku patogenów. Ich udział wzrósł dwukrotnie w obu wariantach wysokości ran – na 25 cm z 14,33% do 30,64%, a na 125 cm z 15,70% do 30,26%. Z kolei udział mykopasożytów i endotrofów w zbiorowisku zmniejszył się w obu analizowanych przypadkach (ryc. 26).

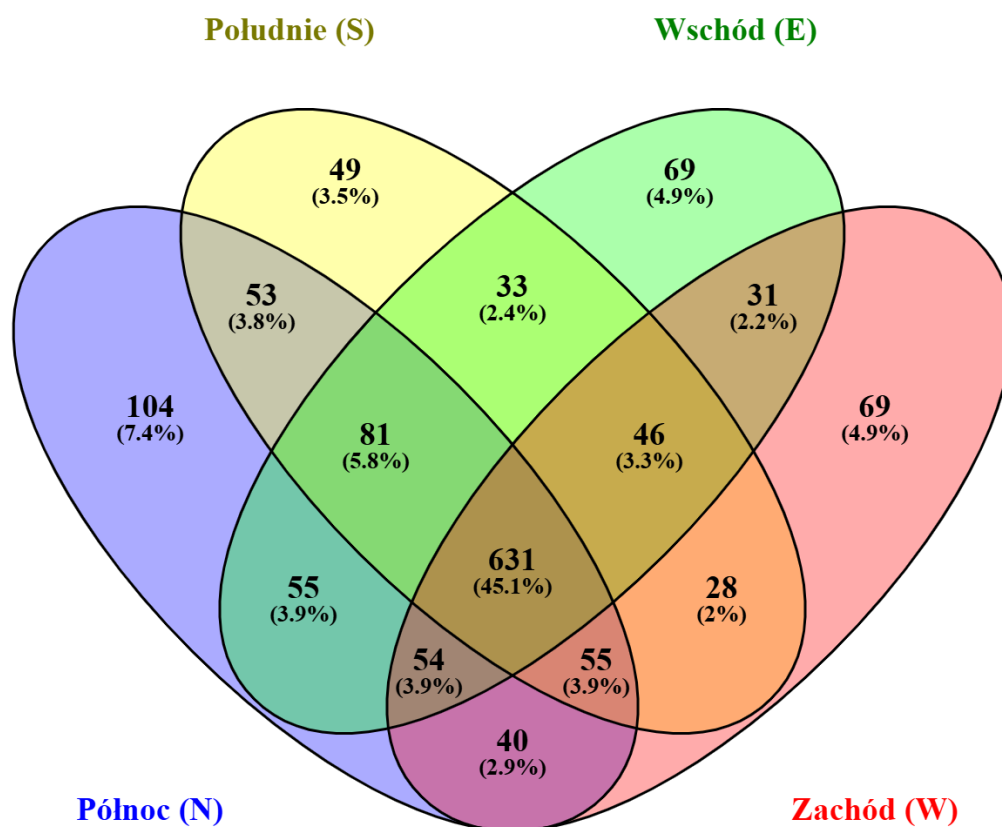


Ryc. 26. Udział poszczególnych grup troficznych w zbiorowisku grzybów i *Oomycota* w zależności od wysokości pnia na jakiej wykonano rany

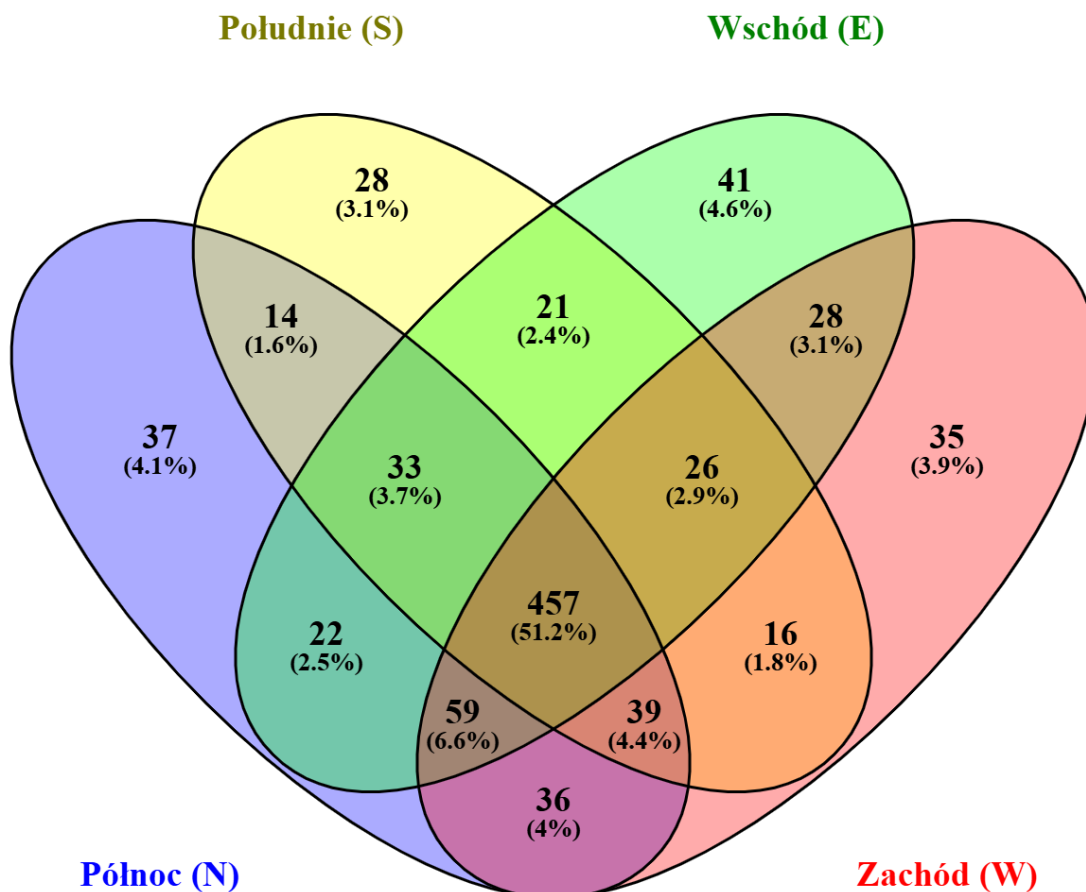
### 5.6. Taksony zasiedlające drewno sztucznych ran na pniach świerków w zależności od strony świata powstania rany na pniu

Najwięcej taksonów zidentyfikowano na początku badań w drewnie ran wykonanych od północnej i zachodniej strony pnia, w których zidentyfikowano odpowiednio 1073 i 954 taksonów, a po trzech latach liczba ich zmniejszyła się do 697 oraz 696. W zbiorowiskach grzybów i *Oomycota* stwierdzonych w drewnie ran wykonanych od południowej i wschodniej strony stwierdzono zmniejszenie liczby taksonów po trzech latach

odpowiednio z 976 do 634 oraz z 1000 do 687. W drewnie pobranym na początku doświadczenia 45,1% taksonów było wspólnych dla wszystkich wariantów (ryc. 27), natomiast po trzech latach udział ten wzrósł do 51,2%.(ryc. 28)



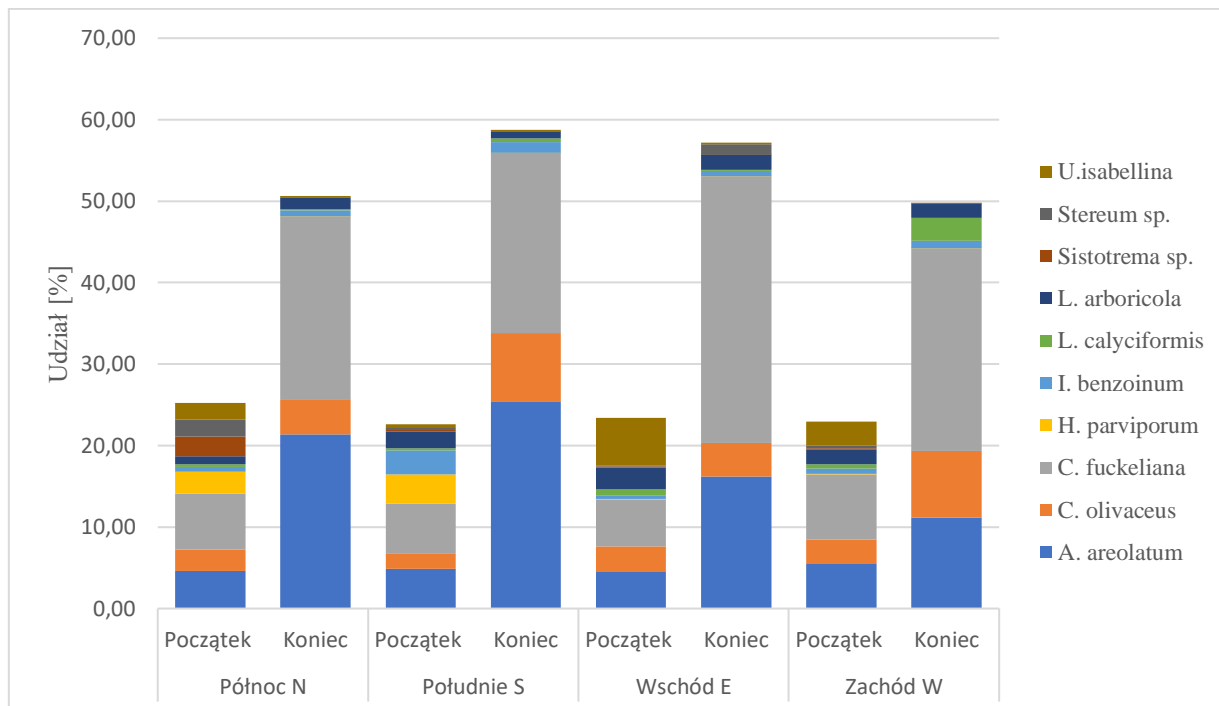
Ryc. 27. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na początku doświadczenia. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z ran wykonanych od północnej strony pnia, żółty – od południowej, zielony – od wschodniej, czerwony – od zachodniej



Ryc.28. Diagram Venna przedstawia liczbę taksonów zasiedlających drewno ran wykonanych na końcu doświadczenia. Niebieski kolor oznacza zbiorowisko pochodzące z ran wykonanych od północnej strony pnia, żółty – od południowej, zielony – od wschodniej, czerwony – od zachodniej

Analizując zbiorowiska grzybów w zależności od strony pnia z której wykonano ranę, wysoki udział miały następujące taksony: *C. fuckeliana*, *A. areolatum*, *C. olivaceus*, *H. parviporum*, *I. benzoinum*, *L. arboricola*, *L. calyciformis*, *Sistotrema* spp., *Stereum* spp., oraz *U. isabellina*. Najwięcej izolatów zidentyfikowano jako *C. fuckeliana*. Udział tego taksonu wzrósł po trzech latach od wykonania doświadczenia, niezależnie od strony pnia, z której wykonano ranę, w przypadku północnej (N) od 6,85% do 22,48%, południowej (S) od 6,18% do 22,11%, wschodniej (E) od 5,77% do 32,72% oraz zachodniej (W) od 8,01% do 24,83%. Wzrost udziału (we wszystkich zbiorowiskach) zaobserwowano także dla *A. areolatum* i *C. olivaceus*. Odwrotną tendencję zaobserwowano dla *H. parviporum*,

*Sistotrema* spp. oraz *U. isabellina*, których udział w zbiorowisku zmniejszył się w próbach pobranych na koniec doświadczenia. Udział *H. parviporum* w zbiorowiskach z drewna pobranego na początku doświadczenia był wyższy od strony północnej (2,69%) oraz południowej (3,61%) niż od wschodniej (0,07%) czy zachodniej (0,06%). Po trzech latach jego frekwencja zmniejszyła się we wszystkich badanych zbiorowiskach do poziomu nieprzekraczającego 0,035%. *Sistotrema* spp. był notowany tylko w drewnie pozyskanym na początku doświadczenia, a udział w zbiorowisku ran wykonanych od północnej strony wynosił 2,39%, południowej – 0,31%, wschodniej – 0,13% oraz zachodniej – 0,14%. Po trzech latach jedynie w drewnie ran z zachodniej strony takson ten był obecny, jednak jego udział nie przekraczał 0,001%. W przypadku *I. benzoinum*, udział jego wzrastał w zbiorowiskach drewna ran wykonanych z północnej, wschodniej i zachodniej strony, natomiast zmniejszenie udziału zaobserwowano w zbiorowiskach pobranych z ran wykonanych od strony południowej, gdzie spadł z 2,96% do 1,35%. W przypadku *Stereum* spp. frekwencja zmniejszyła się we wszystkich próbach poza pochodzącą ze wschodniej strony pnia, gdzie wzrosła od 0,11% do 1,32% (ryc. 29.) (tab. 6).



Ryc. 29. Procentowy udział najliczniejszych taksonów związanych z rozkładem drewna

Tabela 6

Zestawienie taksonów o minimalnym udziale wynoszącym minimum 0,5% (w jednej próbie) w zbiorowiskach grzybów i *Oomycota* z drewna ran wykonanych na różnej stronie pnia

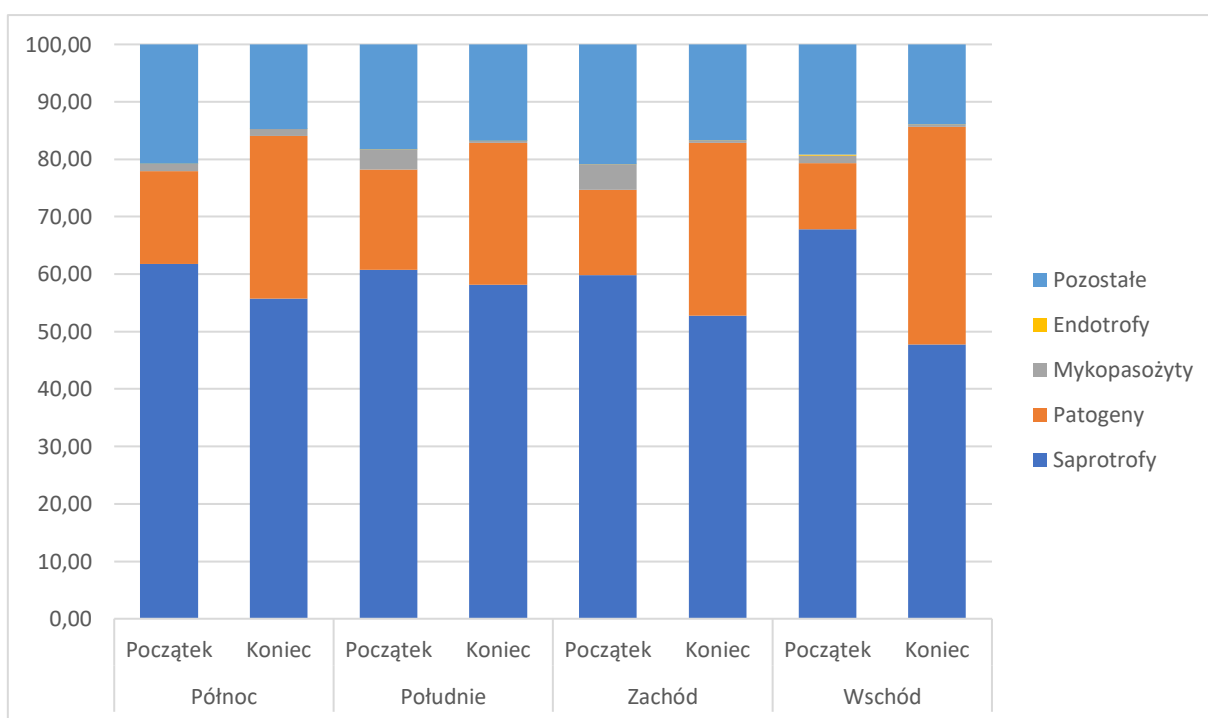
Strona pnia na której wykonano ranę	Północ N		Południe S		Wschód E		Zachód W	
	Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec
<i>Allantophomopsiella pseudoisugae</i>	0,507	0,144	0,212	0,110	0,589	0,076	1,356	0,096
<i>Amylostereum areolatum</i>	4,644	21,368	4,860	25,418	4,491	16,206	5,454	11,164
<i>Beauveria asiatica</i>	1,416	0,000	0,053	0,000	0,104	0,000	0,029	0,000
<i>Cadophora malorum</i>	0,001	0,084	0,126	0,000	0,000	0,231	1,070	0,001
<i>Cladosporium</i> sp.	0,741	2,400	0,980	1,913	1,537	1,438	0,605	3,929
<i>Claussenomyces olivaceus</i>	2,595	4,298	1,819	8,399	3,126	4,101	3,026	8,203
<i>Claussenomyces</i> sp.	0,687	0,408	0,544	1,154	0,548	0,252	0,578	0,557
<i>Corinectria fuceliana</i>	6,849	22,480	6,181	22,110	5,772	32,723	8,015	24,826
<i>Cystobasidiopsis lophatheri</i>	0,306	0,622	0,386	0,552	0,450	0,652	0,388	1,097
<i>Cystobasidium pinicola</i>	0,055	0,023	1,616	0,020	0,408	0,024	1,996	0,060
<i>Cystobasidium slooffiae</i>	0,016	0,022	0,037	0,028	0,016	0,010	1,224	0,034
<i>Cystofilobasidium capitatum</i>	0,111	0,032	0,234	0,028	0,620	0,372	1,195	0,081
<i>Cytospora rosae</i>	0,188	1,027	0,788	0,062	0,351	1,623	0,660	0,710
<i>Didymella macrostoma</i>	0,116	2,512	0,140	0,561	0,163	1,379	0,132	1,195
<i>Diplodia intermedia</i>	1,386	0,188	0,287	0,072	0,234	0,111	0,488	0,365
<i>Heterobasidion parviporum</i>	2,686	0,011	3,609	0,008	0,072	0,007	0,064	0,033
<i>Ischnoderma benzoinum</i>	0,597	0,718	2,958	1,346	0,353	0,659	0,641	0,914
<i>Ischnoderma</i> sp.	1,651	0,098	0,204	0,239	0,122	0,124	0,114	0,103
<i>Kwonilella pini</i>	0,223	0,143	0,155	0,116	4,466	0,126	0,053	0,399
<i>Lachnellula calyciformis</i>	0,364	0,106	0,238	0,395	0,835	0,118	0,512	2,830
<i>Lophium arboricola</i>	0,950	1,437	2,064	0,810	2,670	1,879	1,822	1,742
<i>Mucor saturninus</i>	4,187	0,000	5,607	0,000	0,058	0,000	0,042	0,000
<i>Nakazawaea ernobii</i>	0,302	0,045	1,355	0,109	0,168	0,098	0,293	1,083
<i>Nectria dactyocarpa</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<i>Penicillium bialowiezense</i>	1,332	0,481	2,397	0,004	1,057	0,008	4,265	0,019

Strona puia na której wykonano ranę	Północ N		Południe S		Wschód E		Zachód W	
	Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec	Początek	Koniec
<i>Penicillium canescens</i>	0,685	0,220	1,280	0,016	6,442	1,659	0,402	0,190
<i>Penicillium cinerascens</i>	7,179	1,974	2,503	0,644	0,478	0,819	2,463	0,027
<i>Penicillium multicolor</i>	0,031	3,424	0,023	0,014	0,065	0,016	0,025	0,016
<i>Penicillium penicillioides</i>	1,759	2,013	1,407	0,045	0,155	0,021	0,100	0,033
<i>Penicillium thomii</i>	0,158	0,002	0,069	0,001	1,380	0,002	0,349	0,002
<i>Phomatodes aubrietiae</i>	0,042	0,001	0,013	0,003	1,858	0,000	0,014	0,059
<i>Pseudeurotium sp.</i>	0,223	0,023	0,174	0,054	0,379	0,015	0,116	0,053
<i>Rhizosphaera oudemansii</i>	0,030	0,000	1,121	0,007	0,142	0,000	0,034	0,000
<i>Rhodosporiobolus colostri</i>	0,306	0,019	0,165	0,006	1,654	0,211	0,310	0,023
<i>Rhodotorula sp.</i>	0,131	0,005	2,044	0,032	0,490	0,010	0,223	0,004
<i>Sarea difformis</i>	4,445	6,309	6,207	9,287	5,854	7,487	5,602	10,568
<i>Sarea resiniae</i>	0,630	0,308	2,114	0,486	1,094	0,477	1,333	0,427
<i>Sarea sp.</i>	2,388	2,009	2,483	1,636	2,943	4,224	3,381	3,160
<i>Sistotrema spp.</i>	2,394	0,000	0,311	0,000	0,128	0,000	0,140	0,001
<i>Stegonsporium protopyriforme</i>	2,098	0,005	0,044	0,004	0,229	0,004	0,058	0,002
<i>Stereum spp.</i>	2,157	0,020	0,135	0,022	0,111	1,320	0,319	0,007
<i>Sydowia polyspora</i>	0,135	1,802	0,253	2,512	0,341	0,841	0,232	1,353
<i>Tausonia pulhulans</i>	0,122	0,117	0,171	0,186	0,099	0,144	5,566	0,171
<i>Umbelopsis isabellina</i>	1,992	0,202	0,433	0,248	5,813	0,186	2,943	0,000
<i>Vexillomyces verruculosus</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
<i>Vishniacozyma victorinae</i>	0,250	0,001	0,177	0,001	2,485	0,008	0,138	0,005
<i>Xenochalara sp.</i>	0,214	0,148	0,243	0,083	0,195	0,014	0,199	0,025
<i>Xenopolyscytium pinea</i>	0,221	0,011	0,255	0,004	0,221	0,002	0,190	0,023

Skala dotycząca procentowego udziału poszczególnych taksonów



W zbiorowiskach grzybów i *Oomycota* w odniesieniu do strony pnia od której wykonano ranę zaobserwowano dominację saprotrofów. Jednak wraz z upływem czasu ich udział zmniejszył się. Największe zmniejszenie udziału zaobserwowano w przypadku wschodniej strony pnia z 67,81% do 47,72%. We wszystkich zbiorowiskach udział patogenów na koniec doświadczenia zwiększył się od północnej strony z 16,17% do 28,35%, południowej z 17,47% do 24,74%, zachodniej z 14,88% do 30,09% oraz wschodniej z 11,48% do 37,93%. Udział mykopasożytów w analizowanych zbiorowiskach był najwyższy na początku doświadczenia w drewnie pochodzących z ran wykonanych od południowej (3,60%) i zachodniej strony (4,39%) (ryc. 30)



Ryc. 30. Procentowy udział poszczególnych grup troficznych w zbiorowisku grzybów i *Oomycota* w zależności od strony pnia w której wykonano rany

## 5.7. Wskaźniki bioróżnorodności

Wysoki poziom wskaźnika Good's Coverage ( $> 99,5\%$ ) dla wszystkich próbek potwierdził wysoką jakość sekwencjonowania. Analiza wyników badań wykazała istotne różnice w wartościach wybranych wskaźników bioróżnorodności (Chao1, Pielou, Shannona, Simpsona) w zależności od pory roku, etapu doświadczenia, wysokości wykonania rany i w odniesieniu do strony świata, od której rana została wykonana (tab. 7).

Tabela 7

Wyniki analizy wariancji na podstawie permutacji (PERMANOVA) dla czterech czynników: etapu doświadczenia, pory roku oraz wysokości i strony pnia na jakiej wykonano ranę dla indeksów bioróżnorodności: Chao1, Pielou, Shannona oraz Simpsona

	<b>Df</b>	<b>R2</b>	<b>F</b>	<b>Pr (&gt;F)</b>	<b>sig.</b>
<b>Indeks Chao1</b>	6	0,210	4,932	0,001	***
<b>Indeks Pielou</b>	6	0,439	14,472	0,001	***
<b>Indeks Shannona</b>	6	0,454	15,392	0,001	***
<b>Indeks Simpsona</b>	6	0,204	4,732	0,001	***

\*\*\* $p < 0,001$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*  $p < 0,05$

Wyższe wartości indeksu Chao1 zaobserwowano w próbach pobranych na początku doświadczenia w porównaniu z jego końcem. Również wyższe wartości odnotowano wiosną i jesienią, gdy ranę wykonano na wysokości 25 cm, oprócz sytuacji gdy drewno zostało pobrane z ran wykonanych od zachodniej strony pnia. Ponadto wyższe wartości indeksu Chao1 stwierdzono w przypadku ran wykonanych jesienią na wysokości 125 cm. Jedynie w przypadku wszystkich prób pobranych na początku doświadczenia wiosną, z drewna ran wykonanych na wysokości 125 cm, zaobserwowano niższą wartość indeksu Chao1 w porównaniu z końcem doświadczenia. Analiza wartości indeksu Chao1 wykazała istotne różnice w zależności od pory roku ( $p = 0,001$ ). Wyższe wartości zaobserwowano jesienią w porównaniu z wiosną. Etap doświadczenia (początek vs koniec) nie miał istotnego wpływu na wartości tego indeksu ( $p = 0,253$ ), podobnie jak wysokość wykonania rany oraz strona świata (tab. 8, 9, 10).

Wartości Indeksu Pielou w analizowanych próbach utrzymują się na poziomie około 0,4. Wyjątkiem są próby z początku doświadczenia, pobrane jesienią z drewna, w których zaobserwowano wyższe wartości (0,6-0,7). Indeks Pielou, był istotnie wyższy na początku

doświadczenia w porównaniu z końcem ( $p < 0,001$ ) oraz wiosną w porównaniu z jesienią ( $p < 0,001$ ). Wyższe wartości zaobserwowano również dla ran na wysokości 125 cm w porównaniu z 25 cm ( $p = 0,027$ ). Jedyne strona pnia na której wykonano ranę nie wpływała istotnie na ten wskaźnik. Podobne wyniki otrzymano w przypadku indeksu Shannona. Tutaj wyższe wartości (powyżej 3), zaobserwowano w drewnie pobranym z prób jesienią na koniec doświadczenia (np. 4,4 w przypadku jesieni na wysokości 125 cm). W próbach pobranych wiosną zaobserwowano niższe wartości wskaźnika (poniżej 2). Różnice w wartości indeksu Shannona podobnie jak indeksu Pielou były istotne zarówno w zależności od pory roku, jak i etapu doświadczenia ( $p < 0,001$ ). Efekt wysokości na jakiej wykonano rany również był istotny ( $p = 0,038$ ), z wyższymi wartościami dla ran na wysokości 125 cm. Natomiast strona pnia, na której wykonano ranę, nie miała znaczącego wpływu na różnice w strukturze zbiorowisk. W omawianym badaniu wartości indeksu Simpsona powyżej 0,9 zaobserwowano w próbach pobranych jesienią na początku doświadczenia, w przypadku ran wykonanych na wysokości 125 cm, natomiast najniższe wartości odnotowano wiosną, na końcu doświadczenia, przy ranie wykonanej na wysokości 25 cm. Niższe wartości indeksu Simpsona wskazują na mniejszą różnorodność zbiorowisk grzybów oraz *Oomycota*. Stwierdzono istotne różnice w wartościach tego indeksu pomiędzy etapami doświadczenia (początek a koniec) oraz porami roku, kiedy zbierano materiał. Dodatkowo wysokość rany miała istotny wpływ na wyniki ( $p = 0,012$ ), z wyższą różnorodnością na wysokości 125 cm (tab. 8, 9, 10).

Tabela 8

Średnie wartości indeksów bioróżnorodności: Chao1, Pielou, Shannona oraz Simpsona dla czterech czynników: etapu doświadczenia, pory roku oraz wysokości 25 cm i strony pnia na jakiej wykonano ranę

Indeks Chao1	Wysokość rany	25 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	286,08	270,87	296,73	303,75	347,41	380,76	340,25	330,94
	odch.stand.	71,89	93,31	51,69	94,08	61,39	130,97	93,04	52,01
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	281,81	259,47	291,41	334,51	311,51	328,53	292,23	335,09
	odch.stand.	37,19	51,42	90,15	64,05	36,67	27,42	52,10	69,91
Indeks Pielou	Wysokość rany	25 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	0,43	0,42	0,40	0,49	0,47	0,63	0,58	0,60
	odch.stand.	0,00	0,06	0,09	0,10	0,13	0,14	0,30	0,20
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	0,31	0,27	0,27	0,39	0,36	0,42	0,41	0,43
	odch.stand.	0,04	0,13	0,19	0,08	0,10	0,10	0,10	0,03
Indeks Shannona	Wysokość rany	25 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	1,68	1,41	1,54	2,18	2,00	2,41	2,24	2,39
	odch.stand.	0,24	0,67	1,14	0,38	0,57	0,58	0,58	0,19
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	2,32	2,28	2,19	2,73	2,70	3,64	3,34	3,44
	odch.stand.	0,14	0,43	0,50	0,46	0,82	0,94	1,77	1,13

Indeks Simpsona	Wysokość rany	25 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	0,79	0,80	0,78	0,87	0,74	0,91	0,77	0,84
	odch.stand.	0,11	0,10	0,10	0,05	0,14	0,07	0,35	0,17
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	0,65	0,53	0,53	0,77	0,70	0,81	0,78	0,83
	odch.stand.	0,03	0,25	0,36	0,07	0,17	0,13	0,11	0,03

Tabela 9

Średnie wartości indeksów bioróżnorodności: Chao1, Pielou, Shannona oraz Simpsona dla czterech czynników: etapu doświadczenia, pory roku oraz wysokości 125 cm i strony pnia na jakiej wykonano ranę

Indeks Chao 1	Wysokość rany	125 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	311,86	274,94	264,58	322,33	429,11	396,92	386,29	358,31
	odch.stand.	103,43	103,09	103,99	105,20	30,49	124,51	58,97	56,06
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	323,21	309,76	298,26	354,47	302,28	324,42	332,76	323,78
	odch.stand.	26,94	40,20	76,97	33,67	38,05	72,83	87,41	69,54
	Indeks Pielou	Wysokość rany	125 cm						
Pora roku		Wiosna				Jesień			
Strona świata		E	N	S	W	E	N	S	W
<b>Etap</b>		<b>Początek</b>							
Średnia wartość		0,52	0,38	0,49	0,40	0,71	0,59	0,74	0,78
odch.stand.		0,15	0,05	0,10	0,09	0,16	0,17	0,12	0,08
<b>Etap</b>		<b>Koniec</b>							
Średnia wartość		0,44	0,42	0,35	0,39	0,41	0,42	0,43	0,46
odch.stand.		0,05	0,09	0,09	0,08	0,06	0,04	0,02	0,04
Indeks Shannona		Wysokość rany	125 cm						
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	<b>Etap</b>	<b>Początek</b>							
	Średnia wartość	2,45	2,31	1,88	2,17	2,29	2,37	2,44	2,53
	odch.stand.	0,35	0,55	0,62	0,45	0,38	0,27	0,21	0,23
	<b>Etap</b>	<b>Koniec</b>							
	Średnia wartość	2,80	2,09	2,61	2,26	4,12	3,41	4,32	4,45
	odch.stand.	0,56	0,39	0,27	0,62	0,85	1,09	0,58	0,52

Indeks Simpsona	Wysokość rany	125 cm							
	Pora roku	Wiosna				Jesień			
	Strona świata	E	N	S	W	E	N	S	W
	Etap	Początek							
	Średnia wartość	0,88	0,75	0,86	0,74	0,94	0,85	0,95	0,96
	odch.stand.	0,05	0,13	0,01	0,21	0,06	0,17	0,04	0,03
	Etap	Koniec							
	Średnia wartość	0,83	0,80	0,74	0,75	0,78	0,83	0,83	0,85
	odch.stand.	0,07	0,12	0,11	0,11	0,10	0,05	0,03	0,04

Tabela 10

Wyniki analizy wariancji na podstawie permutacji (PERMANOVA) dla poszczególnych czynników

Indeks Chaol		Sums of Sq	F, Model	R <sup>2</sup>	p.value	sig
	początek vs koniec	0,019	1,262	0,011	0,253	
	jesień vs wiosna	0,150	10,81	0,090	0,001	***
	strona świata	0,004	0,222	0,004	0,770	
	125 cm vs 25 cm	0,023	1,513	0,128	0,213	
Indeks Pielou		Sums of Sq	F, Model	R <sup>2</sup>	p.value	sig
	początek vs koniec	0,489	22,396	0,162	0,001	***
	jesień vs wiosna	0,400	19,430	0,140	0,001	**
	strona świata	0,036	0,461	0,011	0,779	
	125 cm vs 25 cm	0,107	4,274	0,355	0,027	*
Shannona Indeks		Sums of Sq	F, Model	R <sup>2</sup>	p.value	sig
	początek vs koniec	20,549	29,909	0,204	0,001	***
	jesień vs wiosna	16,747	23,190	0,167	0,001	***
	strona świata	0,373	0,142	0,004	0,935	
	125 cm vs 25 cm	3,591	4,297	0,036	0,038	*
Simpsona Indeks		Sums of Sq	F, Model	R <sup>2</sup>	p.value	sig
	początek vs koniec	0,166	8,307	0,067	0,003	***
	jesień vs wiosna	0,143	7,077	0,057	0,006	**
	strona świata	0,228	0,352	0,009	0,779	
	125 cm vs 25 cm	0,134	6,636	0,541	0,012	*

\*\*\* p < 0,001; \*\* p < 0,01; \* p < 0,05

## 5.8. Zmiany i interakcje pomiędzy zbiorowiskami grzybów i *Oomycota*

Przeprowadzona analiza permutacyjna wariacji (PERMANOVA) wykazała istotne różnice w zbiorowiskach grzybów i *Oomycota* między próbkami zebranymi na początku eksperymentu a próbkami pobranymi po 3 latach od jego rozpoczęcia (Etap = początek-koniec) ( $F = 21,63$ ,  $p < 0,001$ ). Istotne różnice zaobserwowano również pomiędzy zbiorowiskami zebranymi w różnych porach roku (Pora roku) ( $F = 20,56$ ,  $p < 0,001$ ). Natomiast czynniki takie jak wysokość wykonania rany ( $F = 1,32$ ,  $p = 0,25$ ) oraz strona pnia, na której wykonano ranę ( $F = 0,89$ ,  $p = 0,48$ ), nie miały istotnego wpływu na strukturę zmienności. Istotną interakcję zaobserwowano między zmiennymi Etap i Pora roku ( $F = 22,12$ ,  $p < 0,001$ ), co sugeruje, że wpływ Etapu na zmienność zależy od pory roku. Pozostałe interakcje, w tym Etap – Strona świata oraz Pora roku – Strona świata, nie były istotne ( $p > 0,05$ ), (tab. 11).

Tabela 11

Wyniki analizy PERMANOVA zbiorowisk grzybów dla poszczególnych zmiennych

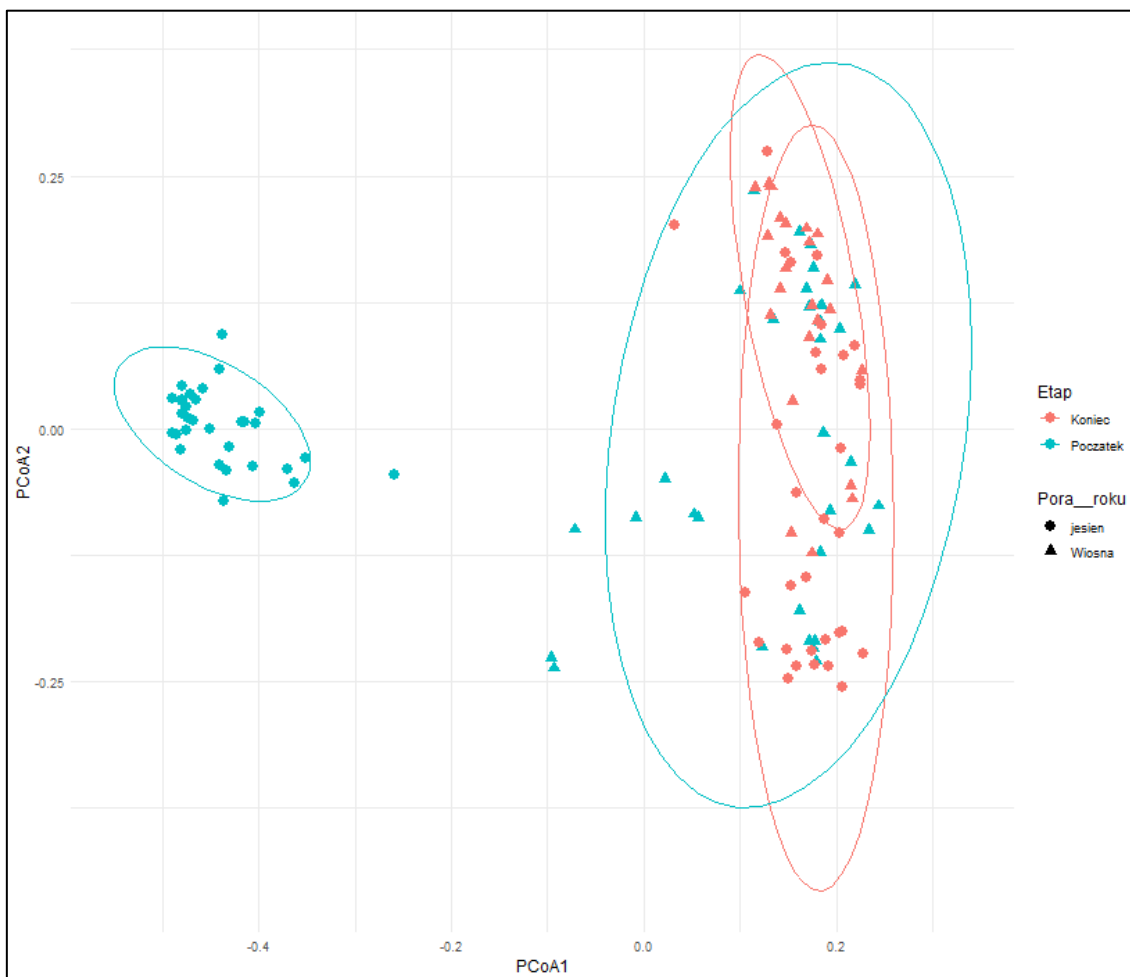
	DF	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR (>F)	
ETAP	1	3,236	3,236	21,628	0,126	0,001	***
PORA ROKU	1	3,076	3,076	20,564	0,119	0,001	***
WYSKOŚĆ RANY	1	0,197	0,197	1,316	0,008	0,181	
STRONA ŚWIATA	3	0,398	0,133	0,888	0,015	0,605	
ETAP X PORA ROKU	1	3,309	3,309	22,121	0,128	0,001	***
ETAP X WYSKOŚĆ RANY	1	0,149	0,149	0,996	0,006	0,336	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,125	0,125	0,836	0,005	0,548	
ETAP X STRONA ŚWIATA	3	0,357	0,119	0,797	0,014	0,764	
PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,365	0,122	0,813	0,014	0,729	
WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,299	0,100	0,667	0,012	0,947	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,117	0,117	0,779	0,005	0,597	
ETAP X PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,351	0,117	0,783	0,014	0,780	
ETAP X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,307	0,102	0,684	0,012	0,935	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,306	0,102	0,682	0,012	0,935	

	DF	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR (>F)	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,309	0,103	0,688	0,012	0,921	
POZOSTAŁOŚCI	86	12,865	0,150		0,499		
SUMA	117	25,767			1,000		
<b>POZIOM ISTOTNOŚCI: **** 0.001 *** 0.01 * 0.05 ' 0.1 ' ' 1</b>							

Po przeprowadzeniu analizy PERMANOVA, która wykazała istotne różnice w strukturze zbiorowisk grzybów i *Oomycota*, zastosowano analizę głównych składowych (PCoA) w celu dalszego zbadania wpływu czynników oraz wizualizacji rozkładu próbek w przestrzeni wielowymiarowej. Na podstawie wykresu PCoA uwzględniającego dwa czynniki istotne statystycznie (Etap oraz Pora roku, w której pobrano próbki) potwierdzono istotne różnice w strukturze zbiorowisk grzybów i *Oomycota*. Punkty reprezentujące próbki zebrane na początku eksperymentu w terminie jesiennym (kolor niebieski, elipsa turkusowa) były wyraźnie oddzielone od próbek pobranych na końcu (kolor czerwony, elipsa czerwona), co sugeruje znaczące zmiany w składzie zbiorowisk na przestrzeni trzech lat. Elipsy dla tych dwóch grup nie nakładały się, co wskazuje na istotne różnice w zbiorowiskach pomiędzy tymi dwoma punktami czasowymi. Dodatkowo, głównym wymiarem różnicującym te grupy była oś PCoA1 (oś X), która wykazała wyraźną separację próbek wzdłuż tej osi, co potwierdza znaczenie momentu pobrania próbki (Etap) w kształtowaniu struktury zbiorowisk (ryc. 31).

W kontekście zmiennej Pora roku, reprezentowanej przez różne symbole (koła dla jesieni, trójkąty dla wiosny), nie zaobserwowano wyraźnego rozdzielania między punktami reprezentującymi próbki pobrane w różnych porach roku. W obrębie doświadczenia zakładanego na wiosnę (początek i koniec) pobrane próbki były rozmieszczone blisko siebie, a elipsy dla Pory roku nakładały się, co sugeruje, że zmienność związana z porą roku miała mniejszy wpływ na strukturę zbiorowisk niż zmiany wynikające z etapu badania (Etap). Dodatkowo, analiza rozmieszczenia punktów w przestrzeni PCoA ujawnia, że grupa prób pobranych na początku doświadczenia charakteryzowała się bardziej skoncentrowaną elipsą, co wskazuje na mniejszą zmienność wewnętrzną (mniejsze zróżnicowanie próbek). W przeciwieństwie do tego, grupa prób zebranych na końcu doświadczenia miała szerszą elipsę, co sugeruje większe zróżnicowanie w obrębie tej grupy (ryc. 31). Zmiany te mogą

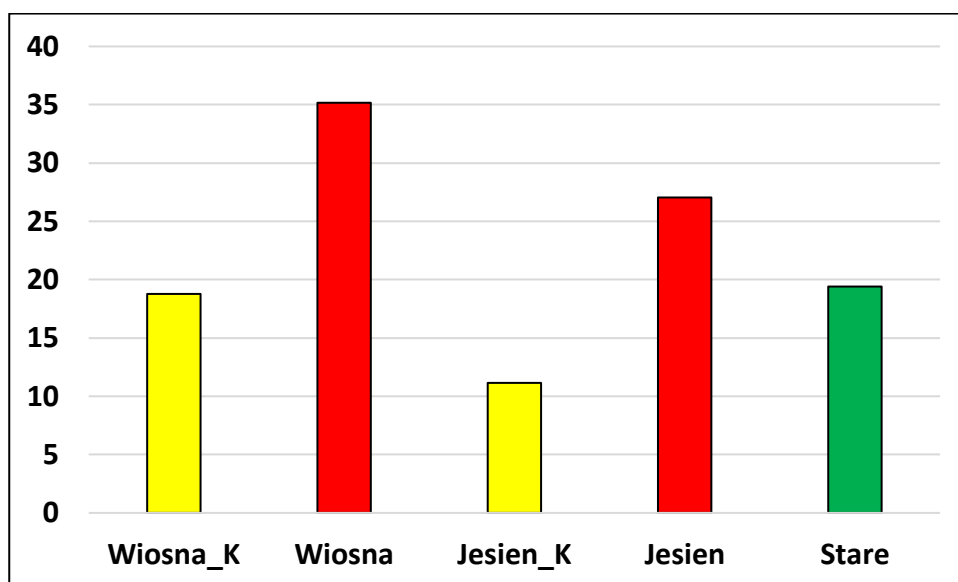
świadczyć o tym, że struktura zbiorowisk stała się bardziej zróżnicowana na końcowym etapie badania w porównaniu do początku doświadczenia.



Ryc. 31. Rozmieszczenie punktów w przestrzeni PCoA reprezentujące pobrane próby na początku i końcu doświadczenia oraz w dwóch terminach jego założenia

Wyniki analizy PERMANOVA oraz wykres PCoA wskazują na istotne statystycznie różnice w strukturze patogenów w zależności od uwzględnionych czynników. Statystycznie istotne różnice uzyskano dla zbiorowisk patogenów pomiędzy początkiem a końcem doświadczenia (Etap  $R^2 = 0,11071$ ,  $p < 0,001$ ) oraz pory roku kiedy wykonano ranę (Wiosna vs. Jesień;  $R^2 = 0,03726$ ,  $p = 0,007$ ). Obserwowano zwiększenie udziału patogenów w zbiorowiskach grzybów izolowanych z ran po trzech latach ich ekspozycji (ryc. 32). Wysokość pnia na której wykonano rany ( $R^2 = 0,02121$ ,  $p = 0,058$ ) wskazuje na pewien trend, choć nie osiąga progu istotności statystycznej. Natomiast Strona pnia, od której wykonano ranę ( $R^2 = 0,01063$ ,  $p = 0,835$ ), nie miała wpływu na różnorodność patogenów

co wskazuje na brak związku z lokalizacją rany. Interakcja (stosunek) Etapu i Pory roku była również istotna ( $R^2 = 0,02247$ ,  $p = 0,033$ ), co wskazuje, że wpływ jednego czynnika zmienia się w zależności od drugiego (tab. 12), (ryc. 33).



Ryc. 32. Procentowy udział patogenów w zbiorowiskach grzybów w różnych terminach izolowania

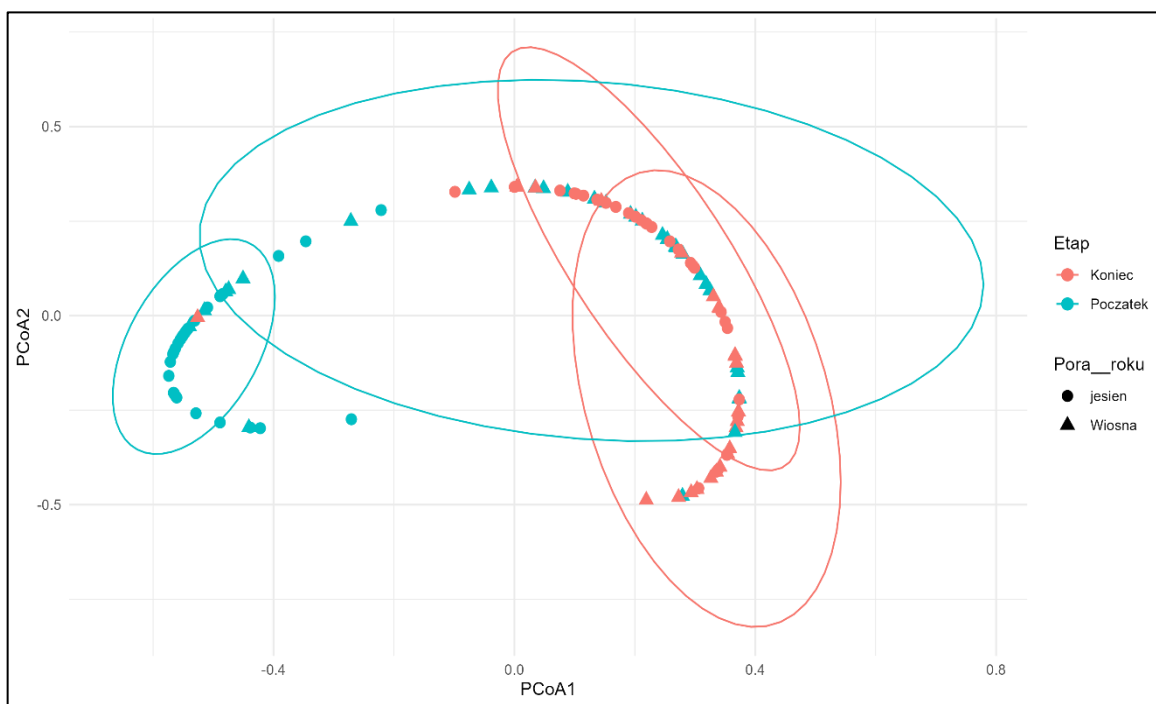
Tabela 12

Wyniki analizy PERMANOVA zbiorowiska patogenów dla poszczególnych zmiennych

	DF	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR(>F)	
ETAP	1	0,25126	0,251257	15,345	0,11071	0,001	***
PORA ROKU	1	0,08457	0,084568	5,1648	0,03726	0,007	**
WYSKOŚĆ RANY	1	0,4813	0,048132	2,9395	0,02121	0,058	
STRONA ŚWIATA	3	0,02412	0,008041	0,4911	0,01063	0,835	
ETAP X PORA ROKU	1	0,05099	0,050994	3,1144	0,02247	0,033	*
ETAP X WYSKOŚĆ RANY	1	0,1504	0,015043	0,9187	0,00663	0,392	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,01507	0,015067	0,9202	0,00664	0,419	
ETAP X STRONA ŚWIATA	3	0,0569	0,018965	1,1583	0,02507	0,346	
PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,5252	0,017523	1,0702	0,02316	0,381	
WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,03625	0,012082	0,7379	0,01597	0,612	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,08375	0,083749	5,1148	0,0369	0,008	*

	Df	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR (>F)	
ETAP X PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,02531	0,008435	0,5152	0,01115	0,798	
ETAP X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,02127	0,007088	0,4329	0,00937	0,872	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,03925	0,013083	0,799	0,01729	0,586	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,05685	0,018951	1,1574	0,02505	0,344	
POZOSTAŁOŚCI	86	1,40816	0,016374		0,62048		
SUMA	117	2,26947			1		

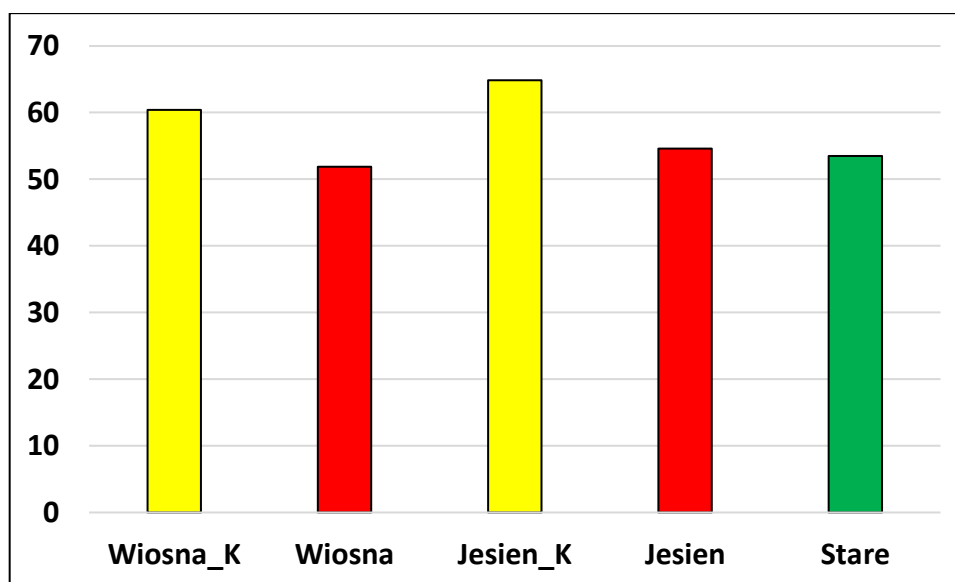
POZIOM ISTOTNOŚCI: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 '' 1



Ryc. 33. Rozmieszczenie punktów w przestrzeni PCoA reprezentujące pobrane próby patogenów na początku i końcu doświadczenia oraz w dwóch terminach jego założenia

W przypadku saprotrofów analiza PERMANOVA potwierdziła kluczowy wpływ etapu wykonania doświadczenia ( $R^2 = 0,15655$ ,  $p < 0,001$ ) oraz pory roku, kiedy wykonano doświadczenie ( $R^2 = 0,17655$ ,  $p < 0,001$ ) na różnorodność tej grupy troficznej. Stwierdzono zmniejszenie udziału saprotrofów w drewnie ran zbiorowiska grzybów po trzech latach

ekspozycji (ryc. 34). Wysokość pnia na której wykonano ranę ( $R^2 = 0,00691$ ,  $p = 0,267$ ) oraz strona pnia ( $R^2 = 0,00929$ ,  $p = 0,784$ ) nie wykazały istotnych różnic (tab. 13). Wyniki wykresu PCoA ukazały wyraźne separacje grup na podstawie Etapu i Pory roku, co jest zgodne z wynikami PERMANOVA. Interakcja tych zmiennych (Etap – Pora roku) była również istotna ( $R^2 = 0,09259$ ,  $p < 0,001$ ), co wskazuje na istotne różnice w strukturze saprotrofów w różnych kombinacjach Etapu i Pory roku (ryc. 35).

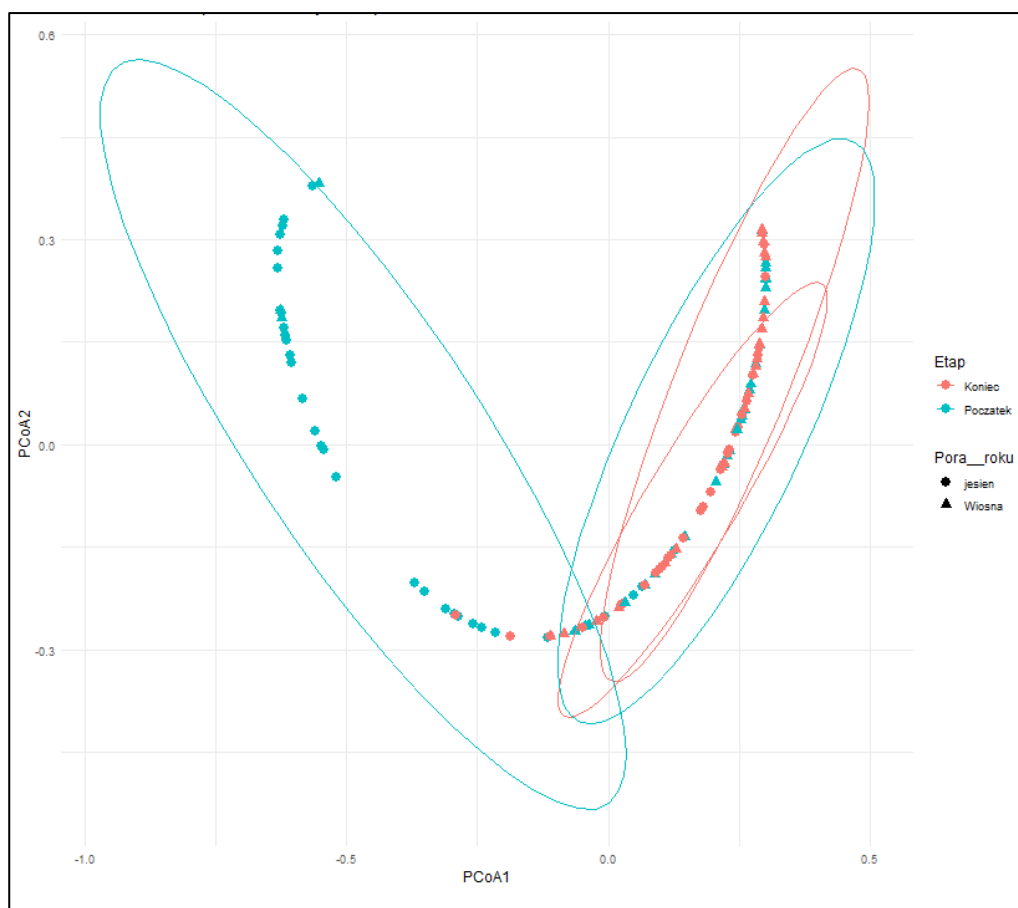


Ryc. 34. Procentowy udział saprotrofów w zbiorowiskach grzybów w różnych terminach izolowania

Tabela 13

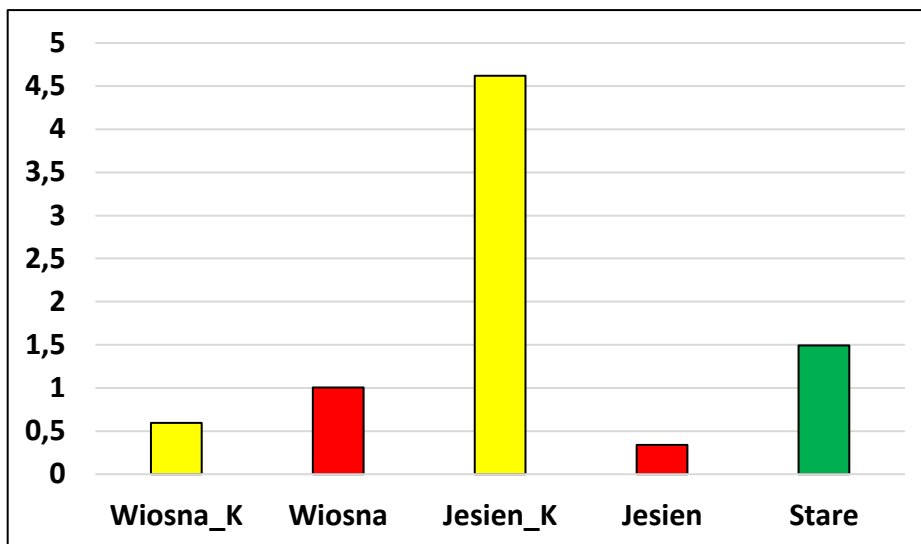
Wyniki analizy PERMANOVA zbiorowiska patogenów dla poszczególnych zmiennych

	DF	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR(>F)	
ETAP	1	2,891	2,891	28,396	0,15655	0,001	***
PORA ROKU	1	3,2604	3,2064	32,025	0,17655	0,001	***
WYSKOŚĆ RANY	1	0,1276	0,1276	1,253	0,00691	0,267	
STRONA ŚWIATA	3	0,1716	0,0572	0,562	0,00929	0,784	
ETAP X PORA ROKU	1	1,7098	1,7098	16,794	0,09259	0,001	***
ETAP X WYSKOŚĆ RANY	1	0,1199	0,1199	1,178	0,00649	0,286	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,0789	0,0789	0,775	0,00427	0,467	
ETAP X STRONA ŚWIATA	3	0,2293	0,0764	0,751	0,01242	0,601	
PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,3299	0,11	1,08	0,01787	0,369	
WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,1488	0,0496	0,487	0,00806	0,827	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,302	0,0302	0,296	0,00163	0,787	
ETAP X PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,2597	0,0866	0,85	0,01406	0,519	
ETAP X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,0537	0,0179	0,176	0,00291	0,991	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,1376	0,0459	0,451	0,00745	0,847	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,163	0,0543	0,534	0,00883	0,823	
POZOSTAŁOŚCI	86	8,7555	0,1018		0,47412		
SUMA	117	18,4669			1		
POZIOM ISTOTNOŚCI: 0 '****' 0.001 '***' 0.01 '**' 0.05 '.' 0.1 '' 1							



Ryc. 35. Rozmieszczenie punktów w przestrzeni PCoA reprezentujące pobrane próby saprotrofów na początku i końcu doświadczenia oraz w dwóch terminach jego założenia

W przypadku mykopasożytów obserwowano zwiększenie ich udziału w zbiorowisku grzybów po trzech latach w drewnie ran wykonanych na wiosnę. Natomiast w przypadku jesiennego terminu wykonania doświadczenia stwierdzono sytuację odwrotną, mianowicie zmniejszeniu udziału mykopasożytów w zbiorowisku grzybów (ryc. 36). Istotne statystycznie różnice w strukturze mykopasożytów stwierdzono na początku i na końcu wykonania doświadczenia (Etap ( $R^2 = 0,157$ ,  $p < 0,001$ )) oraz w zależności od pory roku, w której wykonano ranę (Pora roku ( $R^2 = 0,177$ ,  $p < 0,001$ )). Pozostałe zmienne tj. Wysokość wykonania rany ( $R^2 = 0,007$ ,  $p = 0,293$ ) i Strona pnia ( $R^2 = 0,009$ ,  $p = 0,757$ ), nie miały istotnego wpływu co potwierdzają wyniki wykresu PCoA, wskazujące na brak separacji grup w odniesieniu do tych czynników (tab. 14, ryc. 37).



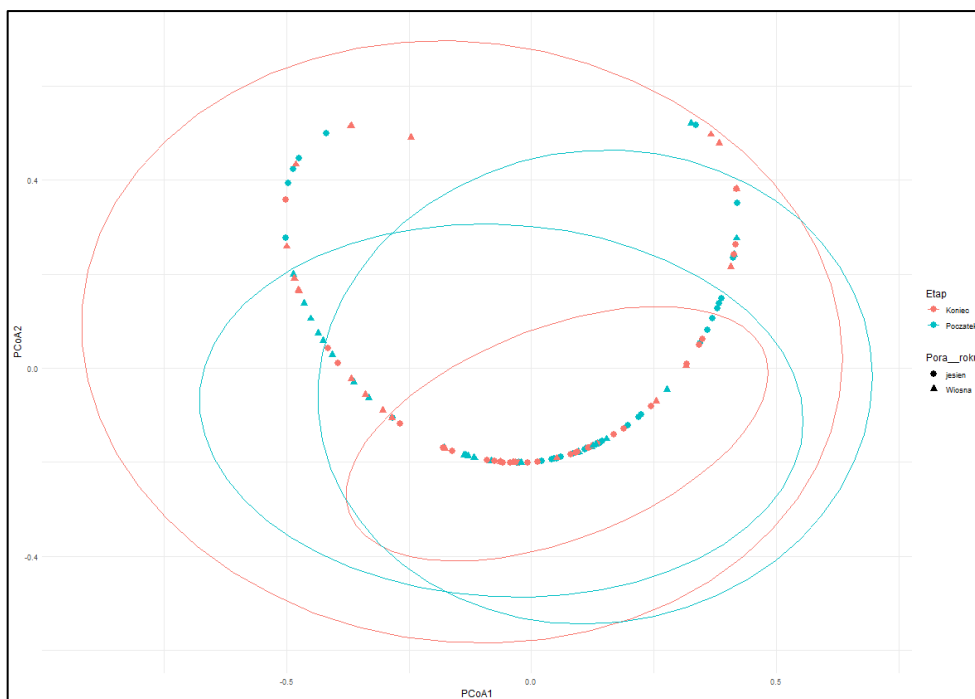
Ryc. 36. Procentowy udział mykopasożytów w zbiorowiskach grzybów w różnych terminach izolowania

Tabela 14

Wyniki analizy PERMANOVA zbiorowiska mykopasożytów dla poszczególnych zmiennych

	DF	SUMS OF SQS	MEAN SQS	F MODEL	R2	PR(>F)	
ETAP	1	2,891	2,891	28,396	0,15655	0,001	***
PORA ROKU	1	3,2604	3,2064	32,025	0,17655	0,001	***
WYSKOŚĆ RANY	1	0,1276	0,1276	1,253	0,00691	0,293	
STRONA ŚWIATA	3	0,1716	0,0572	0,562	0,00929	0,757	
ETAP X PORA ROKU	1	1,7098	1,7098	16,794	0,09259	0,001	***
ETAP X WYSKOŚĆ RANY	1	0,1199	0,1199	1,178	0,00649	0,274	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,0789	0,0789	0,775	0,00427	0,437	
ETAP X STRONA ŚWIATA	3	0,2293	0,0764	0,751	0,01242	0,607	
PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,3299	0,11	1,08	0,01787	0,363	
WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,1488	0,0496	0,487	0,00806	0,842	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY	1	0,302	0,0302	0,296	0,00163	0,736	
ETAP X PORA ROKU X STRONA ŚWIATA	3	0,2597	0,0866	0,85	0,01406	0,512	
ETAP X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,0537	0,0179	0,176	0,00291	0,989	
PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,1376	0,0459	0,451	0,00745	0,838	
ETAP X PORA ROKU X WYSKOŚĆ RANY X STRONA ŚWIATA	3	0,163	0,0543	0,534	0,00883	0,782	
POZOSTAŁOŚCI	86	8,7555	0,1018		0,47412		
SUMA	117	18,4669			1		

POZIOM ISTOTNOŚCI: 0 \*\*\*\* 0.001 \*\*\* 0.01 \*\* 0.05 ' 0.1 ' ' 1



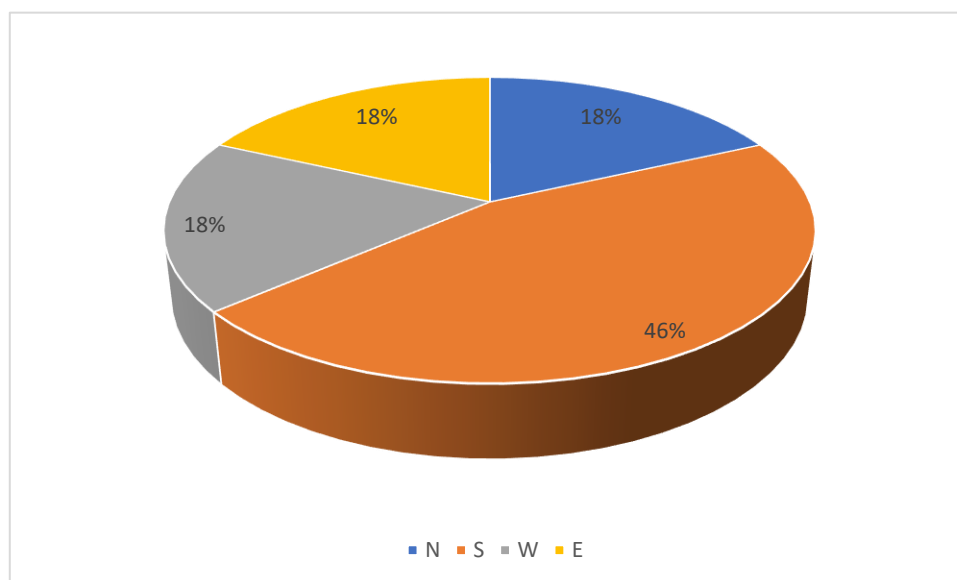
Ryc. 37. Rozmieszczenie punktów w przestrzeni PCoA reprezentujące pobrane próby mykopasożytów na początku i końcu doświadczenia oraz w dwóch terminach jego założenia

## 5.9. Zmiany występowania wybranych taksonów grzybów w drewnie spał

### Grzyby powodujące zgniliznę drewna

W momencie założenia powierzchni badawczej *Heterobasidion parviporum* wyizolowano z drewna świeżo powstałych ran w 18 kombinacjach doświadczenia tzn. wysokość x kierunek świata x termin wykonania rany. W przypadku 6 kombinacji ran wykonanych na wiosnę stwierdzono obecność w drewnie korzeniowca drobnoporego, w dwóch przypadkach na wysokości 25 cm, a w czterech na wysokości 125 cm. W kombinacjach, które założono jesienią *H. parviporum* stwierdzono w drewnie w 12 przypadkach, przy czym w 7 na wysokości 25 cm. Po trzech latach ekspozycji ran *H. parviporum* stwierdzono w 26 kombinacjach doświadczenia wysokość x kierunek świata x termin wykonania rany. W przypadku ran powstałych na wiosnę patogena wyizolowano z drewna pochodzącego z 15 kombinacji doświadczenia, przy czym w 6 przypadkach było to potwierdzone zasiedlenie ran przez *H. parviporum* w czasie trzyletniej ekspozycji. Nowe porażenia obserwowano w ranach od strony północnej,

południowej i zachodniej na obu wysokościach, a od strony wschodniej tylko na wysokości 25 cm. Analiza drewna ran wykonanych jesienią potwierdziła skuteczną infekcję drewna przez patogena tylko w dwóch przypadkach (strona południowa 125 cm, wschodnia 25 cm), w 9 kombinacjach potwierdzono obecność patogena w drewnie. Z kolei w trzech przypadkach nie potwierdzono obecności grzybni *H. parviporum* na końcu eksperymentu. Najwięcej zakażeń ran przez korzeniowca dorobnoporego stwierdzono od południowej strony świata (ryc. 38).

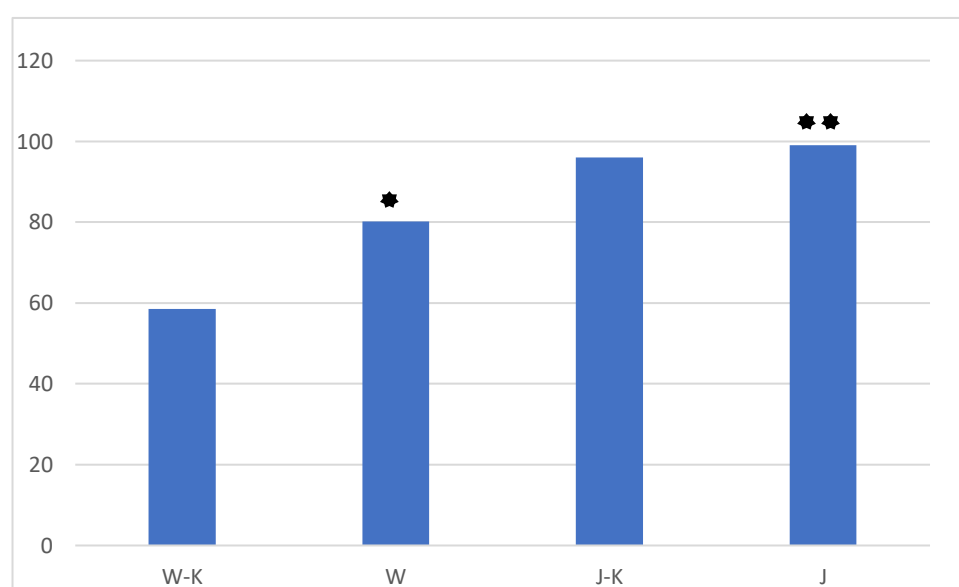


Ryc. 38. Procentowy udział izolatów *H. parviporum* w ranach w zależności od kierunku świata w wykinanych ranach

*Heterobasidion parviporum* stwierdzono w drewnie drzew na wszystkich powierzchniach badawczych. W kombinacji ran wykonanych wiosną po trzech latach ekspozycji nie stwierdzono ran zasiedlonych przez korzeniowca drobnoporego w pododdziale 83f w ranach wykonanych od strony północnej na wysokości 25 cm, w pododdziale 184g od strony wschodniej na wysokości 125 cm oraz zachodniej na obu wysokościach, natomiast w pododdziale 194f w ranach wykonanych od strony wschodniej na obu wysokościach i północnej na wysokości 125 cm. Procentowy udział izolatów w ranach nowo zasiedlonych wyniósł 38,3% w stosunku do wszystkich izolatów patogena po trzech latach ekspozycji ran wykonanych wiosną. Z kolei w kombinacji ran wykonanych jesienią na końcu doświadczenia grzybnię patogena w drewnie ran stwierdzono tylko w jednej kombinacji w pododdziale 83f (strona południowa, 25 cm), trzech kombinacjach w pododdziale 100g (strona południowa 25 i 125 cm, północna 125 cm), trzech

kombinacjach w pododdziale 184g (strona północna, południowa i zachodnia każdorazowo na wysokości 25 cm) oraz czterech kombinacjach w pododdziale 194f (strona północna i wschodnia na obu wysokościach). Procentowy udział izolatów w ranach nowo zasiedlonych wyniósł 27,8 % w stosunku do wszystkich izolatów patogena po trzech latach ekspozycji ran wykonanych jesienią.

Analiza wariancji wykazała istotne różnice w liczbie izolatów występujących w drewnie ran wykonanych wiosną i jesienią na początku i na końcu doświadczenia ( $p = 0,044076$ ). W obu wariantach wiosna i jesień udział izolatów *H. parviporum* istotnie wzrósł po trzech latach ekspozycji ran (ryc. 39).



Ryc. 39. Procentowy udział izolatów *H. parviporum* na początku (K) i końcu doświadczenia w ranach wykonanych wiosną (W-k, W) oraz jesienią (J-K, J). \*, \*\* istotne różnice w udziale izolatów w stosunku do początku doświadczenia ( $p < 0,05$ )

W 39 starych spałach potwierdzono obecność grzybni *H. parviporum*. Liczba izolatów była o 105 razy większa niż we wszystkich ranach wykonanych w doświadczeniu. Patogena stwierdzono w 41% spał pochodzenia naturalnego.

Wśród grzybów powodujących zgnilizny drewna największy udział w izolowanym zbiorowisku grzybów z ran miały *Amylostereum areolatum* (skórnik świerkowy), *Armillaria* spp. (opieńka), *Ischnoderma benzoinum* (smolócha świerkowa), *Fuscoporia ferrea* (Pers.) G. Cunn. (rdzawoporka żelazista), *Stereum* spp. (skórnik) (ryc. 40).

Wszystkie wymienione gatunki notowane były zarówno w zbiorowisku izolowanym z nowo powstałych ran jak i po trzech latach. *Amylostereum areolatum* był gatunkiem powszechnie występującym w analizowanych zbiorowiskach na wszystkich powierzchniach badawczych. Znacząco zwiększył liczebność w zbiorowisku grzybów po trzech latach od wykonania ran. Z drewna ran wykonanych wiosną wyizolowano pięciokrotnie więcej izolatów tego gatunku po trzech latach, a z drewna ran wykonanych jesienią aż 448 razy więcej. W naturalnych spałach *A. areolatum* stwierdzono w 64% analizowanych ran. Udział izolatów *A. areolatum* w izolowanych zbiorowiskach grzybów z prób były duży i wyniósł od 0,001% do 91,8%, średnio 8,8%. Najwyższy udział tego gatunku stwierdzono w ranach wykonanych wiosną po trzyletniej ekspozycji w pododdz. 83f na wysokości 25 cm od strony południowej. Udział powyżej 10% izolatów *A. areolatum* w zbiorowiskach stwierdzono w 27% prób, głównie w ranach na końcu doświadczenia (19%).

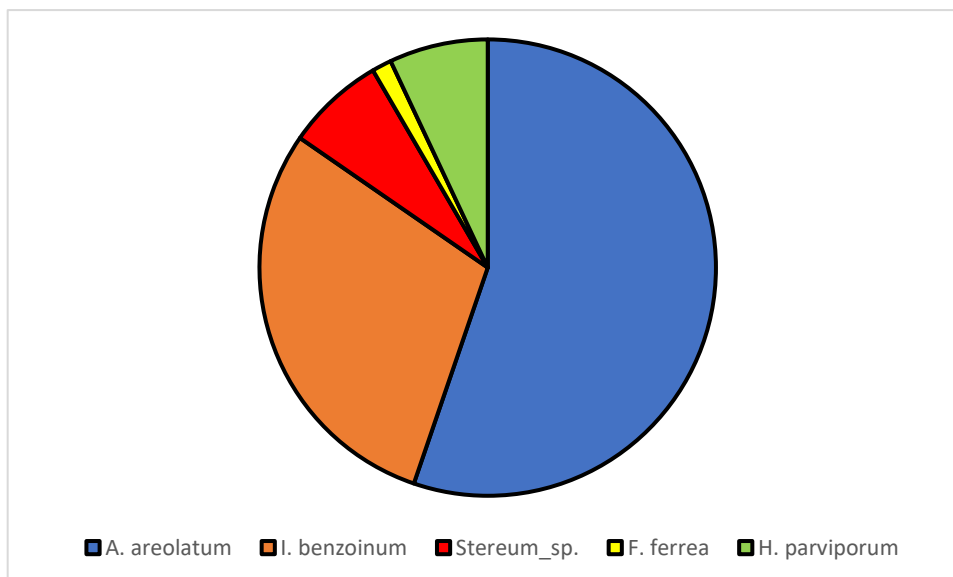
Z kolei frekwencja *Ischnoderma benzoinum* w zbiorowisku grzybów z drewna ran wykonanych wiosną zmniejszyła się pięciokrotnie i w drewnie czterech kombinacji doświadczenia wysokość spały x strona świata nie wyizolowano tego gatunku z ran po trzech latach ekspozycji. Natomiast odmienną sytuację stwierdzono w drewnie ran wykonanych jesienią. W momencie wykonywania ran z drewna nie izolowano tego gatunku, jednakże po trzech latach w drewnie każdej rany stwierdzano obecność *I. benzoinum* w znaczącej frekwencji izolatów (20-2539). W starych spałach pochodzenia naturalnego gatunek ten wystąpił w 26% analizowanych ran w dużej liczbie izolatów (329-92744). Udział *I. benzoinum* w zbiorowiskach grzybów w ranach wynosił od 0,002% do 83,4%. Najwyższy udział (powyżej 40%) tego gatunku w zbiorowiskach grzybów izolowanych z ran stwierdzono dla czterech prób, w trzech przypadkach dotyczyło to naturalnych spał.

Frekwencja grzybów rodzaju *Stereum* w drewnie ran, w obu terminach ich wykonywania zmniejszyła się. Po trzech latach od wykonania ran w 8 przypadkach kombinacji nie potwierdzono obecności tego rodzaju w drewnie ran wykonanych na wiosnę i aż 19 wykonanych jesienią. W dwóch przypadkach ran wykonanych wiosną wyizolowano ponownie z drewna grzyby rodzaju *Stereum* w znaczącej liczebności izolatów po trzech latach ekspozycji ran. W dwóch przypadkach ran wykonanych na wiosnę i pięciu wykonanych jesienią potwierdzono zakażenie drewna ran (odpowiednio w ranach wykonanych od strony południowej (na wysokości 25 cm) i północnej (125 cm) oraz dwukrotnie północnej (25 cm), dwukrotnie południowej (25 cm i 125 cm) oraz od strony zachodniej (25 cm)). W spałach pochodzenia naturalnego grzyby rodzaju *Stereum*

wyzolowano z drewna 51% ran. Udział izolatów *Stereum* spp. w zbiorowisku grzybów w drewnie ran wahał się od 0,0004% do 71,65%. Udział tych grzybów przekraczający 1% stwierdzono w 11 próbach, przy czym w siedmiu przypadkach były to zbiorowiska wyizolowane z drewna naturalnych spał. W pododdz. 184f odnotowano *Stereum* spp. w znaczącym udziale (14,94%-20,25%), ale w jednym przypadku w drewnie ran pobranym na końcu eksperymentu.

Grzyby rodzaju *Armillaria* wyizolowano z drewna ran wykonanych wiosną na początku doświadczenia, przy czym tylko w jednym przypadku liczba izolatów w zbiorowisku była siedmiokrotnie większa od pozostałych (pododdz. 83f, rana wykonana na wysokości 25 cm od strony wschodniej). Z kolei w przypadku ran wykonanych jesienią tylko w jednym przypadku potwierdzono obecność 105 izolatów grzybów rodzaju *Armillaria* w drewnie rany wykonanej na wysokości 25 cm od strony północnej (pododdz. 184g). Tylko w dwóch naturalnych spałach potwierdzono obecność grzybni *Armillaria* spp. Udział izolatów *Armillaria* spp. w zbiorowiskach grzybów występujących w drewnie ran był niewielki i wynosił poniżej 1% (0,0007%-0,32%).

*Fuscoporia ferrea* wyizolowano wyłącznie z drewna ran wykonanych wiosną na początku doświadczenia. Natomiast po trzech latach nie stwierdzono występowania tego gatunku. W spałach naturalnych potwierdzono występowanie grzybni *F. ferrea* w 26% ran. W dwóch przypadkach udział izolatów *F. ferrea* w zbiorowiskach grzybów występujących w ranach był większy od 1% (1,55% i 2,17%), natomiast w pozostałych wyniósł od 0,004% do 0,97%, średnio 0,07% (ryc. 40).



Ryc. 40. Udział poszczególnych taksonów w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z ran

### Grzyby patogeniczne

W zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z ran stwierdzono taksony grzybów, które zasiedlają rany powodując siniznę lub nekrozy tkanki drzewnej. Do takich grzybów zaliczyć można *Corinectria fuckeliana*, grzyby rodzaju *Cytospora*, *Fusarium*, *Graphium*, *Lachnellula*, *Leptographium*, *Nectria* czy *Ophiostoma*.

*Corinectria fuckeliana* zasiedlał rany powszechnie, ponieważ stwierdzono jego obecność w 74,52% ran. W przypadku ran wykonywanych na wiosnę to *C. fuckeliana* był notowany we wszystkich ranach, zarówno na początku jak i na końcu okresu badawczego, ale liczebność izolatów w ranach po trzech latach ekspozycji była 3,6 razy większa niż na początku doświadczenia. W przypadku doświadczenia założonego w terminie jesiennym, w momencie początkowym *C. fuckeliana* stwierdzono tylko w 9,6% ran. Natomiast po trzech latach gatunek ten występował w drewnie wszystkich ran bardzo licznie. Liczebność na końcu doświadczenia przekraczała tę z początku doświadczenia aż 4067 razy. Ponadto *C. fuckeliana* wystąpił w 69,23% spał pochodzenia naturalnego. Udział tego gatunku w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z drewna ran był znaczący. W 64,33% prób udział *C. fuckeliana* był większy niż 1% (ryc. 41), a w 42,68% prób liczebność tego gatunku stanowiła ponad 10% wszystkich izolatów grzybów (ryc. 42). Natomiast w 12,1% prób udział *C. fuckeliana* był większy niż 30%. Najwyższy udział *C. fuckeliana*

w zbiorowisku grzybów stwierdzono w drewnie ran wykonanych jesienią po trzyletniej ekspozycji i wynosił 70,81% (pododdz. 83f, rana na wysokości 25 cm od strony wschodniej).

Grzyby rodzaju *Cytospora* były notowane w niemalże wszystkich ranach (71,97%) wykonanych na świerkach w obu terminach. W momencie wykonywania ran w terminie wiosennym grzyby rodzaju *Cytospora* były izolowane z drewna 65,22% ran, natomiast po trzech latach ekspozycji ten rodzaj izolowano z 95,83% ran. Liczebność izolatów *Cytospora* spp. wzrosła po trzech latach 10,8 razy. W przypadku ran wykonanych jesienią zaobserwowano odwrotną sytuację niż w doświadczeniu założonym w terminie wiosennym. Mianowicie liczebność izolatów grzybów rodzaju *Cytospora* zmniejszyła się po trzech latach ekspozycji ran o 21,03%. Podobnie jeśli chodzi o stwierdzanie tych grzybów w poszczególnych ranach. Po trzech latach procent ran, w których stwierdzono *Cytospora* zmniejszył się z 87,1% do 65,63%. W przypadku starych spał grzyby rodzaju *Cytospora* wyizolowano z drewna 48,72% ran. Frekwencja izolatów grzybów rodzaju *Cytospora* w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z drewna ran nie była wysoka. W 10,19% prób frekwencja izolatów tych grzybów w zbiorowiskach była większa niż 1% (ryc. 41). Tylko w dwóch przypadkach liczebność izolatów *Cytospora* spp. była większa niż 10% (1,27%), (ryc. 42). Najliczniej grzyby rodzaju *Cytospora* wystąpiły w drewnie rany wykonanej na wiosnę od wschodniej strony, na wysokości 125 cm po trzech latach ekspozycji (19,91%) w pododdz. 83f oraz w drewnie rany wykonanej od północnej strony, na wysokości 125 cm, po trzech latach ekspozycji w pododdziale 184g.

Grzyby rodzaju *Fusarium* występowały w badanych drzewostanach dość powszechnie. W doświadczeniu przeprowadzonym na wiosnę, w drewnie ran na początku eksperymentu grzyby tego rodzaju stwierdzono w 25,81% spał, podczas gdy na końcu doświadczenia grzyby te wystąpiły w drewnie 37,5% ran i jednocześnie odnotowano zwiększoną frekwencję izolatów o 5,8 razy w stosunku do izolacji z początku okresu badawczego. Z kolei w doświadczeniu zakładanym jesienią stwierdzono odwrotną sytuację. Na początku doświadczenia grzyby rodzaju *Fusarium* stwierdzono w drewnie aż 93,55% ran, natomiast po trzyletniej ich ekspozycji w drewnie 50% ran. Zmniejszyła się też frekwencja izolatów na końcu doświadczenia o 6,3 razy. Grzyby rodzaju *Fusarium* wyizolowano z drewna 66,67% starych spał pochodzenia naturalnego. Udział grzybów rodzaju *Fusarium* w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z ran nie był wysoki. Tylko w 15,92% przypadków udział tych grzybów w zbiorowiskach był wyższy o 1% (ryc. 41),

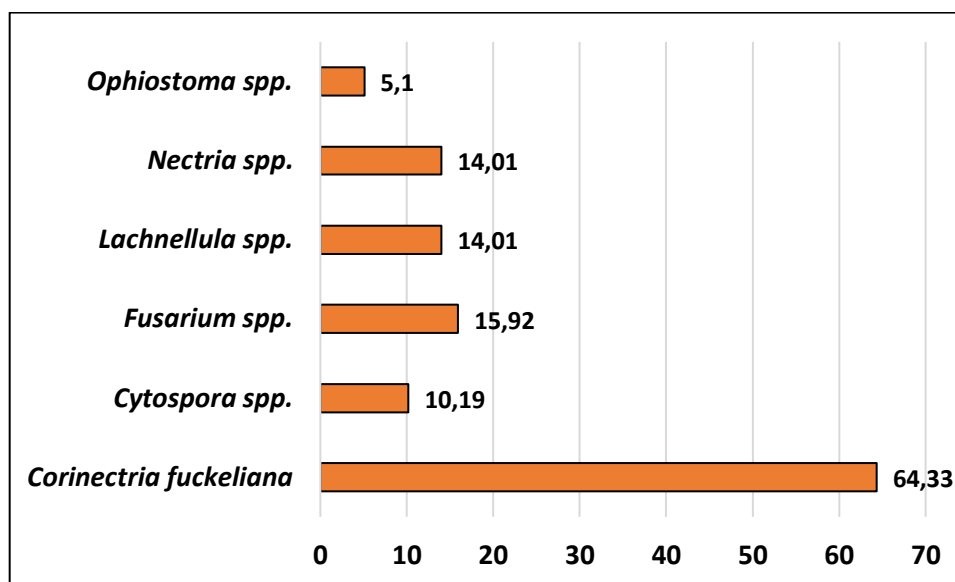
a maksymalnie 6,53% (poddz. 184g, rana wykonana od strony zachodniej na wysokości 125 cm).

Grzyby rodzaju *Nectria* wyizolowano z drewna 31,25% ran wykonanych na wiosnę, na początku doświadczenia, a po trzech latach stwierdzono je w 54,17% ran. Liczebność izolatów w drewnie ran, w ciągu trzech lat doświadczenia wzrosła 6,13-krotnie. W przypadku doświadczenia zakładanego w terminie jesiennym stwierdzono odwrotną sytuację zarówno jeśli chodzi o udział ran, w drewnie których stwierdzano grzyby rodzaju *Nectria* jak również jeśli chodzi o liczebność. Udział ten na końcu doświadczenia zmniejszył się z 83,87 % do 22,58%, a liczebność tych grzybów w drewnie zmniejszyła się 7,39-krotnie. Udział tych grzybów w zbiorowiskach wyizolowanych z drewna ran nie był wysoki, a tylko w 14,01% był wyższy niż 1% (ryc. 41), w 1,91% niż 10% izolatów zbiorowiska (ryc. 42). Najwyższy udział izolatów grzybów rodzaju *Nectria* odnotowano w drewnie spał naturalnego pochodzenia (64,21%).

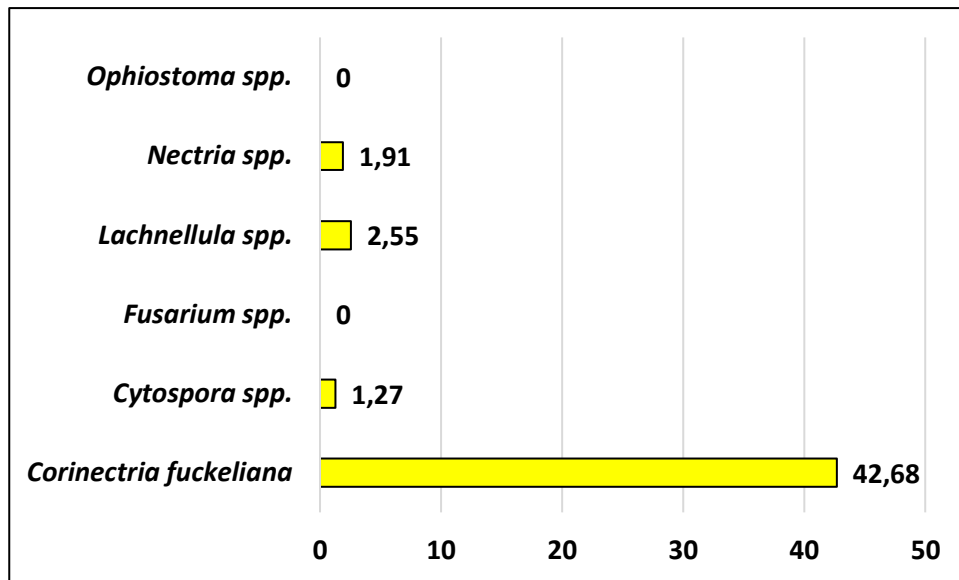
Grzyby rodzaju *Lachnellula* występowały powszechnie w drewnie ran, niezależnie od terminu ich wykonania. Na początku doświadczenia w terminie wiosennym wyizolowano te grzyby z drewna 70,97% ran, a z ran wykonanych w terminie jesiennym z drewna 87,1% ran. Z kolei po trzech latach ekspozycji ran w doświadczeniu wiosennym zwiększył się udział ran zasiedlonych przez *Lachnellula* spp. do 79,17%, natomiast zmniejszył się udział ran, z drewna których izolowano te grzyby w terminie jesiennym do 56,25%. Podobną sytuację stwierdzono analizując liczebność izolatów grzybów rodzaju *Lachnellula*. Mianowicie w doświadczeniu założonym na wiosnę liczebność izolatów zwiększyła się 4,68-krotnie, a w doświadczeniu wykonanym jesienią udział izolatów zmniejszył się 1,35 razy. *Lachnellula* spp. wyizolowano także z drewna 64,1% spał naturalnego pochodzenia. Z kolei udział izolatów tych grzybów w zbiorowiskach wyizolowanych z ran nie był wysoki. Tylko w 14,1% przypadków był większy niż 1% (ryc. 41), a w 2,55% większy niż 10% (ryc. 42). Najwyższy udział *Lachnellula* spp. w zbiorowisku grzybów stwierdzono w drewnie rany wykonanej jesienią, po trzech latach ekspozycji, która znajdowała się po stronie zachodniej na wysokości 25 cm (37,69%, pododdz. 194f).

W drewnie ran stwierdzano także grzyby Ophiostomoidalne rodzajów *Graphium*, *Leptographium* i *Ophiostoma*. Grzyby rodzaju *Graphium* i *Leptographium* wyizolowano z drewna odpowiednio 2,55 % i 5,1% ran, przy czym w połowie były to próby pobierane z naturalnych spał. Udział tych grzybów w zbiorowiskach wyizolowanych z drewna ran był

niższy niż 1% i maksymalnie wyniósł odpowiednio 0,3% i 0,41%. Grzyby rodzaju *Ophiostoma* wyizolowano z drewna 22,58% ran wykonanych na wiosnę, na początku doświadczenia. Po trzech latach ekspozycji liczebność izolatów tych grzybów w drewnie ran wzrosła 3,4 razy, jak również liczba ran, w których stwierdzono grzyby rodzaju *Ophiostoma* (37,5%). W przypadku doświadczenia przeprowadzonego jesienią stwierdzono odwrotną sytuację. Mianowicie grzyby rodzaju *Ophiostoma* stwierdzono w drewnie niemalże wszystkich ran (96,67%), a na końcu doświadczenia izolowano je tylko z drewna 21,88% spał. W przypadku drewna naturalnych spał grzyby te stwierdzono w 48,72% ran. Liczebność izolatów tych grzybów w drewnie, w tym okresie zmniejszyła się 16-krotnie. Udział grzybów rodzaju *Ophiostoma* w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z drewna ran nie był wysoki. Tylko w 5,1% przypadków był większy niż 1% (ryc. 41), a najwyższy 5,44% stwierdzono w przypadku rany wykonanej jesienią na początku doświadczenia od strony północnej na wysokości 25 cm (pododdz. 100g).



Ryc. 41. Procentowy udział większy niż 1 % poszczególnych taksonów w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z drewna ran w obu terminach wykonania doświadczenia



Ryc. 42. Procentowy udział większy niż 10 % poszczególnych taksonów w zbiorowiskach grzybów wyizolowanych z drewna ran w obu terminach wykonania doświadczenia

### Grzyby zagrożone

W drewnie ran wykonanych w eksperymencie jak i w spałach naturalnego pochodzenia stwierdzono obecność gatunków, dla których w Czerwonej liście roślin i grzybów Polski (2006) określono kategorie zagrożenia. Trzy gatunki określono jako wymierające i krytycznie zagrożone (E). Wszystkie gatunki stwierdzono w niewielkiej frekwencji w spałach naturalnego pochodzenia. Były to *Cerinomyces tortus* (Willd.) Miettinen, J.C. Zamora & A. Savchenko (łzawnik zielonawy). Ten gatunek stwierdzono w jednej spałce w nadleśnictwie Suwałki. W tym nadleśnictwie stwierdzono w dwóch spałkach *Tubulicrinis borealis* J. Erikss. (rozwiernik północny). Natomiast w nadleśnictwie Drygały w dwóch spałkach potwierdzono występowanie *Postia guttulata* (Peck) Jülich (drobнопorek łazawiący).

Ponadto oznaczono trzy gatunki rzadkie, potencjalnie zagrożony wymarciem (R). Najliczniej występował *Ceriporia reticulata* (Hoffm.) Domanski (woszczyńska siateczkowata). Ten gatunek stwierdzono aż w dwunastu spałkach naturalnego pochodzenia (30,8%) oraz pojawił się w ranach wykonanych w doświadczeniu w pododdziale 83f i 100g każdorazowo w dwóch kombinacjach, pododdziale 184g w siedmiu kombinacjach i 194f w trzech. Ponadto stwierdzono obecność *Ceriporia viridans* (Berk. & Broome) Donk (woszczyńska zieleniejąca) w trzech spałkach naturalnego pochodzenia oraz po jednej

kombinacji w pododdziałach 83f, 100g i 184g. Z kolei *Oxyporus corticola* (Fr.) Ryvarden (napień wypłowiasty) wyizolowano wyłącznie z trzech spał pochodzenia naturalnego.

#### **5.10. Symulacja rozwoju huby korzeni przy pomocy modelu ROTSTAND**

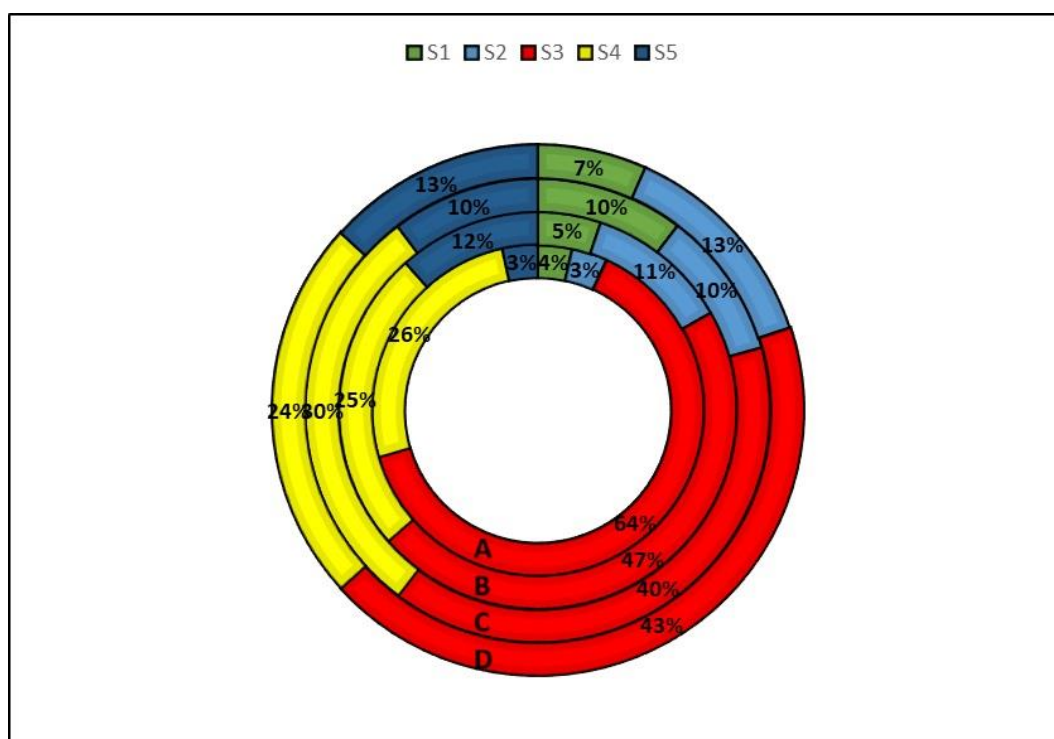
Analizie poddane zostały następujące parametry w odniesieniu do 1 ha drzewostanu rębego (wiek 85 lat w Nadleśnictwie Drygały oraz 95 lat w Nadleśnictwie Suwałki): liczba drzew porażonych, miąższość zdeprecjonowanego przez zgniliznę surowca, zasobność, liczba trzebieży jak również liczba drzew na hektarze wydzielenia w wieku rębności.

Symulacja liczby drzew porażonych dla drzewostanów objętych badaniem w Nadleśnictwie Drygały wykazała, że w wieku rębności zaatakowanych przez hubę korzeni byłoby od 13 (warianty drzewostan zdrowy, spałowany oraz drzewostan porażony, spałowany, cięcia przeprowadzone w okresach zimowych – pododdz. 83f) do 244 drzew (wariant drzewostan porażony, spałowany, niezabezpieczony *P. gigantea* – pododdz. 83f). Jednocześnie liczba drzew porażonych dla drzewostanów zdrowych zamknęłaby się w przedziale od 13 do 44 sztuk (odpowiednio pododdziały 83f i 122j). Analogiczna symulacja wykonana dla drzewostanów w Nadleśnictwie Suwałki dała następujące wyniki: liczba porażonych świerków wahałaby się od 19 (warianty drzewostan zdrowy, spałowany oraz drzewostan porażony, spałowany, cięcia przeprowadzone w okresach zimowych – pododdz. 184g) do 256 sztuk (wariant drzewostan porażony, spałowany, niezabezpieczony *P. gigantea* – pododdz. 56c). Liczba drzew porażonych w drzewostanach zdrowych wynosiłaby 19 (pododdz. 184g) i 113 sztuk (pododdz. 194f) (tab. 15). Symulacja liczby porażonych drzew wykazała, że obecność korzeniowca drobnoporego w badanych drzewostanach może wpłynąć na tę liczbę w różny sposób w zależności od planowanych czynności. (ryc. 43, 44).

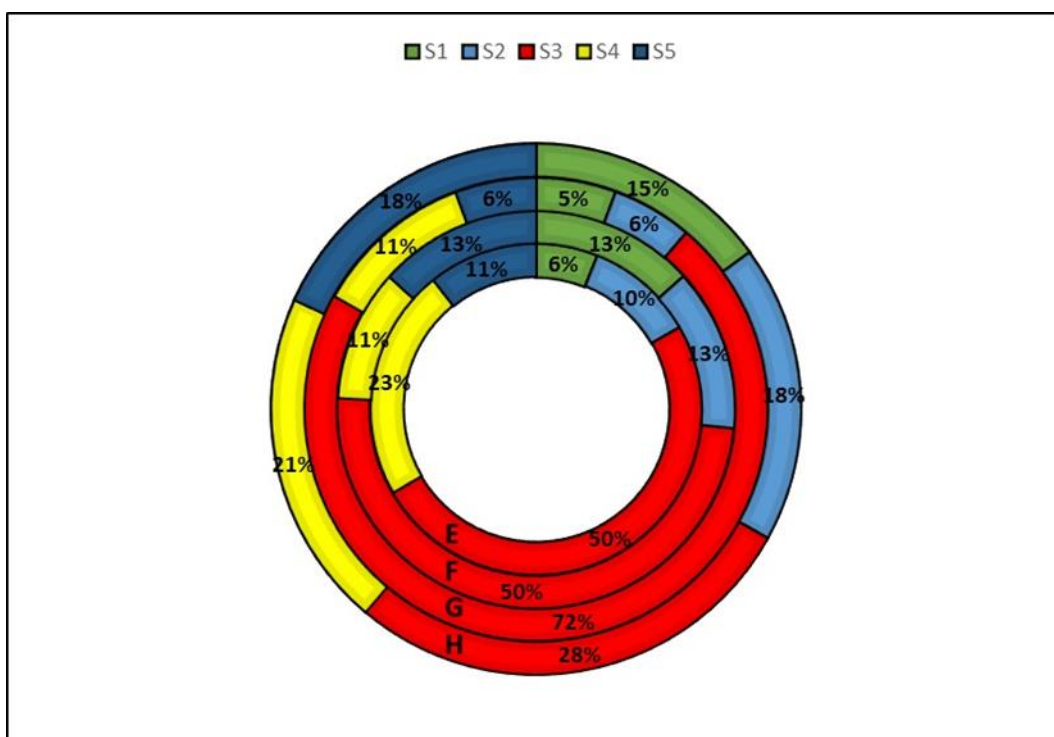
Tabela 15

Liczba drzew porażonych w wieku 85/95 lat na poszczególnych powierzchniach badawczych w oparciu o różne warianty symulacji modelu ROTSTAND

Nadleśnictwo	Liczba drzew porażonych w wieku 85/95 lat							
	Nadleśnictwo Drygały [85 lat]				Nadleśnictwo Suwałki [95 lat]			
Powierzchnia / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j	D 419a	E 13b	F 56c	G 184g	H 194f
Opis wariantu								
Drzewostan zdrowy	13	25	44	25	25	69	19	113
Drzewostan zdrowy, spalowany	13	56	44	50	44	69	19	138
Porażony, spalowany, niezabezpieczony <i>P. gigantea</i>	244	225	169	163	206	256	244	213
Porażony, spalowany, zabezpieczony <i>P. gigantea</i>	100	119	125	88	94	56	38	156
Porażony, spalowany, cięcia w okresie zimy	13	56	44	50	44	69	19	138



Ryc. 43. Procentowy udział liczby porażonych drzew w drzewostanach Nadleśnictwa Drygały w odniesieniu do drzewostanu zdrowego. Pododdziały: A – 83f, B – 100g, C – 122j, D – 419a. Scenariusze symulacji: S1 – drzewostan zdrowy; S2 – drzewostan zdrowy, spalowany; S3 – drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea*; S4 – drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea*; S5 – drzewostan porażony, spalowany, wszelkie cięcia wykonywane w okresie zimowym



Ryc. 44. Procentowy udział liczby porażonych drzew w drzewostanach Nadleśnictwa Suwałki w odniesieniu do drzewostanu zdrowego. Pododdziały: E – 13b, F – 56c, G – 184g, H – 194f. Scenariusze symulacji: S1 – drzewostan zdrowy; S2 – drzewostan zdrowy, spalowany; S3 – drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea*; S4 – drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea*; S5 – drzewostan porażony, spalowany, wszelkie cięcia wykonywane w okresie zimowym

Analiza miąższości zdeprecjonowanego drewna przeprowadzona dla badanych drzewostanów w Nadleśnictwie Drygały wykazała cechy rozpatrywanego parametru jak niżej: minimalna wielkość to 2,9 m<sup>3</sup> dla wariantów drzewostanu zdrowego, spalowanego oraz drzewostanu porażonego, spalowanego, gdzie cięcia były wykonywane w okresach zimowych – pododdz. 83f. Maksymalna miąższość surowca objętego zgnilizną to 30,4 m<sup>3</sup> w wariantcie drzewostanu porażonego, spalowanego, niezabezpieczonego *P. gigantea* – pododdz. 100g. Z kolei ilość tego samego surowca w drzewostanach zdrowych wyniosłaby od 2,1 m<sup>3</sup> w pododdz. 419a do 6,4 m<sup>3</sup> w pododdz. 122j. Natomiast bliźniacza symulacja wykonana dla powierzchni badawczych w Nadleśnictwie Suwałki wykazała, że ilość zdeprecjonowanego surowca zawierałaby się w przedziale od 3,5 do 71,9 m<sup>3</sup> (odpowiednio dla wariantów drzewostan zdrowy, spalowany w pododdz. 184g i drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea* – pododdz. 56c). Jednocześnie ten sam parametr

dotyczący drzewostanów zdrowych wynosiłyby od 3,5 m<sup>3</sup> (pododdz.184g) do 20,8 m<sup>3</sup> (pododdz. 56c) (tab. 16).

Tabela 16

Mięszość zdeprecjonowanego drewna w wieku 85/95 lat na poszczególnych powierzchniach badawczych w oparciu o różne warianty symulacji modelu ROTSTAND

Nadleśnictwo	Mięszość zdeprecjonowanego surowca w wieku 85/95 lat							
	Nadleśnictwo Drygały [85 lat]				Nadleśnictwo Suwałki [95 lat]			
Powierzchnia / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j	D 419a	E 13b	F 56c	G 184g	H 194f
Opis wariantu								
Drzewostan zdrowy	2,9	4,8	6,4	2,1	5,6	20,8	3,5	15
Drzewostan zdrowy, spalowany	2,9	7,3	6,4	4,4	11,3	20,8	3,5	22,2
Porażony, spalowany, niezabezpieczony <i>P. gigantea</i>	27,8	30,4	24,4	22,9	50,9	71,9	48,4	41,9
Porażony, spalowany, zabezpieczony <i>P. gigantea</i>	12,7	12,9	18,7	9,9	21,3	22	6,2	30,2
Porażony, spalowany, cięcia w okresie zimy	2,9	7,3	6,4	4,4	11,3	20,8	3,5	22,2

Symulacja zasobności drzewostanów w Nadleśnictwie Drygały wykazała, że w wieku rębności wynosiła by ona od 330,2 m<sup>3</sup> (warianty drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 122j) do 459,7 m<sup>3</sup> (wariant drzewostan zdrowy, spalowany oraz wariant drzewostan porażony, spalowany, cięcia wykonywane w okresie zimowym – pododdz. 100g). Natomiast zasobność w drzewostanach zdrowych wyniosłaby od 381,4 m<sup>3</sup> (pododdz. 122j) do 459,2 m<sup>3</sup> (pododdz. 100g). Z kolei tożsama symulacja przeprowadzona dla drzewostanów w Nadleśnictwie Suwałki przedstawiła analizowane parametry w przedziale od 279,1 m<sup>3</sup> (wariant drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 184g) do 392,6 m<sup>3</sup> (wariant drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 184g). Zasobność w wieku rębności drzewostanu zdrowego wyniosłaby od 286,7 do 372,3m<sup>3</sup> w pododdziałach 184g i 194f odpowiednio (tab. 17).

Tabela 17

Zasobność drzewostanów w wieku 85/95 lat na poszczególnych powierzchniach badawczych w oparciu o różne warianty symulacji modelu ROTSTAND

Nadleśnictwo	Zasobność drzewostanów w wieku 85/95 lat							
	Nadleśnictwo Drygały [85 lat]				Nadleśnictwo Suwałki [95 lat]			
Powierzchnia / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j	D 419a	E 13b	F 56c	G 184g	H 194f
Opis wariantu								
Drzewostan zdrowy	424,9	459,2	381,4	424,5	369,5	302,1	286,7	372,3
Drzewostan zdrowy, spalowany	424,1	459,7	381,4	416,3	367,4	302,1	286,7	372,1
Porażony, spalowany, niezabezpieczony <i>P. gigantea</i>	342,5	376,7	330,2	379,3	312	389,7	392,6	303,4
Porażony, spalowany, zabezpieczony <i>P. gigantea</i>	405,9	446,8	369,3	416,3	360,4	284,6	279,1	353,7
Porażony, spalowany, cięcia w okresie zimy	424,1	459,7	381,4	416,3	367,4	302,1	286,7	372,1

Analiza liczby zabiegów trzebieży przeprowadzona dla drzewostanów objętych badaniem w Nadleśnictwie Drygały wykazała, że przy niskim wieku rębności i założeniu, iż zabieg jest wykonywany gdy powierzchnia pierścicowego pola przekroju drzewostanu osiągnie wartość 30 m<sup>2</sup>/ha możliwe było wykonanie dwóch zabiegów. Natomiast identyczna symulacja wykonana dla powierzchni badawczych w Nadleśnictwie Suwałki wykazała, że przy wieku rębności 90 lat możliwe jest wykonanie od 3 do 4 zabiegów (ten ostatni wariant w przypadku gdy drzewostan badawczy ma 37 lat). Jedynie w wariantcie drzewostanu porażonego, spalowanego, niezabezpieczonego *P. gigantea* liczba zabiegów zmniejszyła się o jeden (pododdziały 56c oraz 184g) (tab. 18).

Tabela 18

Liczba trzebieży rekomendowanych do wieku 85/95 lat na poszczególnych powierzchniach badawczych w oparciu o różne warianty symulacji modelu ROTSTAND

Nadleśnictwo	Liczba trzebieży do wieku 85/95 lat							
	Nadleśnictwo Drygały [85 lat]				Nadleśnictwo Suwałki [95 lat]			
Powierzchnia / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j	D 419a	E 13b	F 56c	G 184g	H 194f
Opis wariantu								
Drzewostan zdrowy	2	2	2	2	3	4	3	3
Drzewostan zdrowy, spalowany	2	2	2	2	3	4	3	3
Porażony, spalowany, niezabezpieczony <i>P. gigantea</i>	2	2	2	2	3	3	2	3
Porażony, spalowany, zabezpieczony <i>P. gigantea</i>	2	2	2	2	3	4	3	3
Porażony, spalowany, cięcia w okresie zimy	2	2	2	2	3	4	3	3

Symulacja liczby drzew dla badanych drzewostanów w Nadleśnictwie Drygały wykazała, że w wieku rębności rośło by od 250 (warianty drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea* oraz niezabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 122j) do 350 świerków (wariant drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 100g). Natomiast liczba drzew w drzewostanach zdrowych wyniosłaby od 256 (pododdz. 122j) do 350 (pododdz. 100g). Z kolei tożsama symulacja przeprowadzona dla drzewostanów w Nadleśnictwie Suwałki przedstawiła liczbę drzew w przedziale od 144 (warianty drzewostan zdrowy, spalowany oraz drzewostan porażony, spalowany, cięcia przeprowadzone w okresach zimowych, pododdz. 56c) do 281 sztuk (wariant drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea*, pododdz. 184g). Liczba drzew w wieku rębności drzewostanu zdrowego wyniosłaby od 144 do 213 sztuk w pododdziałach 56c i 194f odpowiednio (tab. 19).

Tabela 19

Liczba drzew w wieku 85/95 lat na poszczególnych powierzchniach badawczych w oparciu o różne warianty symulacji modelu ROTSTAND

	Liczba drzew w wieku 85/95 lat							
Nadleśnictwo	Nadleśnictwo Drygały [85 lat]				Nadleśnictwo Suwałki [95 lat]			
Powierzchnia / pododdział	A 83f	B 100g	C 122j	D 419a	E 13b	F 56c	G 184g	H 194f
Opis wariantu								
Drzewostan zdrowy	338	350	256	306	194	144	150	213
Drzewostan zdrowy, spalowany	338	344	256	300	175	144	150	219
Porażony, spalowany, niezabezpieczony <i>P. gigantea</i>	338	325	250	338	213	250	281	250
Porażony, spalowany, zabezpieczony <i>P. gigantea</i>	338	350	250	306	175	150	156	225
Porażony, spalowany, cięcia w okresie zimy	338	344	256	300	175	144	150	219

## 6. DYSKUSJA

Impulsem wiodącym do powstania przedmiotowej pracy były obserwowane na terenie nadleśnictw będących obiektami badań znaczne szkody w drzewostanach wyrządzane przez bytujące na tym terenie populacje jelenia szlachetnego i łosia. W odniesieniu do zmian klimatu, gradacji szkodników wtórnych oraz presji wywieranej przez gatunki grzybów i *Oomycota* są one ważną częścią składową dynamicznych zmian zachodzących w drzewostanach świerkowych, objawiających się spadkiem ich stanu zdrowotnego. Następstwa powodowane wystąpieniem powyższego w badanych drzewostanach, skłaniają ku zadaniu pytania czy sposób gospodarowania w świerczynach zagrożonych przez czynniki biotyczne i abiotyczne odpowiada skali zagrożeń?

Działania wykonane w celu uzyskania wyników przedmiotowej pracy dowiodły, że wszelkie rany (zarówno pochodzenia naturalnego jaki i sztucznego) są istotnymi wrotami infekcji dla patogenów oraz grzybów związanych z rozkładem drewna, co może wpływać na straty gospodarcze związane z deprecjacją surowca, ograniczeniami przyrostu drzewostanów czy skróconym okresem produkcji „na pniu”.

Wydawać by się mogło, że istnieje duże podobieństwo między mykocenozy zasiedlającymi drewno świerkowe w całym zasięgu jego występowania, jednak analiza publikacji związanych z tym zagadnieniem ujawniła trzy trendy. Prace niektórych autorów sugerują, że głównym sprawcą zgnilizny ran na świerku są grzyby rodzaju *Heterobasidion*. BAZZIGHER (1973) odnotował ich obecność w 8,9% ran zamkniętych oraz 11,4% ran otwartych. Natomiast ARHIPOVA i in. (2011) wyizolowali je z 55,3% żywy pni świerkowych. Z kolei HALLAKSELA w 1984 roku stwierdziła, że *Heterobasidion parviporum* odpowiadał za 56% przypadków zgnilizny odziomkowej i tylko 2% zgnilizny w spałach.

ROLL-HANSEN i ROLL-HANSEN (1980) stwierdzili 6% zasiedlenie eksperymentalnie wykonanych ran na świerkach, w większości przypadków tych wykonanych w lipcu. Nieco mniejszy stopień zasiedlenia wykazali VASILIAUSKAS i in. (1996), bo 5%, SOLHEIM i SELÅS (1986 za REDFERN i STENLID 1998) 3%, HALLAKSELA (1984) 2%, a KOCH i THOGJEM (1989) 1% zasiedlenia ran. Najwyższy poziom infekcji odnotowany w ranach świerkowych przez PECHMANN i AUFSESSA (1971) oraz ISOMÄKIEGO i KALLIO (1974) był 15%, a przez KALLIO (1976) 17%. Stąd obecność 9 nowych porażań ran wykonanych na wiosnę i dwóch wykonanych jesienią daje średnie w stosunku do innych prac, bo 8% zasiedlenie ran przez *H. parviporum* w sposób naturalny. Co pokazuje także na wysoki potencjał infekcyjny korzeniowca drobnoporego w badanych drzewostanach, mimo

stwardzenia niewielu owocników na czterech z ośmiu powierzchni badawczych. Tym bardziej, że większość nowych porażen stwierdzono na drzewach w Nadleśnictwie Suwałki, gdzie na powierzchniach stwierdzono 2 owocniki, albo nie było owocników tego grzyba.

Także 41% zasiedlenie przez *H. parviporum* starych spał naturalnego pochodzenia wydaje się wysoka w stosunku do 20% zasiedlenia drzew poranionych przez kozy (BAZZIGHER 1973). W niniejszej pracy procentowy udział *H. parviporum* w ranach nowo zasiedlonych w stosunku do wszystkich izolatów patogena na końcu doświadczenia wyniósł od 27,8% do 38,3% w zależności od pory roku, w której wykonano ranę. Co wskazuje na trwałe zasiedlenie przez ten gatunek tych ran.

Badania większości autorów zdają się wskazywać *Stereum sanguinolentum* jako głównego sprawcę zgnilizny ran poboczniczy pnia. PECHMANN i AUFSESS (1971) izolowali ten gatunek z 40% ran, a KALLIO i TAMMINEN (1974) z 15%-17% ran. Z kolei bardzo wysoki 78% udział *S. sanguinolentum* w ranach stwierdził VASILIAUSKAS (1998), w tym ze wszystkich spał wykonanych przez łosie lub jelenie. Inne badania wskazują na podobne, aczkolwiek dość wysokie porażenie ran przez ten gatunek. Mianowicie VASILIAUSKAS i STENLID (1998b) wykazali *S. sanguinolentum* w 20,3% ran różnorakiego pochodzenia, a MÄKINEN i in. (2007) z od 15% do 25% prób. Podobne wyniki uzyskali KALLIO (1973), KALLIO (1976), ATTA i HAYES (1987).

W prawdzie w niniejszej pracy wyizolowano *S. sanguinolentum* z 51% spał naturalnego pochodzenia, jednakże jego frekwencja w ranach wykonanych w doświadczeniu zmniejszyła się zarówno w tych wykonanych jesienią jak i wiosną.

W toku badań przeprowadzonych w ramach przedmiotowej pracy wykazano, że w warunkach przeanalizowanych powierzchni badawczych najczęściej występującym gatunkiem powodującym zgnilizny drewna świerkowego był *Amylostereum areolatum*. VASILIAUSKAS (1999) stwierdził, że grzyb ten w większości przypadków poraża od 3,5% do 20% otwartych ran. W niniejszej pracy udział jaki osiągnął w zbiorowisku ran naturalnego pochodzenia (64% zasiedlonych ran) wydaje się być wysoki. Dodatkowo w ciągu trzech lat znacząco zwiększył udział w zbiorowisku – pięciokrotnie w ranach wykonanych wiosną i 448 razy w wykonanych jesienią. Co ciekawe trzeci w przedmiotowej pracy co do udziału w zbiorowiskach grzybów powodujący zgniliznę (zasiedlonych 26% spał naturalnego pochodzenia) *Ischnoderma benzoinum* nie pojawia się w literaturze dotyczącej problemowej tematyki z rejonu krajów bałtyckich czy Fennoskandii. Saprotrof ten nie był również obserwowany podczas stosunkowo niedawnych badań pniaków świerkowych prowadzonych w Puszczy Boreckiej (SZCZEPKOWSKI i in. 2022), choć powierzchnie badawcze położone

były stosunkowo niedaleko od tych w niniejszej pracy (Nadleśnictwo Drygały i Nadleśnictwo Suwałki).

Taksonem, który zdecydowanie najliczniej zasiedlił rany wykonane w czasie doświadczenia był *Corinectria fuckeliana* (75% wszystkich analizowanych ran). Ponadto na końcu okresu badawczego zasiedlał wszystkie wykonane rany, a jego liczebność zwiększyła się 3,6 razy w ranach wiosennych i ponad 4000 razy w ranach jesiennych. Zgadza się to z obserwacjami innych autorów, którzy zwracają uwagę na jego powszechność w tym środowisku. ROLL-HANSEN i ROLL-HANSEN (1980) stwierdzili go w 79% zasiedlonych ran, VASILIAUSKAS i inni (1996) wyizolowali go z 35,7% spał wykonanych przez łosie, a METZLER (1997) ustalił jej udział na 31% w izolatach przeanalizowanych w jego pracy. Z kolei ARHIPOVA i inni (2011) stwierdzili *C. fuckeliana* w 10,1% prób pobranych z żywych pni świerkowych. Równie wysoką frekwencję tego gatunku potwierdził BURNEVIČA i inni (2016), którzy stwierdzili ten gatunek w 24,8% zasiedlonych spał wykonanych przez łosie lub jelenie, a KOWALSKI i in. (2019) odnotowali *C. fuckeliana* na 15% zamierających świerków. Powszechna obecność *C. fuckeliana* w analizowanych drzewostanach może być przyczyną problemów ze stanem zdrowotnym tych drzew w przyszłości. Zgorzele kory i raki, które wywołuje ten patogen w konsekwencji powodują dłuższą ekspozycję drewna w otwartych ranach, a to skutkuje większą możliwością ich zasiedlenia przez grzyby powodujące zgnilizny. Niewątpliwie może mieć to wpływ na osłabienie reakcji odporności drzew na biotyczne czynniki środowiska. Niewielki udział *Stereum* spp. w ranach wykonanych podczas doświadczenia oraz tendencja do późniejszego zmniejszania liczebności, zdaje się potwierdzać tezę HALLAKSELA (1993), iż *C. fuckeliana* może znacznie ograniczyć występowanie tego rodzaju w ranach. Podobnie ten gatunek, jak również *Phialophora* spp. czy *Scytalidium* spp. mogą wchodzić w interakcje antagonistyczne (DELATOUR 1990), które skutkują ograniczeniem wzrostu grzybni *Heterobasidion* w drewnie, ale nie prowadzą do powstania trwałej odporności. Warto zaznaczyć, że grzyby obu wymienionych wyżej rodzajów były stwierdzane w drewnie ran. W niniejszej pracy nie zajmowano się interakcjami grzybów ze zbiorowisk izolowanych z drewna, ran, jednak przyszła analiza zależności wzrostu jednego, kilku lub wielu gatunków w stosunku do zmieszania frekwencji innych wydaje się być ciekawym bodźcem do podjęcia analizy danych zebranych w niniejszej pracy.

W niniejszej pracy może dziwić stosunkowo mały (poniżej 0,5% w próbie) udział *Cylindrobasidium evolvens*, *Resinicium bicolor*, czy *Sistotrema brinkmannii*, które zdają się być powszechne w zbiorowiskach ran analizowanych w pracach zajmujących się tym tematem (ARHIPOVA i in. 2011, BURNEVIČA i in. 2016, SZCZEPKOWSKI i in. 2022). Wydaje się

potwierdzać to tezę, że wyraźne różnice w składzie gatunkowym wykazywane w powyższych badaniach wskazują tendencję, iż lokalne źródła zarodników są ważnymi czynnikami determinującymi skład zbiorowisk grzybów (BRUNA i in. 2021, VASILIAUSKAS i in. 2005). SZABAN (2010) twierdził, że drzewostany świerkowe w obszarze naturalnego zasięgu świerka powinny charakteryzować się najmniejszym udziałem zgnilizny, ponieważ zdolności obronne drzew są ściśle skorelowane z ich stanem zdrowotnym. Wyniki uzyskane w jego badaniach nie potwierdzają tego przypuszczenia, gdyż na wielu badanych przez autora powierzchniach udział zgnilizny był najmniejszy w terenach poza naturalnym zasięgiem świerka. Co prawda autor nie zajmował się grzybami, ale efekt ten może wynikać, iż na wzmiankowanych terenach skład zbiorowisk grzybów związanych z rozkładem drewna świerkowego różni się znacząco zarówno pod względem ilościowym jak i liczbowym gatunków grzybów. Niestety w ramach przeglądu literatury dokonanego w trakcie niniejszej pracy nie znaleziono publikacji na ten temat. Być może jest to kierunek badań, który warto by było rozważyć.

W kontekście celowości hodowli świerka pospolitego w następnym pokoleniu na analizowanych powierzchniach badawczych pocieszającym jest dość duży udział *Phlebiopsis gigantea* w analizowanych zbiorowiskach. W odniesieniu do starych spał naturalnego pochodzenia wynosił on 40%. W zakładanym doświadczeniu jego udział na początku wynosił 25% (w przeważającej mierze w spałach jesiennych) by zmniejszyć się niemalże do zera na jego zakończeniu. Jest to dowodem na nie zasiedlanie świeżych ran (KALLIO 1973) przez *P. gigantea* co sprawia, że może być on bezpiecznie stosowany w biologicznej metodzie ochrony lasu. W związku z powyższymi rozważaniami wyniki uzyskane w niniejszej pracy nie potwierdziły hipotezy badawczej, że w badanych drzewostanach *H. parvuiporum* będzie najczęściej zasiedlającym rany grzybem powodującym zgniliznę drewna.

Analiza różnorodności gatunków grzybów i *Oomycota* wykonana w ramach niniejszej pracy wykazała istotne różnice w zależności od pory roku, wysokości wykonania rany, etapu doświadczenia, natomiast nie wykazała tych różnic w zależności od strony świata, od której wykonano ranę na pniu. Przeprowadzone badania potwierdzają istotny wpływ warunków środowiskowych wiążących się z porą roku, w której powstały rany na różnorodność gatunkową mykocenoz z nimi związanych. Wskaźnik Chao1, będący miarą bogactwa gatunkowego, wskazał na wyraźne różnice między próbami wiosennymi a jesiennymi (odpowiednio średnie wartości to 299 i 345). Może to sugerować, iż sezonowe zmiany wilgotności i temperatury mogą wpływać na aktywność i bogactwo zbiorowisk grzybów.

Również pozostałe wskaźniki równomierności (Pielou,  $p < 0,001$ ) oraz różnorodności Shannona ( $p < 0,001$ ) i Simpsona ( $p=0,006$ ) wykazały istotne różnice w zależności od pory roku. Różnorodność grzybów i *Oomycota* była wyraźnie większa jesienią co może wynikać z wysokich potrzeb wilgotnościowych i umiarkowanych potrzeb temperaturowych zbiorowisk związanych z ranami pni, jak również z dużo większej obecności zarodników w powietrzu, zanim rana zostanie zalana przez żywicę. Niższe wartości wskaźnika Simpsona w próbkach wiosennych, szczególnie na końcu doświadczenia, wskazują na dominację mniejszej liczby gatunków, co może być związane z konkurencją między mikroorganizmami w warunkach ograniczonej dostępności zasobów. Wpływ pory roku na częstotliwość infekcji potwierdził również VASILIAUSKAS i STENLID (1998) oraz VASILIAUSKAS i in. (2005). Z kolei wartości wyników analizy wariancji wzmiankowanych powyżej trzech indeksów obliczone dla zmiennych wysokości (odpowiednio  $p = 0.02$ ,  $p = 0.038$ ,  $p = 0.012$ ) wskazują na fakt, że wysokość wykonania rany na pniu również istotnie wpłynęła na różnorodność gatunkową zbadanych zbiorowisk. Wyższe wartości tych wskaźników zaobserwowane dla wysokości 125 cm mogą wynikać z bardziej stabilnych warunków mikroklimatycznych (mniejsza wilgotność w stosunku do dna drzewostanu, mniejsze dobowe wahania temperatury). Zgodnie z wynikami analiz przedstawionymi w niniejszej pracy można domniemywać, że rany powstałe na różnych wysokościach pnia charakteryzują się odmiennym mikroklimatem, co sprzyja powstawaniu zróżnicowanych nisz ekologicznych. Natomiast interesujący jest brak istotności wpływu kierunku geograficznego powstania rany na zróżnicowanie zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno ( $p > 0,05$  dla wszystkich analizowanych wskaźników). Otrzymane w przedmiotowej pracy wyniki mogą sugerować, że kierunki geograficzne wiejących wiatrów w drzewostanie nie miały większego wpływu na zasiedlanie ran przez grzyby. Możliwe, że warunki panujące w drzewostanach doświadczalnych oddziaływania powyższych czynników minimalizowały, przez wpływ zmiennych sezonowych (wiosna vs jesień) czy wysokościowych (125 cm vs 25 cm). Podobne wyniki otrzymali również w 2007 roku MÄKINEN ze współpracownikami.

Warto podkreślić, że w analizowanych zbiorowiskach stwierdzano gatunki krytycznie zagrożone i wymierające (*Cerinomyces tortus*, *Tubulicrinis borealis* i *Postia guttulata*) oraz rzadkie (*Ceriporia reticulata*, *Cerporia viridans* i *Oxyporus corticola*). Natomiast stwierdzenie powszechnego występowania *Xenopolyscytalum pinea* Crous zarówno w ranach wykonanych wiosną jak i jesienią oraz w starych spałach naturalnego pochodzenia. Jest to prawdopodobnie trzecie w Polsce doniesienie o występowaniu tego gatunku (SZCZEPKOWSKI i in., 2022).

W związku z powyższym potwierdzano hipotezę drugą i trzecią o wpływie terminu powstania rany, jak i miejsca jej powstawania (wysokość pnia) na zróżnicowanie zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno, natomiast nie potwierdzono hipotezy badawczej o wpływie na zbiorowiska kierunku geograficznego powstawania ran na pniu.

Najbardziej problematyczną daną konieczną do uruchomienia modelu jest stopień zasiedlenia drzewostanu przez grzyby rodzaju *Heterobasidion*. Porównując wyniki obserwacji terenowych z wynikami uzyskanymi metodami laboratoryjnymi dokładność tych pierwszych może być wątpliwa. Obserwacje terenowe często zaniżają stopień zasiedlenia. Przykładem może być sytuacja z powierzchni badawczej G gdzie w trakcie prac terenowych nie stwierdzono owocników *H. parviporum*, podczas gdy analiza laboratoryjna potwierdziła jego obecność w dwóch starych spałach pochodzenia naturalnego. Użyta w pracy powszechnie stosowana metoda oceny zasiedlenia drzewostanu za pomocą odkrywek glebowych (Sierota 1997) również nie przyniosła miarodajnych rezultatów (2 owocniki w 128 odkrywkach). Bez poprawnej oceny zasiedlenia drzewostanów nie ma możliwości wygenerowania prawdopodobnych symulacji rozwoju huby korzeni na analizowanych powierzchniach. Dla drzewostanów objętych badaniem wygenerowano następujące scenariusze rozwoju drzewostanu: drzewostan zdrowy (wariant 1); drzewostan zdrowy spalowany (wariant 2); drzewostan porażony, spalowany, niezabezpieczony *P. gigantea* (wariant 3); drzewostan porażony, spalowany, zabezpieczony *P. gigantea* (wariant 4); drzewostan porażony, spalowany, wszelkie cięcia przeprowadzane w okresie zimowym (wariant 5). Analizując drzewostany pod kątem liczby drzew w drzewostanie rębny można zauważyć, że np. w pododdz. 122j byłoby to 254 drzewa podczas gdy średnia dla nadleśnictwa Drygały wynosi 311 sztuk. Jest to jeden z przypadków, w których model ROTSTAND może być przydatny w podejmowaniu decyzji, przynoszących wymierne skutki zarządzanym drzewostanom. W tej konkretnej sytuacji należałoby przeanalizować w jakim wieku drzewostan osiągnie najwyższą zasobność i podjąć decyzję o wcześniejszym odnowieniu takiego drzewostanu. W przypadku pododdz. 122j w najgorszym pod względem zdrowotnym dla drzewostanu wariantie nr 3 byłoby to 75 lat. W tym wieku zasobność przedmiotowego wydzielenia wynosiłaby 424,8 m<sup>3</sup>/ha. Korzyści z takiego postępowania byłyby dwojakie. Po pierwsze ze względu na mniejszy udział zdeprecjonowanego drewna osiągnięta zostałaby wyższa cena jednostkowa za metr sześcienny surowca, po drugie ze względu na mniejsze nagromadzenie potencjalnego materiału infekcyjnego powierzchnia byłaby łatwiejsza do odnowienia. Rozważając sytuację pod kątem liczby drzew porażonych na powierzchniach wykonywanie wszelkich cięć w okresie zimowym, praktycznie zabezpieczyłoby drzewostany przed porażeniem grzybów rodzaju *Heterobasidion*.

Średnia liczba drzew porażonych w obydwóch nadleśnictwach w wariancie drzewostanu zdrowego wynosiłaby 42 sztuki. Natomiast w momencie gdy pozyskanie drewna zostałyby przeniesione na okres zimowy liczba drzew porażonych wzrosłaby ledwie o 12 sztuk. Należy sobie zadać pytanie czy w kontekście obecnych zmian klimatycznych cięcia zimowe są w stanie zabezpieczyć użytkowane powierzchnie przed infekcjami ze strony patogenów, tak skutecznie jak miało to miejsce jeszcze 20 lat wstecz. Biorąc pod uwagę wyniki osiągnięte podczas badań wykonanych w ramach niniejszej pracy wydaje się to możliwe pod warunkiem, że za cięcia zimowe przyjmujemy te, które byłyby wykonywane od stycznia do końca marca. Wskaźnik zasobności drzewostanu w wieku rębności jest również warty wzięcia pod uwagę. Jednak przedmiotowy wskaźnik należy analizować w połączeniu z liczbą zabiegów trzebieżowych, które byłyby możliwe do wykonania zanim drzewostan osiągnie założony wiek rębności. Jeżeli ostatni z wymienionych parametrów nie zostanie wzięty pod uwagę istnieje niebezpieczeństwo błędnej analizy scenariuszy rozwoju choroby w drzewostanie. Przykładowo model ROTSTAND w pododdz. 184g określił zasobność drzewostanu zdrowego w wieku 95 lat w wysokości 286,70 m<sup>3</sup>/ha, z kolei zasobność drzewostanu porażonego, spalowanego i niezabezpieczonego *P. gigantea* wyniosłaby 392,60 m<sup>3</sup>/ha. W momencie gdy wskaźnik liczby możliwych do przeprowadzenia zabiegów trzebieży nie zostałby wzięty pod uwagę doszłoby do paradoksalnej sytuacji, w której drzewostan porażony przez grzyby rodzaju *Heterobasidion* w najwyższym możliwym stopniu byłby bardziej zasobny niż drzewostan zdrowy. W analizowanym przypadku w wariancie nr 1 istniałaby możliwość przeprowadzenia trzech zabiegów trzebieży, podczas gdy w wariancie nr 3 tylko dwóch. Rozważana sytuacja skutkowałaby mniejszą o 70 m<sup>3</sup>/ha ilością pozyskanego drewna do czasu uprzętnięcia drzewostanu, co teoretycznie mogłoby przynieść stratę rzędu 120 000 zł/ha – stan na moment przeprowadzenia symulacji.

Może niepokoić fakt, iż liczby wygenerowane przez model ROTSTAND są tak wysokie. Jednak należy wziąć pod uwagę, że model analizuje rozwój choroby jedynie pod kątem tej powodowanej przez grzyby rodzaju *Heterobasidion*, podczas gdy w omawianych drzewostanach należy dodatkowo uwzględnić udział zgnilizn będących efektem działań innych gatunków np. saprotrofów zasiedlających rany poboczniczy pnia. Przykładowo ČERMÁK i in. (2004b) stwierdzili, że wielkość surowca drzewnego dotkniętego zgnilizną spowodowaną spalowaniem strzał świerkowych przez jeleniowate, w drzewostanach około pięćdziesięcioletnich może wynosić 25,6 m<sup>3</sup>/ha. Ponadto podobne badania analizujące postęp rozprzestrzeniania się zgnilizny w pniach dotkniętych spalowaniem określiły, iż zjawisko to może w efekcie zająć około 40% miąższości pnia (ČERMÁK i in. 2004a). Z kolei

ARHIPOVA i in. (2011) w badanych drzewostanach świerkowych na Łotwie wskazali, że rozmiar utraconego surowca może wynosić od 6% do 16% miąższości drzewostanu bez względu na przyczynę powstania zgnilizny w pniu. Biorąc pod uwagę rozważania na temat wykorzystania modelu ROTSTAND jako praktyk uważam, że model ten może być przydatny dla praktyki leśnej do prognozowania rozwoju porażenia drzewostanów świerkowych przez *H. parviporum*

## 7. Wnioski

Badania przeprowadzone w ramach niniejszej pracy pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. *Heterobasidion parviporum* nie był gatunkiem dominującym zasiedlającym rany na pniach świerkowych w badanych drzewostanach. Najliczniej rany były zasiedlane przez *Amylostereum areolatum*.
2. Wśród patogenów *Corinectria fuckeliana* był najbardziej powszechny we wszystkich ranach.
3. Okres jesienny powstawania ran na pniach świerkowych sprzyja ich zasiedlaniu przez grzyby, jak również różnicowaniu ich zbiorowisk w drewnie.
4. Wysokość powstawania ran na pniu różnicuje zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno. Wyższe wartości wskaźników różnorodności odnotowano dla wysokości 125 cm niż 25 cm.
5. Kierunek geograficzny powstawania ran na pniu nie ma istotnego wpływu na zróżnicowanie zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno.
6. Model ROTSTAND może być przydatny dla praktyki leśnej do prognozowania rozwoju porażenia drzewostanów świerkowych przez *H. parviporum*, projektowania zabiegów oraz decydowania o momencie, w którym należy rozpocząć przebudowę drzewostanu.

## 7. LITERATURA

1. Anderson M., J., 2001. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral Ecology* 26: 32–46.
2. Atta H., A.E., Hayes, A.J. 1987. Decay in Norway Spruce caused by *Stereum sanguinolentum* Alb. & Schw. ex Fr. developing from extraction wounds. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 60(1): 101–111.
3. Arhipova, N., Gaitnieks, T., Donis, J., Stenlid, J., Vasaitis, R. 2011. Butt rot incidence, causal fungi, and related yield loss in *Picea abies* stands of Latvia. *Canadian Journal of Forest Research* 41(12): 2337–2345.
4. Arhipova, N., Jansons, A., Zaluma, A., Gaitnieks, T., Vasaitis, R. 2015. Bark stripping of *Pinus contorta* caused by moose and deer: Wounding patterns, discoloration of wood, and associated fungi. *Canadian Journal of Forest Research* 45(10): 1434–1438.
5. Bazzigher, G. 1973. Wundfäule in Fichtenwäldungen mit alten Schältschäden. *European Journal Forest Pathology* 3(2): 71–82.
6. Benson, D.A., Cavanaugh, M., Clark, K., Karsch-Mizrachi, I., Ostell, J., Pruitt, K.D., Sayers, E.W. 2018. GenBank. *Nucleic Acids Research* 46: D41–D47
7. Bernadzki, E., 1990. Nowy model lasu, a szkody łowieckie. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria B*, 10: 5-11.
8. Boratyński, A., Bugała, W. [red.] 1998. *Biologia świerka pospolitego*. Polska Akademia Nauk, Instytut Dendrologii. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań. 508–528.
9. Bruchwald, A., 1977. Change in top height of pine forest stands with age. *Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences. Série des Sciences Biologiques*, 5: 335-342.
10. Bruchwald, A., 1988. Introductory program of the MDI-1 growth model for Scots pine. *Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW-AR, Forestry and Wood Technology*, 36: 3-9.
11. Bruchwald, A., Michalak, K., Wróblewski, L., Zasada, M., 2000. Analiza funkcji wzrostu wysokości dla różnych regionów Polski. W: *Przestrzenne zróżnicowanie wzrostu sosny*. Fundacja „Rozwój SGGW”: 84-91.

12. Brūna, L., Lione, G., Kenigšvalde, K., Burneviča, N., Zaļuma, A., Kļaviņa, D., Gaitnieks, T., Gonthier, P. 2021. Inferences on the susceptibility of wood of different tree species to *Heterobasidion annosum* sensu lato (Fr.) Bref. Primary infections and on the range of pathogen spores dispersal. *Forests* 12(7): 854.
13. Brzeziecki, B., Hilszczański, J., Kowalski, T., Łakomy, P., Małek, S., Miścicki, S., Modrzyński, J., Sowa, J., Starzyk, J.R., 2018. Problem masowego zamierania drzewostanów świerkowych w Leśnym Kompleksie Promocyjnym „Puszcza Białowieska”. *Sylwan*, 162(5): 373–386
14. Caporaso, J.G., Lauber, C.L., Walters, W.A., Berg-Lyons, D., Lozupone, C.A., Turnbaugh, P.J., Fierer, N., Knight, R. 2011. Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 108(Suppl 1): 4516–4522.
15. Čermák, P., Jankovský, L., Glogar, J. 2004. Damage by deer barking and browsing and subsequent rots in Norway spruce stands of Forest Range Mořkov, Forest District Frenštát p. R. (the Beskids Protected Landscape Area). *Journal of Forest Science* 50(1): 24–30.
16. Čermák, P., Jankovský, L., Glogar, J. 2004. Progress of spreading *Stereum sanguinolentum* (Alb. et Schw.: Fr.) Fr. wound rot and its impact on the stability of spruce stands. *Journal of Forest Science* 50(8): 360–365.
17. Čermák, P., Strejček, M. 2007. Stem decay by *Stereum sanguinolentum* after red deer damage in the Českomoravská vrchovina Highlands. *Journal of Forest Science* 53(12): 567–572.
18. Cukor, J., Vacek, Z., Linda, R., Vacek, S., Marada, P., Šimunek, V., Havránek, F. 2019. Effects of bark stripping on timber production and structure of Norway spruce forests in relation to climatic factors. *Forests* 10: 320.
19. D’Andrea, G., Šimunek, V., Pericolo, O., Vacek, Z., Vacek, S., Corleto, R., Olejář, L., Ripullone, F., 2023. Growth response of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) in Central Bohemia (Czech Republic) to climate change. *Forests* 14: 1215
20. Deflorio, G., Johnson, C., Fink, S., Willis, F., Schwarze, M.R. 2008. Decay development in living sapwood of coniferous and deciduous trees inoculated with six wood decay fungi. *Forest Ecology and Management* 255(7): 2373–2383.
21. Delatour, C. 1990. Microflore interne des tissus ligneux de l’épicéa commun sur pied. III. Confrontation *in vitro*. *Annales des Sciences Forestières* 47: 299-307.
22. Dmyterko, E., Bruchwald, A., Mionskowski, M., 2019. Rozpad drzewostanów świerkowych w Beskidzie Żywieckim. *Sylwan* 163(2): 130–140.

23. Dzieciolowski, R. 1981. Sytuacja w zakresie hodowli i pozyskania zwierzyny grubej w Europie. *Sylwan* 125(3): 17–26.
24. Faber, W.E., Thorson, E.M. 1996. Bark stripping of young *Pinus sylvestris* by *Alces alces* on the individual, stand, and landscape level in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 26(12): 2109–2114.
25. Fruziński, B., 1990. Nowe kierunki gospodarki leśnej w lasach. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. Seria B*, 10: 36-45.
26. Gill, R.M.A. 1992. A review of damage by mammals in North Temperate Forests: 1. Deer. *Forestry* 65(2): 145–169.
27. Gill, R., Webber, J., Peace, A. 2001. The economic implications of deer damage: A review of current evidence. The Deer Commission for Scotland, Annual Report 1999-2000.
28. Gordon, I.J., Hester, A.J., Festa-Bianchet, M. 2004. The management of wild large herbivores to meet economic, conservation and environmental objectives. *Journal of Applied Ecology* 41: 1021–1031.
29. Hallaksela, A.-M. 1984. Causal agents of butt-rot in Norway spruce in Southern Finland. *Silva Fennica* 18: 237–243.
30. Hallaksela, A.-M. 1993. Early interactions of *Heterobasidion annosum* and *Stereum sanguinolentum* with non-decay fungi and bacteria following inoculation into stems of *Picea abies*. *European Journal of Forest Pathology* 23: 416–430.
31. Harri Mäkinen, Anna-Maija Hallaksela, Antti Isomäki. 2007. Increment and decay in Norway spruce and Scots pine after artificial logging damage. *Canadian Journal of Forest Research* 37(11): 2235–2245.
32. Honkaniemi, J. 2017. Integrating mechanistic disturbance models and stand dynamics of *Norway spruce*. *Dissertationes Forestales* 241: 41 p.
33. Isomäki, A., Kallio, T. 1974. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* 133: 1–28.
34. Kallio, T., Tamminen, P. 1974. Decay of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Aland Islands. *Acta Forestalia Fennica* 138: 1–42.
35. Kallio, T. 1973. *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee and wounded spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* 133: 1–28.
36. Kallio, T. 1976. *Peniophora gigantea* (Fr.) Masee and wounded spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Acta Forestalia Fennica* 149: 1–18.

37. Koch, J., Thogjiem N. 1989. Wound and root damage in Norway spruce following mechanical thinning. *Opera Botanica* 100: 153-162.
38. Łakomy, P. 2023. Huba korzeni. W: *Fitopatologia leśna*. Mańka M., Grzywacz A. (red.). Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu: 482-496.
39. Łakomy, P., Cieślak, R., Rodak, W., Kostrzewski, T. 2001. Wpływ porażenia przez *Heterobasidion annosum* wybranych drzewostanów sosnowych i świerkowych na powstanie wiatrołomów i wiatrowałów w 1999 i 2000 roku. *Sylwan* 7: 43–54.
40. Malinowski, E. 1966. *Anatomia roślin*. PWN.
41. Marcel, M. 2011. Cutadapt removes adapter sequences from high-throughput sequencing reads. *EMBnet.journal* 17: 10–12.
42. Mäkinen, H., Hallaksela, A.-M., Isomäki, A. 2007. Increment and decay in Norway spruce and Scots pine after artificial logging damage. *Canadian Journal of Forest Research* 37(11): 2421–2432.
43. McNulty, S.G. (red.), 2023. *Future Forests: Mitigation and Adaptation to Climate Change*. Elsevier, ss. 299. ISBN: 978-0-323-90430-8.
44. Metzler, B. 1997. Quantitative assessment of fungal colonization in Norway spruce after green pruning. *European Journal of Forest Pathology* 27: 1–11.
45. Morow, K. 1974. Szkody powodowane przez łosie w gospodarstwie leśnym. *Sylwan* 6: 38–43.
46. Nataļija Burneviča, Āris Jansons, Astra Zaļuma, Dārta Kļaviņa, Jurgis Jansons, Tālis Gaitnieks. 2016. Fungi inhabiting bark stripping wounds made by large game on stems of *Picea abies* (L.) Karst. in Latvia. *Baltic Forestry* 22(1): 42.
47. Oksanen, J., Friendly, M., Kindt, R. Measurement of Biodiversity (MoB) View Project. Available online: <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vegan.pdf> (accessed on 1 May 2023).
48. Pach, M. 2002. Spalowanie jodły na terenie Leśnego Zakładu Doświadczalnego w Krynicy (Beskid Sądecki) oraz jego wpływ na wybrane cechy morfologiczne koron. *Acta Agr. Silv. Ser. Silv.* 40: 31–47.
49. Pach, M. 2003. Wpływ spalowania powodowanego przez jelenie na szerokość słoju rocznych pni jodeł. *Acta Agr. Silv. Ser. Silv.* 41: 75–82.
50. Pach, M. 2004. Wpływ spalowania powodowanego przez jelenie na przyrost wysokości i miąższości jodeł (*Abies alba* Mill.). *Acta Agr. Silv. Ser. Silv.* 42: 35–48.

51. Pach, M. 2005. Zasięg i dynamika rozprzestrzeniania się zgnilizny wewnątrz pni jodeł w wyniku ich spalowania przez jeleniowate. *Sylwan* 5: 23–25.
52. Pach, M. 2008. Tempo zarastania spał na jodle oraz niektóre czynniki na nie wpływające. *Sylwan* 4: 46–57.
53. Pawsey, R.G., Stankovicova, L., 1974. Studies of extraction damage decay in crops of *Picea abies* in southern England. *European Journal of Forest Pathology* 4: 129–137.
54. Pechmann, H. von, Aufsess, H., von, 1971. Untersuchungen über die Erreger von Stammfäulen in Fichtenbeständen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 90: 259–284.
55. Pölme, S., Abarenkov, K., Nilsson, R.H., Lindahl, B.D., Clemmensen, K.E., Kauserud, H., Nguyen, N., Kjølner, R., Bates, S.T., Baldrian, P., et al. 2020. FungalTraits: A user-friendly traits database of fungi and fungus-like stramenopiles. *Fungal Diversity* 105: 1–16.
56. Randveer, T., Heikkilä, R. 1996. Damage caused by moose (*Alces alces* L.) by bark stripping of *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 153–158.
57. Redfern D., B., Stenlid J. 1998. Spore Dispersal and Infection. W: Woodward S., Stenlid J., Karjalainen R., Hüttermann A., (red). *Heterobasidion annosum*. Biology, Ecology, Impact and Control. CAB International: 105-124.
58. Roll-Hansen, F., Roll-Hansen, H. 1980. Microorganisms which invade *Picea abies* in seasonal stem wounds. II. Ascomycetes, Fungi imperfecti, and Bacteria. General discussion, Hymenomycetes included. *European Journal of Forest Pathology* 10: 396–410.
59. Rocznik Statystyczny Leśnictwa 2022. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
60. R Core Team. 2024. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Available online: <https://www.R-project.org> (accessed on 3 October 2024).
61. Shibata, E., Torazawa, Y. 2008. Effects of bark stripping by sika deer, *Cervus nippon*, on wind damage to coniferous trees in subalpine forest of central Japan. *Journal of Forest Research* 13(5): 296–301.
62. Sierota, Z., 1997. An analysis of the root rot spread in a Scots pine stand growing in post-agricultural land. *Folia Forestalia Polonica. Seria A - Forestry*, 39: 27-37.
63. Škvareninová, J., Mrekaj, I., 2022. Impact of climate change on Norway spruce flowering in the southern part of the Western Carpathians. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10: 865471.

64. Strózczyński, A., Szaban, J. 2007. The influence of selected weather components and anthropogenic anxiety on the extent of damage caused by cervine species in the woodland of Świebodzin Forest Inspectorate. *Human Nature Safety* 12: 231–233.
65. Szczerbiński, W. 1960. Zabiegi pielęgnacyjne w drzewostanach świerkowych i sosnowych spalowanych przez grubą zwierzynę. *Sylwan* 5: 37–45.
66. Szaban, J. 2008. The problem of tapping tree stands caused by the deer and its influence on the technical quality of wood raw material of chosen coniferous species. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW, Forestry and Wood Technology* 66: 94–97.
67. Szaban, J. 2009. The development of rot in spruce wood caused by tapping by cervine species. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW, Forestry and Wood Technology* 69: 339–343.
68. Szaban, J. 1960. Zabiegi pielęgnacyjne w drzewostanach świerkowych i sosnowych spalowanych przez grubą zwierzynę. *Sylwan* 5: 37–45.
69. Schmidt, S., Moser, M., Sperandio, M. 2013. The molecular basis of leukocyte recruitment and its deficiencies. *Molecular Immunology* 55: 49–58.
70. Shibata E., Torazawa Y.. 2008. Effects of bark stripping by sika deer, *Cervus nippon*, on wind damage to coniferous trees in subalpine forest of central Japan. *Journal of Forest Research* 13(5): 296-301
71. Solheim H., Selås P., 1986. Misfarging og mikroflora i ved etter saring av gran. I. Udbredelser etter Zar. Rapport Norsk institute for skogforskning 7/86: 1-16.
72. Szczepkowski A., Kowalczyk W., Sikora K., Damszel M., Sierota Z.. 2022. Fungi occurring in Norway spruce wood decayed by *Heterobasidion parviporum* in Puszcza Borecka stands (Northeastern Poland). *Forests* 13: 229.
73. Szukiel, E. 1973. Z badań nad przyczynami spalowania drzew przez jeleniowate. *Sylwan* 3: 49–56.
74. Szukiel, E. 1978. Zależność rozmiaru spalowania od zagęszczenia jeleni w stosunku do ustalonych norm pojemności łowisk. *Sylwan* 10: 37–43.
75. Szukiel, E., 1981. Przyczyny wzrostu szkód w lasach Europy. *Sylwan*, 7-9.
76. Szukiel, E. 1989. Dziki królik. *Łowiectwo. Praca*.
77. Trampler, T., 1974. Tablice miąższości drzewostanów pomierzonych sposobem Bitterlicha. Instytut Badawczy Leśnictwa.

78. Vacek, Z., Cukor, J., Linda, R., Vacek, S., Šimůnek, V., Brichta, J., Prokúpková, A. 2020. Bark stripping, the crucial factor affecting stem rot development and timber production of Norway spruce forests in Central Europe. *Forest Ecology and Management* 474: 118360.
79. Vlad, R., Sidor, C. 2015. Assessment of the wood volume with stem decay in Norway spruce stands damaged by red deer. Projekt: Management of the Norway spruce stands damaged by red deer (*Cervus elaphus*).
80. Vasaitis, R., Lygis, V., Vasiliauskaite, I., Vasiliauskas, A. 2012. Wound occlusion and decay in *Picea abies* stems. *European Journal of Forest Research* 131: 1211–1216.
81. Vasiliauskas, R. 1988. Patterns of wounding and decay in stems of *Quercus robur* due to bark peeling. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 437–441.
82. Vasiliauskas, R., Stenlid, J., Johansson M., 1996. Fungi in bark peeling wounds of *Picea abies* in central Sweden. *European Journal of Forest Pathology* 26: 285–296.
83. Vasiliauskas, R., Stenlid, J. 1998a. Fungi inhabiting stems of *Picea abies* in a managed stand in Lithuania. *Forest Mycology and Management* 109: 119–126.
84. Vasiliauskas, R., Stenlid, J. 1998b. Spread of *Stereum sanguinolentum* Vegetative Compatibility Groups within a Stand and within Stems of *Picea abies*. *Silva Fennica* 32(4): 301–309.
85. Vasiliauskas, R. 1998. Five basidiomycetes in living stems of *Picea abies* associated with 7–25 year-old wounds. *Baltic Forestry* 1: 29–35.
86. Vasiliauskas, R. 1999. Spread of *Amylostereum areolatum* and *A. chailletii* decay in living stems of *Picea abies*. *Forestry* 72(2): 95–102.
87. Vasiliauskas, R., Lygis, V., Larsson, K.H., Stenlid, J. 2005. Airborne fungal colonisation of coarse woody debris in North Temperate *Picea abies* forest: Impact of season and local spatial scale. *Mycological Research* 109 (Pt 4): 487–496.
88. Vilgalys, R., Hester, M. 1990. Rapid genetic identification and mapping of enzymatically amplified ribosomal DNA from several *Cryptococcus* species. *Journal of Bacteriology* 172: 4238–4246.
89. Welch, D., Scot, D. 1997. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland: III. Trends in wound condition. *Forestry* 70(2): 113–120.

90. Welch, D., Scott, D. 1998. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland: IV. Survival and performance of wounded trees. *Forestry* 71(3): 224–235.
91. Welch, D., Staines, B.W., Scot, D., Catt, D.C. 1988. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland: II. Wound size and position. *Forestry* 61(3): 245–254.
92. Welch, D., Staines, B.W., Scot, D., Catt, D.C. 1987. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland: I. Incidence. *Forestry* 60(2): 249–262.
93. Woodward, S., Pratt, J.E., Pukkala, T., Spanos, K.A., Nicolotti, G., Tomiczek, C., Stenlid, J., Marçais, B., Łakomy, P., 2002. MOHIEF: Modelling of *Heterobasidion* in European forests, an EU-funded research programme. W: Laflamme, G., Bérubé, J.A., Bussièries, G. (red.). *Root and Butt Rots of Forest Trees. Proceedings of the IUFRO Working Party 7.02.01. 10th International Conference on Root and Butt Rots. Quebec, Canada, 16-22 Sept. 2001*: 423–427.
94. Woodward, S., Pratt, J.E., Pukkala, T., Spanos, K., Nicolotti, G., Cech, T., Stenlid, J., Marçais, B., Łakomy, P., Shaw, C.G., 2005. MOHIEF: Modelling *Heterobasidion* infection in European forests. W: Mańka, M., Łakomy, P. (red.). *Root and Butt Rots of Forest Trees. Proceedings of the IUFRO Working Party 7.02.01. 11th International Conference on Root and Butt Rots. Poznań-Białowieża, Poland, 16-22 Aug. 2004*: 475–484.
95. Woszczyński S. 1936. Przyczyny spałowania młodników sosnowych przez jelenie i możliwość zapobieżenia temu. *Echa polskich łowisk*. [przedruk] *Zachodni Poradnik Łowiecki* 2005. 3 (15): 14-15.
96. Zielony, R., Kliczkowska, A., 2012. *Regionalizacja przyrodniczo-leśna Polski 2010*. CILP, Warszawa.

## STRESZCZENIE

### **Zmiany zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno spał na świerkach ze szczególnym uwzględnieniem grzybów patogenicznych i powodujących zgnilizny drewna**

Cel. Celem pracy było określenie gatunków grzybów zasiedlających rany na świerkach, także te powstałe w wyniku spalowania drzew przez jeleniowate. Ponadto badania miały określić stopień zagrożenia infekcyjnego ze strony grzybów patogenicznych i powodujących zgnilizny drewna. Dodatkowym celem tej pracy było testowanie modelu ROTSTAND dla drzewostanów świerkowych. Na potrzeby pracy sprecyzowano pięć hipotez badawczych: 1) głównym sprawcą zgnilizny drewna w badanych drzewostanach jest *Heterobasidion parviporum*; 2) istnieją różnice w zasiedlaniu ran powstałych w okresie wiosennym a jesiennym przez grzyby; 3) wysokość powstawania ran na pniu będzie różnicowała zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno; 4) kierunek geograficzny powstawania ran na pniu będzie różnicował zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno; 5) model ROTSTAND może być przydatny dla praktyki leśnej do prognozowania rozwoju porażenia drzewostanów świerkowych przez *Heterobasidion parviporum*.

Materiały i metody. Badania realizowano przez trzy sezony wegetacyjne w wybranych 50-letnich drzewostanach świerkowych w Nadleśnictwach Drygały i Suwałki. Założono osiem powierzchni badawczych o wymiarach 40 x 40 m, a na wybranych drzewach wykonywano w sposób sztuczny rany imitujące spały w dwóch terminach wiosennym (kwiecień-maj) i jesiennym (listopad-grudzień), na dwóch wysokościach strzały (25 cm i 125 cm), zlokalizowanych na strzale z czterech głównych kierunków geograficznych. Ponadto wykonano inwentaryzację owocników grzybów pojawiających się na pniakach i leżącym drewnie, a w stosunku do inwentaryzacji *Heterobasidion parviporum* posłużono się metodą małych odkrywek glebowych. Z drewna ran bezpośrednio po ich wykonaniu, jak i po trzech latach ekspozycji pobierano próby drewna za pomocą wiertarki. Następnie w laboratorium dokonywano izolacji DNA, które wykorzystano do reakcji PCR. Produkt PCR sprawdzono pod względem jakości, oczyszczono i wysłano do sekwencjonowania systemem Illumina w firmie zewnętrznej, Genomed S.A. (Warszawa, Polska). Otrzymane sekwencje poddano dalszej analizie bioinformatycznej w celu przygotowania biblioteki OTU (ang. operational taxonomic unit, operacyjna jednostka taksonomiczna). Analiza bioinformatyczna zapewniająca

klasyfikację odczytów do poziomu gatunku została przeprowadzona pakietem oprogramowania QIIME2 w oparciu o bazę sekwencji referencyjnych NCBI. Dane przeanalizowano statystycznie z wykorzystaniem programu R (R Core Team, 2024). W celu wizualizacji struktury zbiorowisk grzybów zastosowano analizę PCoA (Principal Coordinates Analysis) na podstawie odległości Bray-Curtis. Wykresy PCoA zostały wygenerowane za pomocą funkcji `ordinate()` z pakietu `phyloseq` w języku R, a następnie przedstawione przy użyciu funkcji `ggplot2`. W celu oceny alfa różnorodności poszczególnych prób obliczono różne wskaźniki bioróżnorodności, takie jak: Chao1, szacujący bogactwo gatunkowe; wskaźnik Pielou, mierzący równomierność rozmieszczenia gatunków; indeks Shannona, określający różnorodność gatunkową; oraz wskaźnik Simpsona, stosowany do oceny dominacji pojedynczych gatunków. Przeprowadzono także symulację rozwoju huby korzeni w badanych drzewostanach wykorzystując model ROTSTAND dla różnych scenariuszy zasiedlenia drzewostanów przez patogena, jak również dla różnych zabiegów gospodarczych w czasie rozwoju drzewostanu.

Wyniki. Na 8 powierzchniach badawczych (areal 1,28 ha) zaobserwowano wystąpienie 34 gatunków grzybów. W Nadleśnictwie Drygały odnotowano obecność owocników 23 gatunków, natomiast w Nadleśnictwie Suwałki odnotowano obecność owocników 17 gatunków grzybów. Z pobranego materiału badawczego uzyskano 11 426 289 sekwencji DNA. Dokonano identyfikacji 1 752 taksony z następujących typów: *Aphelidiomycota*, *Ascomycota*, *Basidiobolomycota*, *Basidiomycota*, *Chytridiomycota*, *Monoblepharomycota*, *Mortierellomycota*, *Mucoromycota*, *Ochrophyta*, *Olpidiomycota*, *Oomycota*, *Rozellomycota* oraz *Zoopagomycota*.

Średni udział taksonów należących do *Ascomycota* w drewnie ran pobranym na początku doświadczenia wynosił od 66,89% do 71,55%, a po latach od założenia doświadczenia wzrósł we wszystkich wariantach i wynosił 69,96%-83,30%. W przypadku grzybów należących do *Basidiomycota* w większości wariantów zaobserwowano wzrost średniego udziału taksonów po 3 latach od 23,8% do 29,78%. W trakcie prowadzenia doświadczenia pobierano drewno również z ran, które powstały w naturalny sposób w wyniku spalowania przez jelenie i łosie.

W drewnie pochodzącym z ran wykonanych jesienią zaobserwowano, że wraz z upływem czasu trwania doświadczenia liczba taksonów zasiedlających drewno zmniejszyła się z 1028 do 828. Prawie 31% taksonów występowało zarówno na początku, jak i na końcu okresu obserwacji. W przypadku ran wykonanych wiosną liczba zidentyfikowanych taksonów wynosiła początkowo 816, następnie uległa zmniejszeniu do 654. wiosną na koniec

doświadczenia pojawiło się 78 nowych taksonów. W naturalnych spałach zbiorowisko grzybów i *Oomycota* charakteryzowało się większą różnorodnością, obejmującą 1405 taksonów, przy czym 275 taksonów nie stwierdzono w ranach wykonanych w terminie jesiennym, 694 w wiosennym.

Wśród grzybów związanych z rozkładem drewna taksony takie jak *Amylostereum areolatum*, *Claussenomyces olivaceus*, *Claussenomyces* sp., *Corinectria fuckeliana*, *Heterobasidion parviporum*, *Ischnoderma benzoinum*, *Ischnoderma* sp., *Lachnellula calyciformis*, *Sistotrema brinkmannii*, *Sistotrema* spp., *Stereum* spp. charakteryzowały się największym udziałem. Wśród zidentyfikowanych taksonów dominowały grzyby należące do saprotrofów i patogenów. Saprotrofy o największym udziale to *I. benzoinum* (udział 5,93%), *Sarea* sp. (5,64%) oraz *Claussenomyces* sp. (4,09%), natomiast patogeny to *H. parviporum* (4,87%), *C. fuckeliana* (4,71%) i *Nectria dacryocarpa* (3,63%).

Obserwowano zwiększenie udziału patogenów w zbiorowiskach grzybów izolowanych z ran po trzech latach ich ekspozycji ( $R^2 = 0,11071$ ,  $p < 0,001$ ), a także w ranach powstałych w okresie jesiennym ( $R^2 = 0,03726$ ,  $p = 0,007$ ). Stwierdzono zmniejszenie udziału saprotrofów w drewnie ran zbiorowiska grzybów po trzech latach doświadczenia niezależnie od terminu wykonania rany ( $R^2 = 0,15655$ ,  $p < 0,001$ ). Jednakże stwierdzono większą liczbę saprotrofów w ranach powstałych jesienią ( $R^2 = 0,17655$ ,  $p < 0,001$ ).

W przypadku taksonów związanych z rozkładem drewna udział w zbiorowiskach grzybów gatunków takich jak *A. areolatum*, *C. olivaceus* oraz *C. fuckeliana* wzrósł na koniec doświadczenia, niezależnie od tego, czy rany wykonano jesienią, czy wiosną. Odwrotny trend zaobserwowano w przypadku taksonów takich jak *Sistotrema* spp., *Stereum* spp., oraz *H. parviporum*.

Chociaż w przypadku *H. parviporum* po trzech latach ekspozycji ran stwierdzono nowe porażenia. Sytuacja taka miała miejsce w 9 przypadkach ran wykonanych na wiosnę i tylko w dwóch przypadkach ran wykonanych jesienią. W obu wariantach wiosna i jesień liczebność izolatów *H. parviporum* istotnie wzrosła po trzech latach ekspozycji ran ( $p = 0,044076$ ). Patogena stwierdzono w 41% spał pochodzenia naturalnego.

Analiza wyników badań wykazała istotne różnice w wartościach wybranych wskaźników bioróżnorodności (Chao1, Pielou, Shannona, Simpsona) w zależności od pory roku, etapu doświadczenia, wysokości wykonania rany oraz strony świata, od której rana została wykonana. Bogactwo gatunkowe zależało od terminu powstania rany, a nie od czasu jej ekspozycji, wysokości oraz strony świata jej powstania. Na Równomierność rozmieszczenia gatunków nie wpływała tylko strona pnia na której powstawała rana, a większa równomierność

byłą zauważona na końcu doświadczenia oraz w ranach na wysokości 125 cm (Pielou 0,3981 vs. Pielou 0,5275). Różnorodność gatunkowa zależała od pory roku powstania rany jak i etapu doświadczenia, w ranach jesiennych (Shannon index 2,04 vs. Shannon index 2,77) i na końcu doświadczenia była wyższa, jak również zbiorowiska grzybów występujące w ranach na wysokości 125 cm cechowały się wyższą różnorodnością gatunkową niż te powstałe na wysokości 25 cm (odpowiednio Shannon index 4,075 i 3,28). Na bogactwo gatunkowe w drewnie ran miały wpływ czas trwania eksperymentu (Simpson index początek = 0,7543, koniec = 0,8356), termin powstania ran (Simpson index wiosna = 0,7543, Simpson index jesień = 0,8356) oraz wysokość wykonania rany (Simpson index 25 cm = 0,7562, Simpson index 125 cm = 0,8337)). Na końcu doświadczenia jesienią i na wysokości 125 cm zbiorowiska były bardziej zróżnicowane. Na strukturę zmienności zbiorowisk miały wpływ czas trwania eksperymentu ( $F = 21,63$ ,  $p < 0,001$ ), pora roku wykonania rany ( $F = 20,56$ ,  $p < 0,001$ ), natomiast nie miały wpływu wysokość wykonania rany ( $F = 1,32$ ,  $p = 0,25$ ) oraz strona pnia, na której wykonano ranę ( $F = 0,89$ ,  $p = 0,48$ ).

W drewnie ran wykonanych w eksperymencie jak i w spałach naturalnego pochodzenia stwierdzono obecność gatunków, dla których w Czerwonej liście roślin i grzybów Polski (2006) określono kategorie zagrożenia. Trzy gatunki określono jako wymierające i krytycznie zagrożone (E): *Cerinomyces tortus* (łzawnik zielonawy), *Tubulicrinis borealis* (rozwieńnik północny) i *Postia guttulata* (drobнопorek łzawiący). Ponadto oznaczono gatunki rzadkie, potencjalnie zagrożony wymarciem (R): *Ceriporia reticulata* (woszczyńka siateczkowata), *Ceriporia viridans* (woszczyńka zieleniejąca) i *Oxyporus corticola* (napień wypłowiasty).

W przypadku modelowania rozwoju huby korzeni za pomocą modelu ROTSTAND stwierdzono, że najmniejszą liczbą zasiedlonych przez *H. parviporum* drzew będzie w tych drzewostanach, kiedy zaplanujemy zabiegi trzebieży z równoczesnym wykorzystaniem preparatu biologicznej ochrony na pniaki oraz z dbałością o jak najmniejsze kaleczenia drzew podczas prac hodowlanych.

Wnioski: 1) *Heterobasidion parviporum* nie był gatunkiem dominującym zasiedlającym rany na pniach świerkowych w badanych drzewostanach. Najliczniej rany były zasiedlane przez *Amylostereum areolatum*; 2) Wśród patogenów *Corinectria fuckeliana* była najbardziej powszechny we wszystkich ranach; 3) Okres jesienny powstawania ran na pniach świerkowych sprzyja ich zasiedlaniu przez grzyby, jak również różnicowaniu ich zbiorowisk w drewnie; 4) Wysokość powstawania ran na pniu różnicuje zbiorowiska grzybów zasiedlających drewno. Wyższe wartości wskaźników różnorodności odnotowano dla wysokości

125 cm niż 25 cm; 5) Kierunek geograficzny powstawania ran na pniu nie ma istotnego wpływu na zróżnicowanie zbiorowisk grzybów zasiedlających drewno; 6) Model ROTSTAND może być przydatny dla praktyki leśnej do prognozowania rozwoju porażenia drzewostanów świerkowych przez *H. parviporum*, projektowania zabiegów oraz decydowania o momencie, w którym należy rozpocząć przebudowę drzewostanu.

## SUMMARY

### **Changes of fungal communities inhabiting bark stripped Norway Spruce trees with particular focus on pathogenic and rot causing fungi**

*Aim.* The aim of the study was to determine the species of fungi inhabiting wounds on spruce trees, including those created as a result of deer barking. In addition, the study was to determine the level of infection risk from pathogenic fungi and fungi causing wood rot. An additional aim of this study was to test the ROTSTAND model for spruce stands. For the purposes of the study, five research hypotheses were specified: 1) the main cause of wood rot in the studied stands is *Heterobasidion parviporum*; 2) there are differences in the colonization of wounds created in spring and autumn by fungi; 3) the height of wound formation on the trunk will differentiate the communities of fungi inhabiting the wood; 4) the geographical direction of wound formation on the trunk will differentiate the communities of fungi inhabiting the wood; 5) the ROTSTAND model may be useful for forestry practice to predict the development of spruce stands infected by *H. parviporum*.

*Materials and methods.* The research was carried out over three growing seasons in selected 50-year-old spruce stands in the Drygały and Suwałki Forest Districts. Eight research areas with dimensions of 40 x 40 m were established, and wounds imitating dormancy were made artificially on selected trees in two periods: spring (April-May) and autumn (November-December), at two heights of the trunk (25 cm and 125 cm), located on the trunk from four main geographical directions. In addition, an inventory of fungal fruit bodies appearing on stumps and lying wood was made, and in relation to the inventory of *Heterobasidion parviporum*, the method of small soil excavations was used.

Wood samples were taken from the wood of the wounds using a drill immediately after their creation and after three years of exposure. Then, DNA was isolated in the laboratory and used for PCR reaction. The PCR product was quality checked, purified and sent for Illumina sequencing to an external company, Genomed S.A. (Warsaw, Poland). The obtained sequences were further analyzed by bioinformatics to prepare an OTU (operational taxonomic unit) library. Bioinformatics analysis to classify reads to species level was performed using the QIIME2 software package based on the NCBI reference sequence database. Data were statistically analyzed using R (R Core Team, 2024). Principal Coordinates Analysis (PCoA) based on Bray-Curtis distances was used to visualize the fungal community structure. PCoA

plots were generated using the ordination() function from the phyloseq package in R and then plotted using the ggplot2 function.

Different biodiversity indices were calculated to assess the alpha diversity of individual samples, such as: Chao1, estimating species richness; Pielou's index, measuring the evenness of species distribution; Shannon's index, defining species diversity; and Simpson's index, used to assess the dominance of individual species. A simulation of the development of *Heterobasidion* disease in the studied stands was also carried out using the ROTSTAND model for various scenarios of the pathogen infestation of the stands, as well as for various economic treatments during the stand development.

Results. In 8 research areas (area 1.28 ha), 34 species of fungi were observed. In the Drygały Forest District, the presence of fruit bodies of 23 species was recorded, while in the Suwałki Forest District, the presence of fruit bodies of 17 species of fungi was recorded. From the collected research material, 11,426,289 DNA sequences were obtained 1,752 taxa from the following phyla were identified: *Aphelidiomycota*, *Ascomycota*, *Basidiobolomycota*, *Basidiomycota*, *Chytridiomycota*, *Monoblepharomycota*, *Mortierellomycota*, *Mucoromycota*, *Ochrophyta*, *Olpidiomycota*, *Oomycota*, *Rozellomycota* and *Zoopagomycota*. The average share of taxa belonging to *Ascomycota* in the wood of wounds collected at the beginning of the experiment ranged from 66.89% to 71.55%, and after years from the establishment of the experiment it increased in all variants and amounted to 69.96%-83.30%.

In the case of fungi belonging to *Basidiomycota*, an increase in the average share of taxa was observed in most variants after 3 years from 23.8% to 29.78%. During the experiment, wood was also collected from wounds that occurred naturally as a result of deer and elk stripping. In wood from wounds made in autumn, the number of taxa inhabiting the wood decreased from 1028 to 828 over the course of the experiment. Almost 31% of taxa were present both at the beginning and at the end of the observation period. In the case of wounds made in spring, the number of identified taxa was initially 816, then decreased to 654. In spring, 78 new taxa appeared at the end of the experiment. In natural dormancy, the fungi and *Oomycota* community was characterized by greater diversity, including 1405 taxa, with 275 taxa not found in wounds made in autumn and 694 in spring.

Among the fungi associated with wood decay, taxa such as *Amylostereum areolatum*, *Claussenomyces olivaceus*, *Claussenomyces* sp., *Corinectria fuckeliana*, *Heterobasidion parviporum*, *Ischnoderma benzoinum*, *Ischnoderma* sp., *Lachnellula calyciformis*, *Sistotrema brinkmannii*, *Sistotrema* spp., *Stereum* spp. were characterized by the largest share. Among the identified taxa, fungi belonging to saprotrophs and pathogens dominated.

Saprotrophs with the largest share were *I. benzoinum* (share 5.93%), *Sarea* sp. (5.64%) and *Claussenomyces* sp. (4.09%), while pathogens were *H. parviporum* (4.87%), *C. fuckeliana* (4.71%) and *Nectria dacryocarpa* (3.63%). An increase in the share of pathogens was observed in the fungal communities isolated from wounds after three years of exposure ( $R^2 = 0.11071$ ,  $p < 0.001$ ), as well as in wounds formed in the autumn ( $R^2 = 0.03726$ ,  $p = 0.007$ ). A decrease in the share of saprotrophs in the fungal community of wound wood was observed after three years of experience, regardless of the date of wound formation ( $R^2 = 0.15655$ ,  $p < 0.001$ ). However, a greater number of saprotrophs was found in wounds formed in the autumn ( $R^2 = 0.17655$ ,  $p < 0.001$ ).

In the case of taxa associated with wood decay, the share of species such as *A. areolatum*, *C. olivaceus* and *C. fuckeliana* in the fungal communities increased at the end of the experiment, regardless of whether the wounds were made in autumn or spring. The opposite trend was observed for taxa such as *Sistotrema* spp., *Stereum* spp., and *H. parviporum*. Although in the case of *H. parviporum*, new infections were found after three years of wound exposure. This occurred in 9 cases of wounds made in spring and only in two cases of wounds made in autumn. In both the spring and autumn variants, the number of *H. parviporum* isolates increased significantly after three years of wound exposure ( $p = 0.044076$ ). The pathogen was found in 41% of the natural wood.

Analysis of the research results showed significant differences in the values of selected biodiversity indices (Chao1, Pielou, Shannon, Simpson) depending on the season, stage of the experiment, height of the wound and the side of the world from which the wound was made. Species richness depended on the time of wound formation, not on the time of its exposure, height and the side of the world from which it was formed. The uniformity of species distribution was not affected only by the side of the trunk on which the wound was formed, and greater uniformity was observed at the end of the experiment and in wounds at a height of 125 cm (Pielou 0.3981 vs. Pielou 0.5275). Species diversity depended on the season of wound formation and the stage of the experiment, in autumn wounds (Shannon index 2.04 vs. Shannon index 2.77) and at the end of the experiment it was higher, and also the fungal communities occurring in wounds at the height of 125 cm were characterized by higher species diversity than those formed at the height of 25 cm (Shannon index 4.075 and 3.28, respectively). Species richness in the wood of wounds was influenced by the duration of the experiment (Simpson index beginning = 0.7543, end = 0.8356), the date of wound formation (Simpson index spring = 0.7543, Simpson index autumn = 0.8356) and the height of the wound (Simpson index 25 cm

= 0.7562, Simpson index 125 cm = 0.8337)). At the end of the experiment in autumn and at the height of 125 cm the communities were more diverse. The structure of community variability was influenced by the duration of the experiment ( $F = 21.63$ ,  $p < 0.001$ ), the season of the wound ( $F = 20.56$ ,  $p < 0.001$ ), whereas the height of the wound ( $F = 1.32$ ,  $p = 0.25$ ) and the side of the trunk on which the wound was made ( $F = 0.89$ ,  $p = 0.48$ ) had no effect.

In the wood of the wounds made in the experiment and in the natural wastes, the presence of species was found for which the Red List of Plants and Fungi of Poland (2006) defined threat categories. Three species were defined as endangered and critically endangered (E): *Cerinomyces tortus*, *Tubulicrinis borealis* and *Postia guttulata*. In addition, rare species, potentially threatened with extinction (R), were identified: *Ceriporia reticulata*, *Ceriporia viridans* and *Oxyporus corticola*. In the case of modelling the development of root collar fungus using the ROTSTAND model, it was found that the smallest number of trees inhabited by *H. parviporum* would be in those stands where thinning treatments were planned with the simultaneous use of a biological protection agent on stumps and with care taken to minimize tree damage during cultivation work.

Conclusions: 1) *Heterobasidion parviporum* was not the dominant species inhabiting wounds on spruce trunks in the studied stands. The wounds were most frequently inhabited by *Amylostereum areolatum*; 2) Among the pathogens, *Corinectria fuckeliana* was the most common in all wounds; 3) The autumn period of wound formation on spruce trunks favors their colonization by fungi, as well as the differentiations of their communities in the wood; 4) The height of wound formation on the trunk differentiate the communities of fungi inhabiting the wood. Higher values of diversity indices were recorded for the height of 125 cm than 25 cm; 5) The geographical direction of wound formation on the trunk does not have a significant effect on the differentiations of fungi communities inhabiting the wood; 6) The ROTSTAND model may be useful for forestry practice in forecasting the development of spruce stands infected with *H. parviporum*, designing treatments and deciding when to start stand reconstruction.