

ANNALES HORTICULTURAE

wcześniej – formerly

Annales UMCS sectio EEE Horticultura

RADA NAUKOWA

Alžbeta Hegedúsová (Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia),
Roman Rolbiecki (Politechnika Bydgoska, Polska),
Viktor P. Karpenko (Uman National University of Horticulture, Ukraine),
Norbert Keutgen (University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria)
Magdalena Kapłań (Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Polska),
Nikolay Panayotov (Agriculture University Plovdiv, Bulgaria),
Robert Pokluda (Mendel University in Brno, Czech Republic),
Barbara Jagosz (Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Poland)

REDAKTOR NACZELNY

Robert Gruszecki

OPRACOWANIE REDAKCYJNE

Anna Wypychowska, Agnieszka Litwińczuk, Agnieszka Brach

SKŁAD I ŁAMANIE

Małgorzata Grzesiak

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie – Wydawnictwo, 2026

ISSN 2544-4484
e-ISSN 2544-8013

Czasopismo jest indeksowane przez:

AGRIS - FAO, AGRO, Arianta, CAB Abstract, DOAJ, EBSCO, Foodline Science,
Index Copernicus, MIAR, Most Wiedzy, PBN, Open Policy Finder

WYDAWNICTWO UNIWERSYTETU PRZYRODNICZEGO W LUBLINIE

ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin, tel. 81-445-66-60

<https://czasopisma.up.lublin.pl/index.php/ah>, e-mail: annales.horticulturae@up.lublin.pl

Table of contents

KAROLINA PITURA, PAWEŁ SZOT	
Niecierpek gruczołowaty i drobnokwiatowy – synantropijne gatunki inwazyjne w krajobrazie	5
<i>Impatiens glandulifera</i> and small-flowered – synanthropic, invasive species in the landscape	12
WOJCIECH DURLAK, BEATA ŻURAW-RODZIK	
Zastosowanie tomografii akustycznej w badaniach drzew pomnikowych na terenie Florianki w Roztoczańskim Parku Narodowym	13
Application of acoustic tomography in the study of monumental trees in the Florianka area in the Roztocze National Park	24
RENATA NURZYŃSKA-WIERDAK, EWA DOROTA ZALEWSKA	
Rośliny lecznicze runa leśnego. Część I. Krzewy i krzewinki	25
Medicinal plants of the forest undergrowth. Part I. Shrubs and bushes	36
RENATA NURZYŃSKA-WIERDAK, EWA DOROTA ZALEWSKA	
Rośliny lecznicze runa leśnego. Część II. Krzewinki z rodzaju <i>Vaccinium</i> L.	37
Medicinal plants of the forest undergrowth. Part II. Shrubs of the genus <i>Vaccinium</i> L.	46
NIKODEM SAKSON, ARKADIUSZ CHRUŚCIEL, FILIP PINKOWSKI, KATARZYNA WAŁEK-NAWRATEK, PRZEMYSŁAW FRANKOWSKI, JOANNA GUZIAŁOWSKA-TIC, WIESŁAW HRECZUCH	
Local plant biomass and biodegradable organic waste-derived compost as a sustainable alternative to peat in casing layers for <i>Agaricus bisporus</i> cultivation	47
DOMINIKA GAWIDZIEL, KATARZYNA KOZŁOWICZ, GRZEGORZ MAJ, KAMILA E. KLIMEK, MAGDALENA KAPŁAN	
Ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych	65
Quality assessment of frozen vegetable mix stored refrigerated	78

KAROLINA PITURA¹PAWEŁ SZOT²

Niecierpek gruczołowaty i drobnokwiatowy – synantropijne gatunki inwazyjne w krajobrazie

Impatiens glandulifera and small-flowered – synanthropic, invasive species
in the landscape

Abstrakt. Jednym z najważniejszych czynników zagrażających bioróżnorodności są rośliny inwazyjne, wypierające roślinność rodzimą z krajobrazu. Takimi roślinami są niecierpek gruczołowaty (*Impatiens glandulifera* Royle) oraz niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora* DC.) należące do rodziny niecierpkowatych (*Balsaminaceae*). Niecierpki ze względu na swoje walory dekoracyjne zostały sprowadzone do Europy w 1839 r. i w niekontrolowany sposób stały się nieodłącznym elementem krajobrazu, również zurbanizowanego. Ekspansywność tych gatunków jest możliwa dzięki ich małym wymaganiom glebowym, a tym samym dużym zdolnościom przystosowawczym do różnych warunków siedliska. Jednak największym problemem jest łatwość rozmnażania niecierpków, mechanizmy wysiewu nasion i przenoszenie ich na duże odległości, co wiąże się również z utrudnionym ich zwalczaniem. Wypieranie roślinności rodzimej przez niecierpki stanowi duży problem w wielu krajach Europy. W praktyce stosowane są różne metody walki mechanicznej, chemicznej i biologicznej, jednak żadna nie jest stuprocentowo skuteczna.

Słowa kluczowe: bioróżnorodność, rośliny obcego pochodzenia, sposoby zwalczania gatunków inwazyjnych

WSTĘP

Od stuleci rośliny postrzegane były zazwyczaj jako sprzymierzeńcy człowieka – źródło pokarmu i tle-
nu, lekarstwa, materiał budulcowy czy wreszcie element estetyczny. Jednak obecnie pojawia się coraz
więcej informacji o zagrożeniach, które niosą. Jednym z takich zagrożeń jest rozprzestrzenianie się gatun-
ków inwazyjnych. Za inwazyjny gatunek obcy (IGO) uważa się roślinę obcego pochodzenia, powodującą
szkody w środowisku, głównie zagrażając bioróżnorodności. Według Kasprzaka i in. [2020] oraz Visakorpi
i in. [2025] skutki rozprzestrzeniania się roślin inwazyjnych uważane są za najważniejszą przyczynę utraty
bioróżnorodności na świecie. Szkody gospodarcze, jakie powodują te gatunki w UE, szacuje się na ok.
12 mld euro rocznie [Żafran i in. 2025]. Czasem rośliny mogą zagrażać również zdrowiu człowieka, a ta-
kim gatunkiem jest np. barszcz Sosnowskiego. Jak podaje Gniazdowska [2003], niejednokrotnie proces
inwazji jest nieodwracalny. Za sprowadzanie gatunków obcych do rodzimych ekosystemów w głównej
mierze odpowiada człowiek. Proceder ten był szczególnie powszechny na przełomie XV i XVI w. w cza-
sie zapoczątkowania podróży żeglarskich oraz importu towarów. Nowe gatunki sprowadzano w celach
użytkowych i ozdobnych, ale też jako rośliny lecznicze. Inwazje roślinne nasiliły się również niezależ-
nie od człowieka albo w sposób przez niego niezamierzony. Nasiona przenoszą zwierzęta (zoochoria),
głównie ptaki, transportowane są na kołach samochodów, podwoziu pociągów, w bagażach czy w pa-

¹ Instytut Produkcji Ogrodniczej, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-3968-9672>, autor korespondencyjny: karolina.pitura@up.lublin.pl

² Instytut Produkcji Ogrodniczej, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-3968-9672>



szach dla zwierząt. Rośliny inwazyjne bardzo często stanowią problem miast. Sprowadzane na tereny zurbanizowane w celu przeciwdziałania tak zwanej betonozie lub w sposób niezamierzony w miejsce krzyżowania się szlaku komunikacyjnego łatwo podlegają zaadaptowaniu. Sprzyja temu miejska wyspa ciepła – wysokie temperatury, dzięki którym możliwy jest łatwy rozwój i wydłużenie okresu wegetacji gatunków z innych stref klimatycznych [Bąbalewski 2014]. Rośliny obcego pochodzenia zagrażające bioróżnorodności posiadają pewne cechy ułatwiające im zasiedlenie terenów, na których występują gatunki rodzime. Przede wszystkim jest to produkcja dużej liczby nasion i ich szybkie rozprzestrzenianie oraz łatwe rozmnażanie wegetatywne. Dodatkowo rośliny takie charakteryzują się stosunkowo krótkim cyklem rozwojowym oraz ekspansywnym wzrostem i krzewieniem, zagłuszając pierwotnie rosnące na danym terenie rodzime gatunki. Przyjmuje się, że rośliny inwazyjne rozprzestrzeniają się poprzez nasiona orientacyjnie na odległość 100 m w czasie krótszym niż 50 lat, natomiast 6 m w czasie 3 lat, jeśli sposobem rozmnażania są rozłogi [Richardson i in. 2000, Kołaczowska 2008]. Nie bez znaczenia jest również duża tolerancja warunków siedliska i klimatu. Do tej pory rośliny obce wypierające rodzimą roślinność pochodziły przede wszystkim ze stref o zbliżonym klimacie. Jednakże należałoby brać pod uwagę stale zmieniający się klimat w Polsce i globalne ocieplenie, co łączy się z możliwością inwazji nowych gatunków. Należy nadmienić, że wiele roślin inwazyjnych w swoim naturalnym środowisku nie wykazuje tak dużej ekspansywności i nabywa ją dopiero wtedy, kiedy próbuje zasiedlić nowe obszary, niekorzystnie działając na już rosnące rośliny, a dzieje się to poprzez zjawisko allelopatii [Gniazdowska 2005, Gioria in. 2023]. Zasiedlanie obszarów przez gatunki inwazyjne wiąże się z wieloma zagrożeniami. Najbardziej niebezpiecznym jest zubożenie bioróżnorodności, zmiana właściwości gleby czy zarastanie koryt rzecznych. Introdukcja gatunków obcych powoduje też zagrożenia genetyczne, rozumiane jako możliwości krzyżowania gatunków obcych ze spokrewnionymi gatunkami rodzimymi [Danielewicz i Małiński 2003, Takaraska-Guzik i in. 2012].

POCHODZENIE I WYSTĘPOWANIE

Niecierpek gruczołowaty (*Impatiens glandulifera* Royle) oraz niecierpek drobnokwiatowy (*Impatiens parviflora* DC.) należą do rodziny niecierpkowatych (*Balsaminaceae*). W rodzinie tej występują dwa rodzaje: *Impatiens* i *Hydrocera*. Oba taksony to rośliny okrytonasienne należące do rzędu *Ericales* i podrzędu *Asteridae*. Rodzaj *Impatiens* obejmuje ok. 1000 gatunków występujących głównie w strefie tropikalnej [Janssens i in. 2012, Luo i in. 2021]. Nazwa *Balsaminaceae* pochodzi od słowa balsamina, nazwy zwyczajowej *Impatiens balsamina* L., która z kolei wywodzi się z gr. βάλσαμον, czyli balsam, ponieważ roślina ta wytwarza substancje o silnym i słodkim zapachu [Pavone 2003]. Natomiast nazwa *impatiens* w języku łacińskim oznacza niecierpliwą. Pozostałe nazwy zwyczajowe niecierpki funkcjonujące w innych krajach to balsam indyjski, pajacyk czy kask policjanta [Clements i in. 2008], a także, jak podają Żafran i in. [2025], stojak na kapelusze krasnala, pocałunek górski, nietoperz oraz purpurowy klejnot.

Niecierpek gruczołowaty pochodzi z Himalajów, gdzie naturalnie występuje na wysokościach 1800–3000 m n.p.m. Jak podają Janczak i Zieliński [2012], pierwotnie ten gatunek występuje w Pakistanie, Kaszmirze aż do Indii, gdzie spotykany jest na wysokości 4300 m n.p.m. Sprowadzony do innych krajów występuje wtórnie na terenach o szerokości geograficznej 30–70°N. Niecierpka gruczołowatego do Europy sprowadzono w 1839 r. i od tego czasu uprawiany był jako roślina ozdobna [Coakley i Petti 2021]. W pierwszej połowie XIX w. zaczęto obserwować dziczenie tej rośliny, a od drugiej połowy XX w. występuje już w całej Polsce, zasiedlając przydroża, brzegi rzek i lasy łęgowe [Kębłowska i in. 2014]. W Polsce po raz pierwszy został odkryty w 1890 r. w Sudetach [Janczak i Zieliński 2012]. Pospolicie rośnie na skrajach lasów jesionowych, topolowych, olsach czy łąkach [Bomanowska i Adamowski 2014, Kostrakiewicz-Gieralt 2015]. Niecierpek gruczołowaty zasiedla także stanowiska ruderalne. Uprawiany w ogrodach jako roślina ozdobna bardzo szybko zasiedla sąsiadujące obszary. Niekiedy pojawia się również jako chwast [Bomanowska i Adamowski 2014, Kirpluk i Bomanowska 2015]. Preferuje gleby żyzne i wilgotne o odczynie obojętnym, stanowiska cieniste lub nasłonecznione [Woziwoda i Suwara-Szmięgielska 2012, Ruraż 2016], zasiedlając głównie doliny rzek [Dajdok i in. 2007]. Według Beerling i Perrins [1993] jego przystosowanie do warunków siedliska jest tak duże, że radzi sobie na glebach o szerokim zakresie pH od 3,5 do 7,7, jednak wymaga bardzo wysokiej wilgotności podłoża.

Niecierpek drobnokwiatowy pochodzi z Azji, głównie z Syberii, Mongolii i Turkiestanu, skąd został sprowadzony jako roślina ozdobna, a następnie rozprzestrzenił się w Europie (Rosja w 1834 r., Niemcy w 1987 r. i Wielka Brytania 1848 r.) na terenach ruderalnych i leśnych [Kasprzak i in. 2020, Studnik-Wójcikowska 2023]. Jak podaje Trepl [1984] i Chmielewski i in. [2018] roślina pierwotnie występowała w Ałtaju, nad rzeką Irtis oraz w Zachodniej Syberii. Pierwsze miejsca jego uprawy zlokalizowano w ogrodach botanicznych w Genewie i Dreźnie. W Polsce pojawił się po raz pierwszy w okolicach Krakowa i Gdańska w 1850 r., a gwałtowne rozprzestrzenianie przypada na drugą połowę XX w. Obecnie występuje na terenie całego kraju, jednak częstotliwość jego występowania wzrasta w południowej Polsce. Preferuje gleby żyzne i miejsca nasłonecznione, jednak doskonale radzi sobie też na stanowiskach półcienistych i cienistych [Patejuk i in. 2023, Studnik-Wójcikowska 2023]. Niecierpek drobnokwiatowy tworzy niskie łany w lasach, łągach i borach, a także na nieużytkach, w sadach, ogrodach i parkach [Adamowski i Bomanowska 2016, Studnik-Wójcikowska 2023]. Jak podają Piskorz i Klimko [2007] za Oraczewską i Chmurą [2002], występuje w Polsce we wszystkich typach zbiorowisk leśnych, za wyjątkiem olsów.

OPIS BOTANICZNY

Niecierpek gruczołowaty to roślina jednoroczna osiągająca wysokość od 1 do 2,5 m. Jest jedną z najwyższych roślin jednorocznych wstępujących w Europie. Jej grube, wewnątrz puste i kanciaste łodygi podbarwione są na czerwony kolor. W warunkach niekorzystnych wykazuje zdolność do wytwarzania licznych korzeni przybyszowych w węzłach łodygi [Woziwoda i Suwara-Szmigielska 2012]. Liście są skrętoległe lub naprzeciwległe, jajowate lub eliptyczne, piłkowane, z czerwonymi lub różowymi nerwami. Charakterystyczne są ząbki na brzegach blaszki liściowej w liczbie od 25 do 50 par. Kwiatostany wyrastają z kątów górnych liści, kwiaty mają ok. 3,5 cm długości i przybierają różne odcienie, od różowego do fioletowego, poprzez purpurowy. Kwiatostan jest pięciopłatkowy jednak pozornie trzy płatkowy, ponieważ dwa płatki są zrosnięte ze sobą, tworząc parę. Kwitnienie przypada dość późno, bo na początku sierpnia, i trwa do września. Owocem jest jajowata torebka, pękająca i rozsypująca od 5 do 13 siatkowatych nasion. Sposób pęknięcia i rozsiewanie nasion staje się przyczyną ekspansywności rośliny [Clements i in. 2008, Studnik-Wójcikowska 2023]. Szacuje się, że z jednej rośliny można uzyskać średnio od 800 do 2500 nasion [Helmisaari 2010].

Niecierpek drobnokwiatowy jest rośliną jednoroczną, jednak zdecydowanie niższą i mniej dekoracyjną w porównaniu z niecierpkem gruczołowatym. Dorasta do 50–60 cm wysokości, można jednak spotkać egzemplarze o wiele wyższe, osiągające wysokość nawet do 150 cm. Łodyga jest naga, liście skrętoległe jajowate, piłkowane, gruczołowato ząbkowane. Kwiaty są zebrane w groniaste kwiatostany, grzbieciste z ostrogą, niewielkich rozmiarów do 1 cm, w kolorze żółtym do pomarańczowego lub kremowożółtym. Owocem jest podługowata torebka, która w czasie pęknięcia odwija się kłapami. Nasiona mają 5 cm i są pomarszczone. Roślina jest płytko korzeniująca się, z korzeniami przybyszowymi wyrastającymi z łodygi, mającymi na celu dodatkowo przymocować roślinę do podłoża. Kwitnienie niecierpka drobnokwiatowego przypada od czerwca do października [Dajdok i in. 2007, Pusz i in. 2020, Studnik-Wójcikowska 2023].

INWAZYJNOŚĆ NIECIERPKÓW

Zarówno niecierpek gruczołowaty, jak i drobnokwiatowy zaliczane są do gatunków inwazyjnych.

Niecierpek gruczołowaty ma status inwazyjnego kenofitu zaliczonego w Polsce do gatunków inwazyjnych od 2012 r., natomiast w Europie od 2004 r. [Tokarska-Guzik i in. 2015, Žafran i in. 2025]. Po wymknięciu się spod kontroli z terenów ozdobnych, co miało miejsce w XX w., rozprzestrzenił się samorzutnie [Kostuch i Kostuch 2013]. Określono, że niecierpek potrafi ograniczyć różnorodność roślin z nim współwystępujących na danym siedlisku o 25% [Hulme i Bremner 2005]. Negatywny wpływ tego gatunku na bioróżnorodność polega między innymi na konkurencji o liczbę zapylaczy z roślinami ozdobnymi. Produkcja przez roślinę dużych ilości nektaru powoduje zmniejszenie częstotliwości odwiedzin zapylaczy na innych gatunkach. Niecierpek wabi owady zapylające, produkując nektar w ilości 0,3 mg

na godzinę na kwiat [Chittka i Schürkens 2001]. Ponadto niecierpek może powodować erozję cieków wodnych, co ma miejsce wczesną wiosną [Tickner i in. 2001, Cawoy i in. 2012, Bomanowska i Adamowski 2014]. Nie bez znaczenia jest również fakt, że niecierpek jest gospodarzem mszycy burakowej (*Aphis fabae*) stanowiącej zagrożenie dla rodzimych gatunków [Stary i in. 2014]. Według badań Najberka i in. [2023] niecierpek gruczołowaty ułatwia transmisję patogenów, jakimi są szara pleśń (*Botrytis cinerea*) i fuzarioza (*Fusarium graminearum*), co powoduje zmniejszenie plonów i straty ekonomiczne. Jak podają Ruckli i in. [2014] oraz Baležentienė [2018], substancje wydzielane przez korzeń niecierpka (fitotoksyczne kwasy fenolowe) mogą hamować kiełkowanie innych gatunków roślin. Zaobserwowano, że niecierpek powoduje wzrost pH i wilgotności gleby, co modyfikuje zbiorowiska roślin, grzybów i bakterii [Coakley i Petti 2021]. Szybkie tempo inwazji niecierpka związane jest z rozmnażaniem gatunku, a w szczególności z produkowaniem przez niego dużej liczby nasion i sposobem ich rozsiewania. W fazie dojrzałości owoc, jakim jest torebka, gwałtownie pęka, wyrzucając nasiona na odległość 4–6 m od rośliny macierzystej [Ruraż 2016], a pojedyncza roślina produkuje od 700 do 800 nasion przy zagęszczeniu 20 roślin na m² [Oliver i in. 2020]. Według Deegan [2012] wystrzelone nasiona osiągają prędkość 4 m/s. Jak podaje Rotherham [2001], początkowa ekspansja niecierpka wynosiła nawet do 645 km² rocznie. Jednak niecierpek nie tylko rozprzestrzenia się poprzez jego mechanizmy balistyczne, ale także nasiona rozsiewane są przez wodę (hydrochoria) [Heather i in. 2013] czy przez ludzi (antropochoria) lub zwierzęta [Clements i in. 2008]. Nasiona niecierpka mogą unosić się na wodzie i dryfować przez ponad 2 miesiące bez utraty zdolności kiełkowania [Najberk i in. 2020].

Niecierpek drobnokwiatowy jest zaliczany do najczęściej występujących roślin inwazyjnych w Europie. Jego ekspansja jest szczególnie widoczna w lasach, gdzie jest obecnie najpowszechniej występującą rośliną obcą [Wagner i in. 2021, Krokaitė i in. 2022]. Inwazja *Impatiens parviflora* jest możliwa ze względu na zdolność tego gatunku do produkcji ogromnej liczby nasion. Jedna roślina może wytworzyć od 2000 do 10 000 nasion, które pod ciśnieniem 12 atmosfer wyrzucane są na wysokość do 3,4 m. Sposób rozsiewania może odbywać się również, tak jak w przypadku niecierpka gruczołowatego, pod wpływem wody oraz przy udziale ludzi i zwierząt. Na inwazyjność tej rośliny wpływa też krótki okres od kiełkowania do kwitnienia, który wynosi od 8 do 9 tygodni [Barabasz-Krasny i in. 2018]. Jednak, jak podają Chmura i Sierka [2006], niecierpek drobnokwiatowy kolonizuje przede wszystkim puste miejsca w runie leśnym. Zaobserwowano, że w naturalnych fitocenozach leśnych roślina unika powierzchni, na których zadomowione są już rośliny zielne.

SPOSOBY ZWALCZANIA

Walka z niecierpkami gruczołowatym i drobnokwiatowym jest trudna i czasochłonna pomimo stosowanych metod mechanicznych, chemicznych i biologicznych. Mechaniczne metody walki dotyczą obu gatunków i są szczególnie zalecane w celu zminimalizowania negatywnego wpływu tych roślin na środowisko. Metody polegają na ręcznym wrywaniu całych roślin z systemem korzeniowym, wtedy gdy niecierpki występują w niewielkich skupieniach lub stosowane jest niskie koszenie w przypadku masowego występowania gatunku [Weber 2003, Csiszár i Korda 2015, Krzysztofiak i Krzysztofiak 2015, Matthews i in. 2015]. Koszenie zalecane jest także na stromych brzegach rzek i jezior, gdy wrywanie mogłoby naruszyć spójność gleby i doprowadzić do erozji wodnej [Krzysztofiak i Krzysztofiak 2015]. Głównym założeniem zwalczania mechanicznego powinno być wyeliminowanie jak największej liczby nasion niecierpka, a nie tylko samo usunięcie roślin. Jak wskazują wyniki badań, nawet niedojrzałe nasiona mogą kiełkować w znacznym procencie [Janczak i Zieliński 2012]. Zabieg usuwania należy wykonywać kilkakrotnie w ciągu roku i przeprowadzać przed kwitnieniem, tak by zapobiec dojrzewaniu i rozsiewaniu nasion. W przypadku gdy przystępuje się do usuwania roślin dojrzałych z wykształconymi owocami należy rośliny osłonić workiem papierowym lub foliowym tak, aby ograniczyć wyrzut nasion [Vrchotová i in. 2011, Gruntman i in. 2014, Ruckli i in. 2014]. Usunięte rośliny można także kompostować do czasu ich naturalnego rozkładu (min. 2–3 lata), na podłożu zabezpieczonym przed przenikaniem nasion do gleby i wody, przy czym warstwę biomasy należy każdorazowo przesypywać czarną ziemią [Krzysztofiak i Krzysztofiak 2015].

Mimo stwierdzonej skuteczności mechanicznej metody zwalczania niecierpków [Biereżnoj-Bazille i Werpachowski 2015, Csiszár i Korda 2015, Krzysztofiak i Krzysztofiak 2015] w praktyce nie zawsze można ją stosować, gdyż gatunek ten występuje często na siedliskach trudno dostępnych [Csiszár i Korda 2015, Krzysztofiak i Krzysztofiak 2015]. Walka z niecierpkami to również niszczenie odrostów na przymach kompostowych. Zaleca się kontrolę stanowiska w sezonie ze względu na rozciągnięte w czasie kiełkowanie nasion, łatwość regeneracji po uszkodzeniu i możliwość przeoczenia siewek wśród innych rosnących roślin [Adamowski i Keczyński 1998].

Innym sposobem walki z tymi gatunkami może być mulczowanie, polegające na pokryciu gleby organicznym materiałem takim jak słoma, kompost lub kora sosnowa. Mulcz ogranicza dostęp światła do roślin, co hamuje ich wzrost.

Możliwe są również różne metody termicznego zwalczania chwastów [Rask i Kristoffersen 2007]. Ciepło zastosowane bezpośrednio lub pośrednio na rośliny powoduje uszkodzenie komórek roślinnych i prowadzi do ich wysuszenia [Ascard i in. 2007]. Efekt zależy od temperatury, czasu ekspozycji, fazy rozwojowej rośliny i gatunku [Hansson i Ascard 2002, Ascard i in. 2007]. Obróbka cieplna może również prowadzić do zamierania nasion [Dahlquist i in. 2007]. Oliver i in. [2020] zastosowali gorącą wodę i cięcie w celu zwalczania *Impatiens glandulifera*. W eksperymencie doniczkowym wschody niecierpka zostały zmniejszone o 78–93% w porównaniu z kontrolą niepoddaną zabiegowi oprysku gorącą wodą (80°C). W zwalczaniu niecierpka zabieg oprysku gorącą wodą, przeprowadzony na roślinach we wczesnej fazie wzrostu, tj. w fazie rozwoju liści na pędzie głównym był skuteczniejszy niż koszenie. Po cięciu pojawiły się nowe siewki, podczas gdy gorąca woda w dużej mierze zapobiegła kiełkowaniu nowych nasion i wschodom siewek.

Zwalczanie niecierpka drobnokwiatowego i gruczołowatego metodą chemiczną polega głównie na stosowaniu herbicydów, preparatów zawierających glifosat jako substancję czynną, która jest nieselektywna i niszczy większość gatunków jednorocznych i wieloletnich, działając systemicznie na rośliny. Jednak ze względu na częste występowanie niecierpków wzdłuż cieków wodnych możliwości zastosowania substancji chemicznej do ich zwalczania są ograniczone [Wadsworth i in. 2000, Botond 2015]. Możliwości biologicznego zwalczania niecierpka były przedmiotem licznych badań. Burkhart i Nentwig [2009] udowodnili, że żaden z występujących w Szwajcarii pasożytów ani fitofagów nie ma wpływu na wzrost i reprodukcję niecierpka gruczołowatego. Obserwacje Schmitza [2001, 2005, 2007] i Buszko [2015] wykazały, że w Europie na liściach niecierpka gruczołowatego i drobnokwiatowego żerują gąsienice kilku gatunków motyli z rodziny miernikowców i sówek oraz zawisaka zmrocznika gładysza. Na liściach spotykane są także miny muchówki (*Phytoliriomyza melampyga*). Nie stwierdzono jednak znaczącego osłabienia kondycji roślin zaatakowanych przez te owady [Buszko 2015]. Największe nadzieje do wykorzystania jako ewentualna broń biologiczna w walce z niecierpkami pokłada się w rdzy (*Puccinia komarovii*) [Bacigalová i in. 1998, Tanner i in. 2014] oraz mszycy (*Impatiens asiaticum*) [Schmitz 1998, Eliašová 2011]. Rdza *Puccinia komarovii* w sprzyjających warunkach może powodować lokalnie nawet 100% śmiertelności niecierpka i znaczne zmniejszenie produkcji nasion [Bacigalová i in. 1998], jednak stopień porażenia roślin jest bardzo zmienny w przestrzeni i czasie [Piskorz i Klimko 2006].

PODSUMOWANIE

Globalizacja, choć niewątpliwie korzystna dla człowieka, stanowić może pewne zagrożenia. Jednym z nich jest łatwość przemieszczania się gatunków obcych i ich negatywny wpływ na bioróżnorodność w określonych siedliskach. Przykładem roślin obcego pochodzenia, które w Polsce stały się roślinami synantropijnymi, są niecierpki. Ich duże zdolności adaptacyjne oraz łatwość rozmnażania sprzyjają ekspansji, a metody ich usuwania nie zawsze są skuteczne. Ważna jest kontynuacja badań nad sposobami walki z tymi roślinami oraz stały monitoring procesu ich zasiedlania. Duże nadzieje pokłada się w biologicznej walce z tymi gatunkami, jednak obecnie największe znaczenie ma walka mechaniczna. Istotna jest również świadomość, że są to gatunki niebezpieczne mimo ich walorów dekoracyjnych.

PIŚMIENNICTWO

- Adamowski W., Bomanowska A., 2016. Niecierpek drobnokwiatowy *Impatiens parviflora* DC. W: A. Obidziński, E. Kołaczowska, A. Otręba (red.). Metody zwalczania obcych gatunków roślin występujących na terenie Puszczy Kampinoskiej. BioDar, Izabelin–Kraków, 25–31.
- Adamowski W., Keczyński A., 1998. Czynna ochrona zbiorowisk leśnych Białawieskiego Parku Narodowego przed wkroczeniem *Impatiens parviflora*. Parki Narod. Rez. Przyr. 17(1), 49–55.
- Ascard J., Hatcher P., Melander B. i in., 2000. Thermal weed control. W: M. Upadhyaya, R. Blackshaw (eds.), Non-chemical weed management. CAB International, Wallingford, 155–175. <https://doi.org/10.1079/9781845932909.0155>
- Bacigalová K., Elias P., Šrobarová A., 1998. *Puccinia komarovii* – a rust fungus on *Impatiens parviflora* in Slovakia. Biológia (Bratislava) 53(1), 7–14.
- Baležentienė L., 2018. Phytotoxicity and allelopathic impact of *Impatiens glandulifera*. Biologija 64 (2), 153–159.
- Barabasz-Krasny B., Mozdzeń K., Sołtys-Lelek A. i in., 2018. Biological traits of *Impatiens parviflora* DC. under different habitat conditions. Not. Bot. Horti Agrobot. Cluj-Napoca, 46 (1), 277–285. <https://doi.org/10.15835/nbha46110970>
- Bąbelewski P., 2014. Synantropizacja wybranych gatunków drzew Ameryki Północnej rosnących we Wrocławiu. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław.
- Beerling D.J., Perrins J.M., 1993. *Impatiens glandulifera* Royle (*Impatiens roylei* Walp.). J. Ecol. 81, 367–382. <https://doi.org/10.2307/2261507>
- Biereżnoj-Bazille U., Werpachowski C., 2015. Inwazyjne gatunki roślin w ekosystemach Biebrzańskiego Parku Narodowego – pierwsze próby zwalczania. W: L. Krzysztofiak, A. Krzysztofiak (red.), Zwalczanie inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia – dobre i złe doświadczenia. Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, Krzywe, 11–25.
- Bomanowska A., Adamowski W., 2014. Niecierpek gruczołowaty *Impatiens glandulifera* Royle. W: A. Otręba, D. Michalska-Hejduk (red.). Inwazyjne gatunki roślin w Kampinoskim Parku Narodowym i jego sąsiedztwie. Kampinoski Park Narodowy, Izabelin, 16–24.
- Botond M., 2015. On the possibilities and international experience of invasive plant control. W: Á. Csiszár, M. Korda (red.), Practical experiences in invasive alien plant control. Rosalia Handbooks, Duna–Ipoly National Park Directorate, Budapest, 11–15.
- Burkhardt K., Nentwig W., 2009. Control of *Impatiens glandulifera* (*Balsaminaceae*) by antagonists in its invaded range. Invasive Plant Sci. Manag. 1(4), 352–358. <https://doi.org/10.1614/IPSM-08-090.1>
- Buszko J., 2015. Możliwość zwalczania roślin inwazyjnych przez owady. W: L. Krzysztofiak, A. Krzysztofiak (red.). Inwazyjne gatunki obcego pochodzenia zagrożeniem dla rodzimej przyrody. Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, Krzywe, 143–151.
- Cawoy V., Jonard M., Mayer C. i in., 2012. Do abundance and proximity of the alien *Impatiens glandulifera* affect pollination and reproductive success of two sympatric co-flowering native species? J. Poll. Ecol. 10, 130–139.
- Chittka L., Schürkens S., 2001. Successful invasion of a floral market. Nature 411(6838), 653. <https://doi.org/10.1038/35079676>
- Chmielewski W., Löffler J., Szwed W., 2018. Powierzchnie stałe do badań populacji niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* DC. w zbiorowiskach leśnych Wielkopolskiego Parku Narodowego, założenia ogólne i lokalizacja. Nauka Przyr. Technol. 12(4), 309–324. <http://dx.doi.org/10.17306/J.NPT.00274>
- Chmura D., Sierka E., 2006. Relation between invasive plant and species richness of forest floor vegetation: A study of *Impatiens parviflora* DC. Pol. J. Ecol. 54, 417–428.
- Clements D.R., Feenstra K.R., Jones K. i in., 2008. The biology of invasive alien plants in Canada. 9. *Impatiens glandulifera* Royle. Can. J. Plant Sci. 88(2), 403–417. <https://doi.org/10.4141/CJPS06040>
- Coakley S., Petti C., 2021. Impacts of the invasive *Impatiens glandulifera*: lessons learned from one of Europe’s top invasive species. Biology 10(7), 619. <https://doi.org/10.3390/biology10070619>
- Csiszár Á., Korda M., 2015. Summary of invasive plant control experiments. W: Á. Csiszár, M. Korda (red.). Practical experiences in invasive alien plant control. Rosalia Handbooks, Duna–Ipoly National Park Directorate, Budapest, 203–235.
- Dahlquist R., Prather T., Stapleton J., 2007. Time and temperature requirements for weed seed thermal death. Weed Sci. 55, 619–625. <https://doi.org/10.1614/WS-04-178.1>
- Dajdok Z., Krzysztofiak A., Krzysztofiak L. i in., 2007. Rośliny inwazyjne w Wigierskim Parku Narodowym. Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, Krzywe, Wigierski Park Narodowy, 8–11.
- Danielewicz W., Maliński T., 2003. Alien tree and shrubs species in Poland regenerating by self-sowing. Rocz. Dendrol. 51, 205–236.
- Deegan R.D., 2012. Finessing the fracture energy barrier in ballistic seed dispersal. Proc. Natl. Acad. Sci. 109, 5166–5169. <https://doi.org/10.1073/pnas.1119737109>
- Eliašová M., 2011. The phenological synchrony between alien aphid *Impatiens asiaticum* Nevsky and its host – alien plant *Impatiens parviflora* DC. W: B. Šiška, M. Hauptvogel, M. Eliašová (red.), Bioclimate: Source and Limit of Social Development International Scientific Conference, 6th–9th September 2011, Topolčianky, Slovakia, 51.
- Gioria M., Hulme P.E., Richardson D.M. i in., 2023. Why are invasive plants successful? Ann. Rev. Plant Biol. 22(74), 635–670. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-070522-071021>
- Gniazdowska A., 2005. Oddziaływania allelopatyczne „nowa broń” roślin inwazyjnych. Kosmos 54(2–3), 221–226.
- Gruntman M., Pehl A.K., Joshi S. i in., 2014. Competitive dominance of the invasive plant *Impatiens glandulifera*: using competitive effect and response with a vigorous neighbour. Biol. Invasions 16(1), 141–151. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0509-9>

- Hansson D., Ascard J., 2002. Influence of developmental stage and time of assessment on hot water weed control. *Weed Res.* 42, 307–316 <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.2002.00290.x>
- Heather M., Love, Ch.A., Maggs T.E. i in., 2013. Genetic evidence for predominantly hydrochoric gene flow in the invasive riparian plant *Impatiens glandulifera* (Himalayan balsam). *Ann. Bot.* 112(9), 1743–1750. <https://doi.org/10.1093/aob/mct227>
- Helmisaari H., 2010. NOBANIS – invasive alien species fact sheet *Impatiens glandulifera*. Online Database of the North European and Baltic Network on Invasive Alien Species-NOBANIS. Verkregen op, 9 [dostęp: 01.12.2025].
- Hulme P.E., Bremner E.T., 2005. Ocena wpływu *Impatiens glandulifera* na siedliska nadbrzeżne: podział składników różnorodności po usunięciu gatunków: wpływ *I. glandulifera* o różnorodności nadbrzeżnej. *J. Appl. Ecol.* 43(1), 43–50. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01102.x>
- Janczak B., Zieliński J., 2012. Wybrane aspekty biologii nasion inwazyjnego terofita *Impatiens glandulifera* Royle (*Balsaminaceae*). *Stud. Mat. CEPL Rogowie* 33(4), 226–233.
- Janssens S.B., Wilson S.Y., Yuan Y.M. i in., 2012. Total evidence approach using palynological characters to infer the complex evolutionary history of the Asian *Impatiens* (*Balsaminaceae*). *Taxon.* 61, 355–367. <https://doi.org/10.1002/tax.612007>
- Kasprzak H., Kolańska A., Borkowski F. i in., 2020. Rośliny inwazyjne w parkach miejskich we Wrocławiu. W: A. Młynarczyk (red.), Środowisko przyrodnicze jako obszar badań. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 9–23.
- Kirpluk I., Bomanowska A., 2015. The occurrence of alien species in the settlement areas of the Kampinos National Park and its vicinity (Central Poland). *Biodiv. Res. Conserv.* 39, 79–90.
- Kłębłowska A., Otręba A., Danyłow J., 2014. Rośliny i zwierzęta inwazyjne wokół nas. Wydawnictwo Kampinoski Park Narodowy.
- Kończakowska E., 2008. Inwazje obcych gatunków roślin – problem naukowy i praktyczny. *Przegl. Geogr.* 80(1), 55–73.
- Kostrakiewicz-Gieralt K., 2015. The effect of habitat conditions on the abundance of populations and selected individual and floral traits of *Impatiens glandulifera* Royle. *Biodiv. Res. Conserv.* 37, 15–22. <https://doi.org/10.1515/biorc-2015-0002>
- Kostuch J., Kostuch R., 2013. Rośliny inwazyjne. *Więś Doradztwo* 1–2(73-74), 21–25.
- Krokaitė E., Janulionienė R., Jocienė L. i in., 2022. Relating invasibility and invasiveness: case study of *Impatiens parviflora*. *Front. Ecol. Evol.* 10, 845947. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.845947>
- Krzysztofiak L., Krzysztofiak A., 2015. Zwalczenie niecierpka gruczołowatego *Impatiens glandulifera* w Wigierskim Parku Narodowym i w jego bezpośredniej otulinie. W: L. Krzysztofiak, A. Krzysztofiak (red.), Zwalczenie inwazyjnych gatunków roślin obcego pochodzenia – dobre i złe doświadczenia. Stowarzyszenie „Człowiek i Przyroda”, Krzywe, 75–88.
- Luo C., Huang W., Sun H. i in., 2021. Comparative chloroplast genome analysis of *Impatiens* species (*Balsaminaceae*) in the karst area of China: insights into genome evolution and phylogenomic implications. *BMC Genomics* 22, 571. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07807-8>
- Matthews J., Beringen R., Boer E. i in., 2015. Risks and management of non-native *Impatiens* species in the Netherlands. Netherlands Food and Consumer Product Safety Authority, Utrecht. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4328.6482>
- Najberek K., Olejniczak P., Berent K. i in., 2020. Zdolność nasion do unoszenia się wraz z prądami wody przyczynia się do sukcesu inwazyjnego *Impatiens balfourii* i *I. glandulifera*. *J. Plant Res.* 33(5), 649–664. <https://doi.org/10.1007/s10265-020-01212-0>
- Najberek K., Solarz W., Wysoczański W. i in., 2023. Flowers of *Impatiens glandulifera* as hubs for both pollinators and pathogens. *NeoBiota* 87, 1–26. <https://doi.org/10.3897/neobiota.87.102576>
- Oliver B.W., Berge T.W., Solhaug K.A. i in., 2020. Hot water and cutting for control of *Impatiens glandulifera*. *Invasive Plant Sci. Manag.* 13, 84–93. <https://doi.org/10.1017/inp.2020.7>
- Orczewska A., Chmura D., 2002. *Impatiens parviflora* DC. – inwazyjny neofit w zbiorowiskach leśnych Płaskowyżu Głubczyckiego i Wyżyny Śląskiej. W: K. German, J. Balon (red.), Przemiany środowiska przyrodniczego Polski a jego funkcjonowanie. Wydawnictwo Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ Kraków.
- Patejuk K., Pusz W., Krzysztofiak L. i in., 2023. Niecierpnica żółtawa *Siobla sturmii* – nowy foliofag obcego, inwazyjnego niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora*. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Ratio Ind. Lignar.* 22(3), 129–140. <https://doi.org/10.17306/J.AFW.2023.3.2>
- Pavone P., 2003. *Balsaminaceae*. Monaco nature encyclopedia. <https://www.monaconatureencyclopedia.com/balsaminaceae/?lang=en> [dostęp: 15.10.2025].
- Piskorz R., Klimko M., 2006. The effect of *Puccinia komarovii* Tranzsch. infection on characters of *Impatiens parviflora* DC. in *Galio sylvatici-Carpinetum* (R. Tx. 1937) Oberd. 1957 forest association. *Acta Soc. Bot. Pol.* 75(1), 51–60 <https://doi.org/10.5586/asbp.2006.008>
- Piskorz R., Klimko M. (2007). Współwystępowanie niecierpka drobnokwiatowego *Impatiens parviflora* DC. i wybranych roślin lasu dębowo-grabowego w Wielkopolskim Parku Narodowym. *Sylwan* 151 (2): 43-58.
- Pusz W., Patejuk K., Kaczmarek-Pieńczewska A. i in., 2020. Przyczynek do poznania zjawiska zgrzyzania niecierpka drobnokwiatowego (*Impatiens parviflora* DC.) przez jelenia europejskiego (*Cervus elaphus* L.) w Wigierskim Parku Narodowym. *Acta Sci. Pol. Silv. Colendar. Ratio Ind. Lignar.* 19(4), 217–224. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFW.2020.4.23>
- Rask A.M., Kristoffersen P., 2007. A review of non-chemical weed control on hard surfaces. *Weed Res.* 47, 370–380. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00579.x>
- Richardson D.M., Pyšek P., Rejmánek M. i in., 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Divers. Distrib.*, 6, 93–107.
- Rotherham I.D., 2000. Himalayan balsam – the human touch. Exotic Invasive Species-should we be concerned. Proceedings of the Institute of Ecology and Environmental Management Conference, Birmingham, April. IEEM Winchester, 41–50.

- Ruckli R., Hesse K., Glauser G. i in., 2014. Inhibitory potential of naphthoquinones leached from leaves and exuded from roots of the invasive plant *Impatiens glandulifera*. J. Chem. Ecol. 40(4), 371–378. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0421-5>
- Ruraż K., 2016. Sukces roślin inwazyjnych – przyczyny, mechanizmy, skutki. Zesz. Stud. Ruchu Nauk. UJK Kielcach, 125–134.
- Schmitz G., 1998. Alien plant-herbivore systems and their importance for predatory and parasitic arthropods: the example of *Impatiens parviflora* D.C. (Balsaminaceae) and *Impatiens asiaticum* Nevsky (Hom.: Aphididae). W: U. Starfinger, K. Edwards, I. Kowarik i in. (red.), Plant invasions: ecological mechanisms and human responses. Backhuys Publishers, Leiden, 335–345.
- Schmitz G., 2001. Beurteilungen von Neophytenausbreitung aus zoologischer Sicht. Braunschw. Geobot. Arb. 8, 269–285.
- Schmitz G., 2005. Zur trophischen und zeitlich-räumlichen Einnischung zweier auf *Impatiens* (Balsaminaceae) lebender Geometridae (Lepidoptera): *Xanthorhoe biriviata* (Borkhausen, 1764) und *Ecliptopera capitata* (Herrich-Schäffer, 1839). Entomol. Z. Insektenbörse 115(5), 221–226.
- Schmitz G., 2007. Neue Nachweise von monophagen Herbivoren am neophyten *Impatiens glandulifera*: *Siobla sturmi* (Klug, 1817) (Hymenoptera: Tenthredinidae) und *Xanthorhoe biriviata* (Borkhausen, 1794) (Lepidoptera: Geometridae). Entomol. Z. Insektenbörse 117(2), 60–62.
- Starý P., Rakshani E., Tomanović Ž. i in., 2014. Aphid-parasitoid associations on the *Impatiens* plants in Central Europe (Hemiptera, Aphididae; Hymenoptera, Braconidae, Aphidiinae). J. Entomol. Res. Soc. 16, 33–43.
- Sudnik-Wójcikowska B., 2023. Rośliny synantropijne. Flora Polski. Wydawnictwo Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Tanner R.A., Ellison C.A., Seier M.K. i in. 2014. *Puccinia komarovii* var. *glanduliferae* var. nov.: a fungal agent for the biological control of Himalayan balsam (*Impatiens glandulifera*). Eur. J. Plant Pathol. 141, 247–266. <https://doi.org/10.1007/s10658-014-0539-x>
- Tickner D.P., Gurnell A.M., Mountford J.O., 2001. Riparian plant invasions: hydrogeomorphological control and ecological impacts. Prog. Phys. Geogr. 25(1), 22–52.
- Tokarska-Guzik B., Bzdęga K., Nowak T., Urbisz Al., Węgrzynek B., Dajdok Z., 2015. Propozycja listy roślin gatunków obcych, które mogą stanowić zagrożenie dla przyrody Polski i Unii Europejskiej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Trepl L., 1984. Über *Impatiens parviflora* DC. als Agriophyt in Mitteleuropa. Ser. Dissertationes Botanicae 73. A.R. Gantner Verlag Kommanditgesellschaft, Varduz.
- Visakorpi K., Reshi Z.A., Grau O. i in. 2025. Wide climatic niche and adaptive phenology contribute to the spread of the invasive plant Himalayan balsam (*Impatiens glandulifera* Royle) in Europe. NeoBiota 101, 321–344. <https://doi.org/10.3897/neobiota.101.153800>
- Vrchotová N., Šerá B., Krejčová J., 2011. Allelopathic activity of extracts from *Impatiens* species. Plant Soi. Environ. 57(2), 57–60. <https://doi.org/10.17221/156/2010-PSE>
- Wadsworth R.A., Collingham Y.C., Willis S.G. i in., 2000. Simulating the spread and management of alien riparian weeds: are they out of control. J. Appl. Ecol. 37, Suppl. 1, 28–38. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00551.x>
- Wagner V., Věčera M., Jiménez-Alfaro B. i in., 2021. Alien plant invasion hotspots and invasion debt in European woodlands. J. Veg. Sci. 32, e13014. <https://doi.org/10.1111/jvs.13014>
- Weber E., 2003. Invasive plants species of the world: a reference guide to environmental weeds. CABI Publishing, Wallingford.
- Wozniwoda B., Suwara-Szmiągalska S., 2012. Żółtlice, kolczurki, niecierpki i inne rośliny inwazyjne w Szadku. Biul. Szadkowski 12, 107–125.

Źródło finansowania: SUBB. WOP. 19.021RIO.

Abstract. Invasive plants are among the most important factors threatening biodiversity and displacing native vegetation from the landscape. These include *Impatiens glandulifera* Royle and *Impatiens parviflora* DC, both members of the *Balsaminaceae* family. *Impatiens*, due to their decorative qualities, were brought to Europe in 1839 and in an uncontrolled manner became an integral part of the landscape, including urban areas. The widespread growth of these species is due to their low soil requirements and, consequently, their high adaptability to diverse habitat conditions. However, the greatest challenge, which also makes control difficult, is the ease of *impatiens* propagation, their seed dispersal mechanisms, and their ability to spread over long distances. *Impatiens*' displacement of native vegetation is a significant problem in many European countries. Various mechanical, chemical, and biological control methods are used in practice, but none are 100% effective.

Keywords: alien plants, biodiversity, methods of controlling invasive species

Otrzymano/Received: 10.12.2025
Zaakceptowano/Accepted: 8.01.2026
Online first: 14.04.2026
Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Pitura K., Szot P., 2026. Niecierpek gruczołowaty i drobnokwiatowy – synantropijne gatunki inwazyjne w krajobrazie. Ann. Hort., 35(1), 5–12. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5644>

WOJCIECH DURLAK¹
BEATA ŻURAW-RODZIK²

Zastosowanie tomografii akustycznej w badaniach drzew pomnikowych na terenie Florianki w Rostoczańskim Parku Narodowym

Application of acoustic tomography in the study of monumental trees
in the Florianka area in the Rostocze National Park

Streszczenie. Do badań terenowych z wykorzystaniem tomografu sonicznego PiCUS® Sonic 3 wybrano okazałe drzewa rosnące we Floriance na terenie Rostoczańskiego Parku Narodowego, należące do rodzajów *Acer*, *Quercus* i *Tilia*. Przeprowadzone badania wskazują, że diagnostyka tomograficzna przekrojów pni daje dokładne wyniki i przedstawia w czytelny sposób rozmiar oraz miejsce rozkładu drewna. Tomograf PiCUS® Sonic oferuje bardzo dobre wsparcie diagnostyczne do oceny stanu zdrowotnego drzew.

Słowa kluczowe: drzewa pomnikowe, tomografia komputerowa, tomograf PiCUS® Sonic, Rostoczański Park Narodowy

WSTĘP

Drzewa wpływają na różnorodność krajobrazów, tworząc najbardziej złożone, tętniące życiem biocenozy i ekosystemy. Największe drzewa uzyskują ochronny status pomnika przyrody. Podstawy do tej nobilitacji mogą być różne, np. wyjątkowo duże rozmiary, wyróżniające kształty, sędziwy wiek, taksonomiczna odrębność i osobliwość, ale także związek okazałego drzewa z lokalną tradycją, wierzeniami oraz historią rodziny, rodu, plemienia lub ojczyzny. Polska należy do nielicznych krajów w Europie, gdzie zachowało się jeszcze stosunkowo dużo starych drzew. Przeważają wśród nich: *Quercus robur* L., *Tilia cordata* Mill. i *Fagus sylvatica* L. [Hereźniak 2013, Dudkiewicz i in. 2016]. Drzewa weterani to bardzo ważni świadkowie historii miast i wsi. Stanowią efektowny składnik krajobrazu kulturowego – bywają często malowane, fotografowane i opisywane [Durlak i in. 2022]. Ponadto są niezwykle ważnym elementem świata przyrody oraz siedliskiem bogatego życia biologicznego i mikrobiologicznego.

Na potencjalne ryzyko przewrócenia się wiekowego drzewa wpływa nie tylko zdiagnozowana wada pnia, ale także gatunek, ogólny stan zdrowotny drzewa oraz oddziaływanie czynników zewnętrznych. Wizualna ocena drzewa (ang. visual tree assessment, VTA) jest podstawowym narzędziem pomocnym w unikaniu szkód materialnych wyrządzanych przez drzewa o osłabionej witalności, ale wykorzystywana jest również jako instrument pozwalający na gospodarowanie drzewostanem i umożliwiający długoterminowe planowanie nakładów na pielęgnację starodrzewu. Metoda ta polega na ocenie widocznych symptomów mających wpływ na utratę lub osłabienie stabilności pnia i żywotności drzewa [Matthcek i Breoler 1994, Baridon i Suchocka 2009, Suchocka 2012].

¹ Instytut Produkcji Ogrodniczej, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, <https://orcid.org/0000-0003-3649-9432>

² Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Wydział Biologii Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Dobrzańskiego 37, 20-262 Lublin, <https://orcid.org/0000-0001-6724-4550>, autor korespondencyjny: beata.zuraw@up.edu.pl



Szczegółowa i rutynowa kontrola powinna być wykonana nie tylko wizualnie, ale w miarę potrzeby także poprzez dokładny monitoring z wykorzystaniem najnowszych technologii służących pełnej weryfikacji stanu zdrowotnego drzew [Wang i Allison 2008, Konijnendijk i in. 2015]. Nie jest możliwe wyeliminowanie wszystkich zagrożeń związanych z drzewostanem. Niemniej jednak nauka zajmująca się analizą stabilności (statyki) drzew wnosi ważny wkład w bezpieczeństwo publiczne, zapewniając – jeśli nie doskonałą, to przynajmniej ulepszoną – metodę pomiaru statyki drzew, co zwiększa poziom komfortu z przebywania w ich otoczeniu [Allison i in. 2020, Dudkiewicz i Durlak 2021]. Jako metodę wspomagającą ocenę stanu drzewa stosuje się np. tomografię komputerową. Na podstawie uzyskanych podczas badania tomograficznego wyników uzyskuje się precyzyjne informacje o wielkości i lokalizacji zgnilizny, uszkodzeń i innych defektów wpływających na stabilność drzewa. Obecność rozkładu i jego zaawansowanie będą świadczyły o poziomie kondycji drzewa. Pod wpływem czynników zewnętrznych, takich jak silny wiatr lub nawalne opady deszczu czy śniegu, ciężar i ruch korony mogą spowodować przekroczenie granicznej wytrzymałości pnia lub systemu korzeniowego drzewa, czego konsekwencją jest jego złamanie lub wykrot. Drzewa zakwalifikowane jako potencjalnie zagrażające bezpieczeństwu przeznaczają się do obserwacji lub przeprowadza zabiegi pielęgnacyjne korygujące ich statykę. Korektę sylwetki drzewa uzyskuje się przez umiejętne zabiegi pielęgnacyjne polegające na cięciach redukujących masę korony lub stosowaniu wzmocnień mechanicznych i podpór, co nie usuwa przyczyny zagrożenia, ale na jakiś czas poprawia bezpieczeństwo. Ważne są również częstotliwość użytkowania miejsca w sąsiedztwie drzewa oraz obecność potencjalnych obiektów, które są zlokalizowane w zasięgu rażenia drzewa w razie jego upadku. Inne będą wskazania dla dużego drzewa starzejącego się w mało uczęszczanym terenie leśnym, a jeszcze inne dla drzewa rosnącego na placu miejskim.

TŁO HISTORYCZNE I OTOCZENIE

Walory przyrodnicze i krajobrazowe województwa lubelskiego wyróżniają ten region w skali Polski i Europy. Graniczne położenie fizjograficzne na styku terenów nizinnych (Polesie), wyżynnych (Roztocze) i licznych dolin rzecznych (rzeki Bug i Wisła) powoduje duże zróżnicowanie krajobrazu, fauny i flory. System ochrony tej cennej przyrody tworzą obszary i obiekty prawnie chronione, w tym 2 parki narodowe oraz 1413 pomników przyrody. Roztoczański Park Narodowy (RPN), założony w 1974 r., obejmuje najcenniejsze obszary Roztocza o powierzchni 8 tys. ha, z czego 95,5% zajmują lasy. W obrębie chronionego obszaru znajduje się dawna osada leśna Florianka – miejsce prowadzenia badań. Dwustuletnia historia Florianki, założonej w 1830 r., odzwierciedla gospodarkę Ordynacji Zamojskiej. Pierwsze stulecie to okres rozwoju od osady leśnej do przedsiębiorstwa produkującego materiał szkółkarski na potrzeby Ordynacji oraz na eksport i wymianę zagraniczną. Wymagało to ciągłej rozbudowy osady. Najpierw postawiono drewnianą leśniczówkę i dwie murowane gajówki, a następnie budynki gospodarcze oraz dwór, tzw. rządcówkę. Kolejno dobudowano stodołę, wozownię, oborę, rozbudowano następnie dwór i urządzono otoczenie: podjazd, gazon, utworzono aleje i szpaler drzew oraz założono sady [Bończak-Kucharczyk i in. 1989]. Po I wojnie światowej ograniczono się do produkcji sadowniczej. Po 1945 r. folwark objęła reforma rolna skutkująca zaniedbaniem ośrodka. Rozbrano część budynków oraz zlikwidowano sady. Po przejęciu Florianki przez RPN w 1991 r. obiekty zostały przystosowane na potrzeby turystyki rowerowej. Drewniana gajówka, zwana Izbą Leśną, pełni funkcję edukacyjno-muzealną. Od 1982 r. we Floriance w Ośrodku Hodowli Zachowawczej prowadzona jest hodowla rezerwatowa konika polskiego oraz – od 2010 r. – owcy uhruskiej.

Podstawowym celem pracy była ocena przydatności tomografii dźwiękowej do weryfikacji stanu zdrowotnego drzew na terenie Florianki w Roztoczańskim Parku Narodowym.

MATERIAŁ I METODY

Analizie zostały poddane trzy przykładowe drzewa charakteryzujące się wymiarami pomnikowymi, rosnące w zróżnicowanych warunkach siedliskowych w kompleksie leśnym na terenie osady Florianka w Roztoczańskim Parku Narodowym (rycina 1).

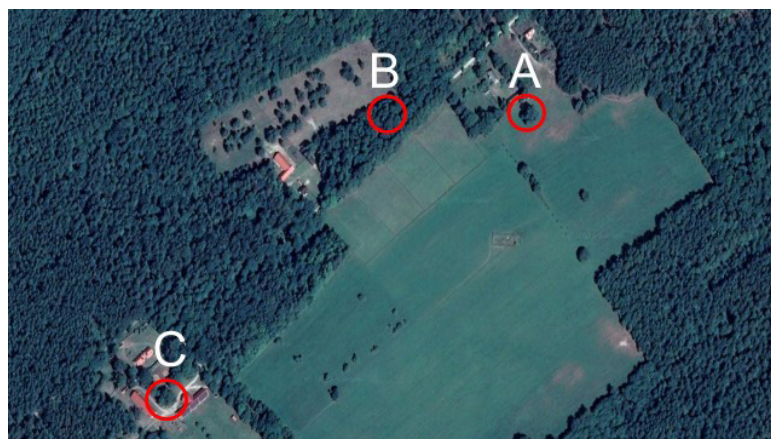
Oceniane drzewa rosną na głównej osi dawnej osady. Pierwszy z badanych okazów – klon jawor (*Acer pseudoplatanus* L.) rośnie za budynkiem stodoły przy Izbie Leśnej (rycina 2A), kolejny – dąb szypułkowy (*Quercus robur* L.) w połowie drogi do gajówki Komanówka (rycina 2B), a ostatni – lipa drobnolistna (*Tilia cordata* Mill.) znajduje się w narożu dawnych budynków obory i stodoły w obecnym Ośrodku Hodowli Zachowawczej (rycina 2C).

Rycina 1. Lokalizacja Florianki na tle Polski oraz Roztoczańskiego Parku Narodowego (geoportal.gov.pl)
Figure 1. Florianka's location in the context of Poland and the Roztocze National Park (geoportal.gov.pl)



Rycina 2. Lokalizacja badanych drzew na planie osady Florianka: A – *Acer pseudoplatanus* L., B – *Quercus robur* L., C – *Tilia cordata* Mill.

Figure 2. Location of the examined trees on the plan of the Florianka settlement: A – *Acer pseudoplatanus* L., B – *Quercus robur* L., C – *Tilia cordata* Mill.



Zdecydowano się na wsparcie oceny wizualnej (VTA) tomografem dźwiękowym PiCUS® Sonic 3 firmy IML Electronic z Niemiec. Tomograf dźwiękowy umożliwia ocenę stanu zdrowotnego wnętrza pnia w sposób bezinwazyjny, a jedynym czynnikiem ingerującym w strukturę tkanek są szpilki pomiarowe wbijane w warstwę martwicy korkowej. Szpilki i przyłączone do nich sensory rozmieszczono na wysokości spodziewanych infekcji, ubytków lub pustek po wcześniejszym opukaniu pni drzew młotkiem diagnostycznym. Liczba sensorów zależała od średnicy pnia mierzonego drzewa. Wpływała ona także na rozdzielczość otrzymanych tomogramów. Za pomocą suwmiarki elektronicznej PiCUS Calliper zmierzono dokładnie geometrię pni drzew. U drzew, które charakteryzują się znacznymi rozmiarami, pojawił się problem ograniczonego zasięgu suwmiarki. W tym przypadku pomiar odległości pomiędzy punktami pomiarowymi wykonywano więc ręcznie za pomocą zwijanej miary. Przesłane do komputera dane posłużyły do wygenerowania w specjalistycznym oprogramowaniu barwnego tomogramu, który

umożliwił analizę stanu zdrowotnego wnętrza pnia. Rozkład kolorów wskazał obszary o różnej gęstości drewna, która świadczy o występowaniu defektów wewnątrz pnia, ich rozmiarze i lokalizacji.

Zastosowana dodatkowo metoda oceny stanu zdrowotnego drzew z wykorzystaniem tomografii dźwiękowej należy do rozwijających się technik badawczych umożliwiających bezinwazyjną analizę wewnętrznych struktur pni drzew. Stosowana jest do wykrywania infekcji grzybowych prowadzących do postępującego rozpadu drewna oraz wad wewnętrznych pnia [Wang i in. 2007, Deflorio i in. 2008, Chomicz 2007, 2010, Brazeo i in. 2011, Żuraw i in. 2016]. Dzięki temu możliwa jest np. selekcja drzew zainfekowanych lub tych z próchnicą części rdzeniowej pnia w uprawach leśnych [Kazemi-Najafi i in. 2009, Niemtur i in. 2014, Allison i Wang 2015]. Metoda jest bardzo przydatna w ocenie stanu zdrowotnego wiekowych drzew o osłabionych siłach witalnych, drzew o wymiarach pomnikowych czy też tych, które już występują w rejestrze jako pomniki przyrody.

Tabela 1. Skala witalności drzew według Roloffa [2016] zmodyfikowana przez Siewniaka i in. [2020]

Table 1. Roloff tree vitality scale [2016] modified by Siewniak et al. [2020]

Faza Phase	Charakterystyka Characteristics
FW 0 – eksploracji	Drzewo zdrowe/witalne, wytwarzające długie pędy zarówno główne, jak i boczne. Cała strefa wierzchołkowa drzewa składa się z gęstej sieci długopędów równomiernie wypełniających przestrzeń. Ugałęzienie jest harmonijne i zwarte, a korona jest bez większych luk
FW 1 – degeneracji	Drzewo lekko osłabione, o krótszych, wyrastających pędach. Pęd wieloletni na skutek skracania się pędów bocznych charakteryzuje się strukturą wąską, podłużną. W górnej części korony występują struktury podłużne. W wyniku postępującego pozbywania się krótkopędów i ogołacania się gałęzi powstają nieliczne luki we wnętrzu korony
FW 1/2 – degeneracji/stagnacji	Drzewo osłabione, o stanie zdrowotnym całego drzewa na poziomie średnim/słabym; charakteryzuje się wyraźną tendencją do obniżania stanu zdrowotnego. Przyrosty są wyraźnie zahamowane. Procesy obumierania korony są wyraźne, a rokowania powrotu do fazy 1 nikłe
FW 2 – stagnacji	Drzewo silnie osłabione z okresem zastoju wzrostu, w którym wyrastają głównie krótkopędy. Na obrzeżach korony pojawiają się struktury pędzelkowate i krótkopędy. Większe luki występują stale we wnętrzu korony. Wierzchołek korony jest spłaszczony. W koronie występują wyłącznie krótkopędy
FW 2/3 – stagnacji/rezygnacji	Drzewo powoli obumierające. Stan zdrowotny całego drzewa słaby/ bardzo słaby. Drzewo ma wyraźnie zahamowany przyrost pędów bez możliwości regeneracji i powrotu do fazy 2
FW 3 – rezygnacji	Drzewo wyraźnie obumierające, z dominującym procesem usychania pędów. Po ogołoceniu z drobnych gałęzi pozostają tylko grube gałęzie. Korona przestaje być zwarta, z pojawiającymi się odizolowanymi częściami. Wierzchołek zamierający z obumieraniem większych gałęzi. Luki w ugałęzieniu stają się coraz większe

Dodatkową zaletą stosowania tomografu sonicznego jest możliwość skorzystania z metody Tree SA – pozwalającej określić wytrzymałość pnia na złamanie. Metoda ta jest oparta na trójkącie statyki, gdzie uwzględnia się trzy jego elementy: materiał, kształt i obciążenie. Sposób ten jest tomograficznym odpowiednikiem metody oceny statyki – SIA (ang. static integrated assessment), która została opracowana i opisana przez Wessolly'ego i Erba [2016]. Wyliczenia metody Tree SA są skonfigurowane z oprogramowaniem Picus Q74EXP, które obsługuje pracę tomografu. W sposobie tym przyjmuje się współczynnik bezpieczeństwa na poziomie 1,5–2,0 odpowiadającym wartościom 150–200 w metodzie SIA. Zatem jest to współczynnik większy o 50–100% od podstawowego współczynnika bezpieczeństwa, którego wartość jest równa 1 (dla metody SIA 100), co w naszym rejonie geograficznym gwarantuje wystarczającą odporność na najsilniejsze wiatry. Dla tego współczynnika wyliczana jest następnie wymagana procentowa wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa, którą porównuje się z obliczonym na podstawie badania tomograficznego procentowym udziałem drewna całkowicie sprawnego technicznie (drewna zdrowego). Mając wszystkie pomiary, można następnie zmierzyć i odwzorować na

tomogramie minimalną grubość ścianki drzewa dla danego współczynnika bezpieczeństwa i zmierzyć geometryczny moment bezwładności (dla ciał jednorodnych, iloraz masowego momentu bezwładności przez gęstość), który stanowi podstawę do określenia wskaźnika wytrzymałości przekroju na zginanie (iloraz geometrycznego momentu bezwładności względem osi obojętnej przez odległość skrajnego włókna przekroju tej osi). Oprócz dokładnego pomiaru wysokości mierzy się także średnicę znamionową pnia na wysokości 100 cm, co pozwala na lepsze odwzorowanie morfologicznego przekroju podłużnego pnia danego gatunku drzewa.

Każde z badanych drzew poddano ocenie, uwzględniając podstawowe dane dendrometryczne, takie jak: nazwa gatunkowa, obwód pnia na wysokości 1,3 m, wysokość drzewa, zasięg korony i stan zdrowotny. Drzewa zlokalizowano na mapie za pomocą modułu GPS wchodzącego w skład jednostki centralnej tomografu. Pomiary wysokości i zasięgu korony zmierzono dalmierzami laserowymi Nikon Forestry PRO i Leica Disto D5. Przybliżony wiek drzew oceniono szacunkowo na podstawie tabel wiekowych Majdeckiego [1980–1986] oraz ogólnodostępnych źródeł [Workingham District Veteran Tree Association, Good Calculators].

Do oceny stanu witalności drzew wykorzystano metodę opracowaną przez Roloffa [2016] zmodyfikowaną przez Siewniaka i in. [2020], w której uwzględnia się poszczególne fazy witalności drzewa, począwszy od fazy eksploracji (FW 0) aż do fazy rezygnacji – obumierania (FW 3); patrz tabela 1.

WYNIKI

***Acer pseudoplatanus* L.** (50°33'22.698 N i 22°59'19.438 E) to drzewo z obwodem pnia na wysokości pierśnicy równym 516 cm, o wysokości 25,7 m oraz zasięgiem korony 18 m (rycina 2A, tabela 2). Na jego pniu założono 12 punktów pomiarowych rozlokowanych na wysokości 100 cm od poziomu gruntu (rycina 3). Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, że oceniany egzemplarz charakteryzuje się bardzo dobrą strukturą wnętrza pnia, o czym świadczy m.in. wysoka prędkość rozchodzenia się fal dźwiękowych (jednolita, ciemna barwa na tomogramie) pomiędzy wszystkimi sensorami, odpowiadająca sprawnemu technicznie w 100% drewnu na całym przekroju poprzecznym pnia (rycina 4). Sta-

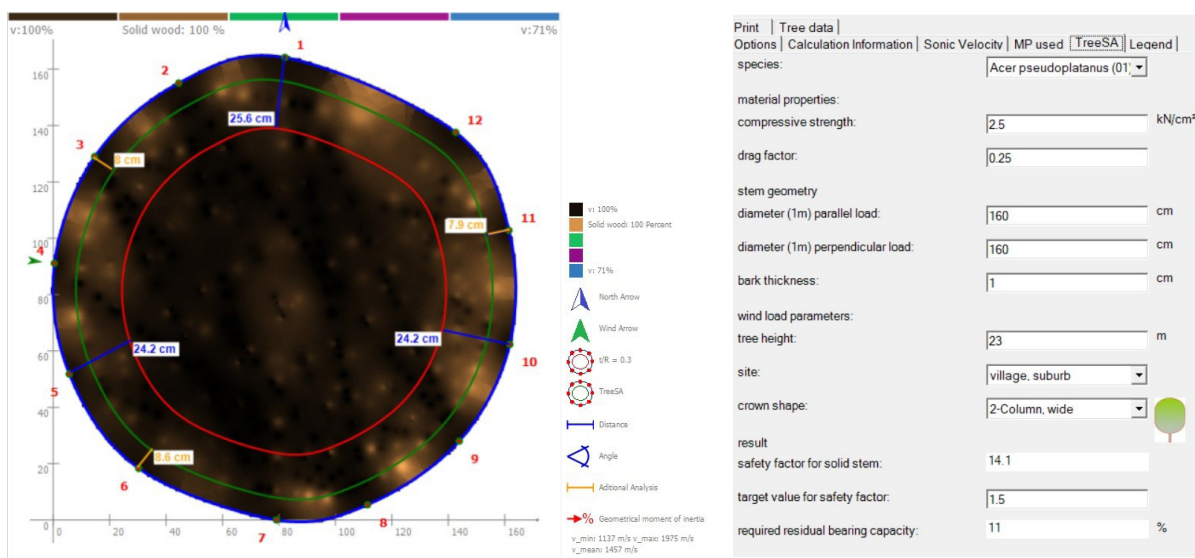
Rycina 3. Pień *Acer pseudoplatanus* L. podczas pomiaru tomografem dźwiękowym PiCUS® 3 (fot. W. Durlak)
Figure 3. The trunk of *Acer pseudoplatanus* L. during measurement with the PiCUS 3 sonic tomograph (photo by W. Durlak)



tyka drzewa jest utrzymana w bezpiecznym zakresie, na co wskazuje z kolei wyliczona metodą Tree SA wymagana pozostała nośność (11%) przy jednocześnie 100% zdrowotności pnia. Zapas zdrowej tkanki jest więc bardzo duży w stosunku do wymaganej minimalnej nośności (rycina 4). Według skali Roloffa drzewo znajduje się w fazie FW 1/2, co potwierdziła jego ocena wizualna. Niewielkie ilości suszu gałęziowego i jedno ognisko jemioty w górnych partiach korony nie wpływają jednak na osłabienie „siły życiowej” drzewa (rycina 5). Wiek drzewa ocenia się średnio na 265 lat.

Rycina 4. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Acer pseudoplatanus* L. i obliczona metodą Tree SA wymagana wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa

Figure 4. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Acer pseudoplatanus* L. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the Tree SA method



Rycina 5. Widok ogólny na pokrój *Acer pseudoplatanus* L. (fot. W. Durlak)

Figure 5. General view of the habit of *Acer pseudoplatanus* L. (photo by W. Durlak)



***Quercus robur* L.** (50°33'19.8 N i 22°59'6.175 E). Okaz charakteryzuje się znacznymi rozmiarami (tabela 2). Obwód pnia zmierzony na wysokości pierśnicy wynosi 737 cm, a wysokość drzewa to 26 m przy rzucie korony równym 30 m (rycina 2B). Podczas prowadzonych pomiarów na pniu na wysokości 100 cm od poziomu gruntu założono 20 sensorów (rycina 6). Uzyskane wyniki wskazują na bardzo rozległe zniszczenia wewnętrznych struktur pnia. Można z dużym prawdopodobieństwem ocenić, że drzewo zamiera. Świadczy o tym bardzo duża powierzchnia (80%) drewna uszkodzonego (kolor niebieski na tomogramie) przy jedynie 14% obszaru drewna zdrowego, sprawnego technicznie. Tylko centralna część przekroju poprzecznego pnia i jego wąski pas od strony wschodniej mają właściwą strukturę. Pozostały obszar przejawia wyraźną tendencję do postępującego procesu próchnienia (rycina 7).

Rycina 6. *Quercus robur* L. „Florian” z objawami zaawansowanego procesu rozkładu wnętrza pnia podczas pomiaru tomografem dźwiękowym PiCUS 3® (fot. W. Durlak)

Figure 6. *Quercus robur* L. “Florian” showing signs of advanced decay inside the trunk during measurement with a PiCUS 3® sonic tomograph (photo by W. Durlak)

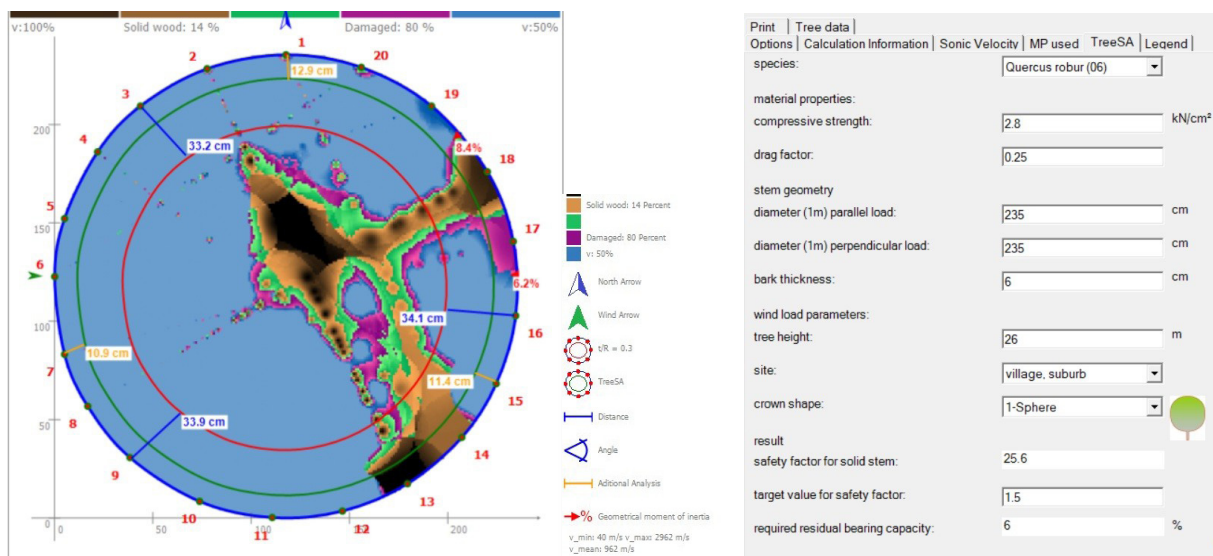


Ocena wizualna tego egzemplarza potwierdziła bardzo słabą vitalność drzewa. Pień znajduje się w stanie zaawansowanego rozkładu wewnętrznego, czego objawami są odpadająca na dużym odcinku pnia kora i widoczne wysypujące się próchno praktycznie na całym obwodzie w dolnej jego części. Korona składająca się z kilku grubych konarów charakteryzuje się bardzo dużym procentem posuszu i zamierającymi lub już martwymi, stwarzającymi duże ryzyko dla otoczenia gałęziami (rycina 8). Już w trakcie pomiarów „Florian” został wygradzony z informacją o ryzyku upadających gałęzi w zasięgu jego korony. W skali Roloffa drzewo znajduje się w fazie FW 3 (zamierania). Uzyskany wynik określający wymaganą pozostałą nośność w stosunku do procentu zdrowego drewna jest dużo niższy i wynosi tylko 6%. Zapas zdrowej tkanki jest więc niewielki i może w ekstremalnych warunkach stanowić słaby punkt, biorąc pod uwagę stabilność drzewa (rycina 7). Wprowadzie współczynnik bezpieczeństwa jest duży (25,6), co skłania do postawienia tezy, że drzewo jest bezpieczne, ale nie można wykluczyć różnych scenariuszy co do jego przyszłości. Zależy to jednak od wielu czynników, nie tylko biologicznych, ale przede wszystkim pogodowych. Przybliżony wiek drzewa można oszacować na około 470 lat.

Należy mieć nadzieję, że okaz, jakim jest dąb „Florian”, jeszcze wiele lat postoi na swoim miejscu, kończąc powoli swoją misję, stając się jednocześnie siedliskiem licznych nowych mikrohabitatów.

Rycina 7. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Quercus robur* L. i obliczona metodą TreeSA wymagana wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa

Figure 7. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Quercus robur* L. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the TreeSA method



Rycina 8. Widok ogólny na *Quercus robur* L. „Florian” (fot. W. Durlak)
Figure 8. General view of *Quercus robur* L. “Florian” (photo by W. Durlak)



***Tilia cordata* Mill.** (50°33'10.242 N i 22°58'54.202 E). Drzewo charakteryzuje się obwodem pnia na wysokości pierśnicy równym 385 cm (rycina 2C, tabela 2). Jego wysokość wynosi 23 m, a zasięg korony to 30 m. Na pniu na wysokości 100 cm nad poziomem gruntu rozmieszczono 11 sensorów mierzących prędkość rozchodzenia się dźwięku wewnątrz pnia (rycina 9). Uzyskane w wyniku badania dane w postaci wygenerowanego tomogramu obrazują początki rozkładu drewna w części rdzeniowej pnia, sugerując rozwijający się ubytek wgłębny (rycina 10). W momencie przeprowadzenia pomiarów stopień

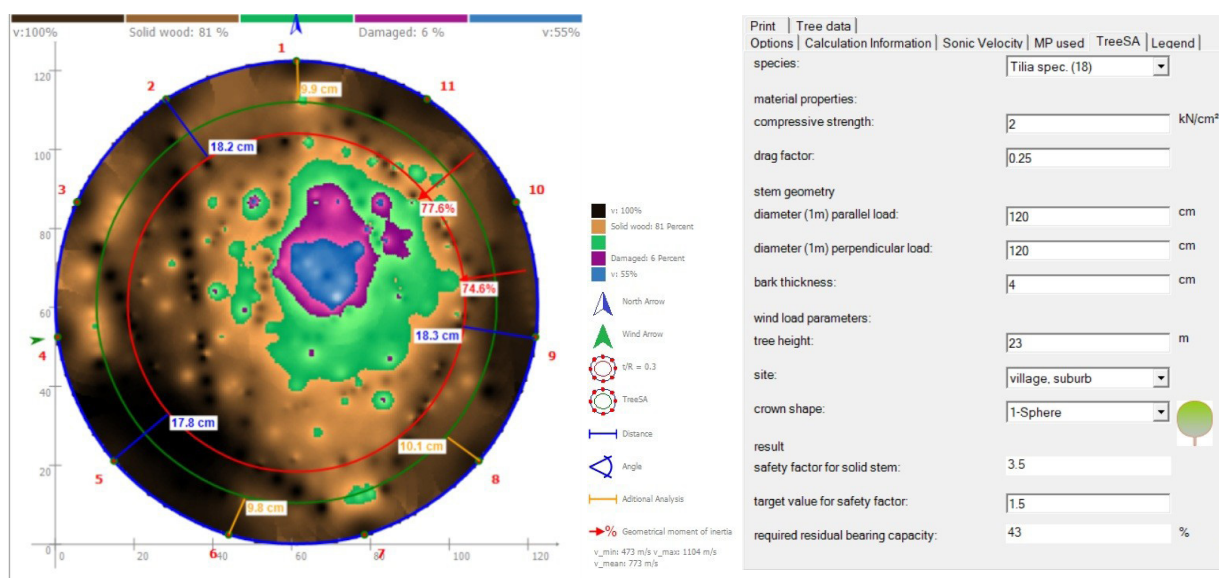
rozkładu tkanek wynosił 6%. Drewno sprawne technicznie (zdrowe) zajmowało natomiast powierzchnię 81%. Barwa zielona na tomogramie określa postępujące zmiany destrukcyjne, który stanowią strefę przejściową pomiędzy drewnem sprawnym technicznie a drewnem uszkodzonym (rycina 10). Proces próchnienia będzie się niewątpliwie powoli nasilał w kolejnych latach, czego efektem będzie powiększający się ubytek węgłbny. Nie ma to na razie wpływu na zachwianie statyki drzewa i zwiększenie ryzyka złamania pnia. Wyliczona metodą TreeSA wymagana pozostała nośność to 43% przy zdrowotności pnia na poziomie 81%. Zapas zdrowej tkanki jest więc wystarczająco duży w stosunku do występujących uszkodzeń (rycina 10). U lip przy znacznym rozkładzie wnętrza pnia tworzą się często wewnątrz korzenie przybyszowe, które mogą dodatkowo pełnić rolę wzmocnień (kotew), tak więc nawet przy znacznych uszkodzeniach wewnętrznych drzewo może być jeszcze bardzo stabilne.

Rycina 9. Pień *Tilia cordata* Mill. z założonymi sensorami i jednostką centralną (fot. W. Durlak)
Figure 9. *Tilia cordata* Mill. trunk with sensors and central unit installed (photo by W. Durlak)



Rycina 10. Tomogram przekroju poprzecznego pnia u *Tilia cordata* Mill. i obliczona metodą TreeSA wymagana wytrzymałość resztkowa litego drewna pnia drzewa

Figure 10. Tomogram of the cross-section of the trunk of *Tilia cordata* Mill. and the required residual strength of the solid wood of the tree trunk calculated using the TreeSA method



Rycina 11. Widok ogólny na pokrój *Tilia cordata* Mill.
(fot. W. Durlak)

Figure 11. General view of the habit of *Tilia cordata* Mill.
(photo by W. Durlak)



Rycina 12. Dren odprowadzający wodę z wnętrza pnia
(fot. W. Durlak)

Figure 12. A drain that drains water from the inside
of the tree trunk (photo by W. Durlak)



Tabela 2. Charakterystyka badanych drzew
Table 2. Characteristics of the tested trees

Badana cecha The tested feature	Gatunek/Species		
	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	<i>Quercus robur</i> L.	<i>Tilia cordata</i> L.
Obwód pnia na wys. 130 cm (cm)	516	737	386
Wysokość (m)	25,7	26,0	23,0
Zasięg korony (m)	18	30	30
Wiek (lata)	265	470	155
Drewno sprawne technicznie (%)	100	10	81
Pozostała nośność (%)	11	6	43
Zdrowotność pnia (%)	100	14	81
Stopień w skali witalności Roloffa	1/2	3	1

Podczas oceny wizualnej drzewa zwrócono dodatkowo uwagę na nierównomiernie rozłożoną koronę. Część wschodnia jest lekko odchylna od pionu i przewyższa jej część środkową. Jeden z głównych konarów po stronie zachodniej jest natomiast ułożony poziomo, tuż nad gruntem (rycina 11). Zbierająca się wewnątrz woda opadowa jest odprowadzana zainstalowanym w pniu drenem, co znacznie spowalnia zapoczątkowane procesy rozkładu we wnętrzu pnia, nie dopuszczając do jego nadmiernego zawilgocenia (rycina 12). Według skali Roloffa stan witalny drzewa można ocenić na fazę 1. Wiek drzewa oszacowano w przybliżeniu na 155 lat.

DYSKUSJA

Przeprowadzone za pomocą tomografii dźwiękowej badania mogą być przydatne w diagnozowaniu stanu zdrowotnego drzew zabytkowych, cennych kulturowo i przyrodniczo, a także rosnących w przestrzeni miejskiej, w celu poprawy bezpieczeństwa w ich otoczeniu, na co zwrócili już uwagę Allison i Wang [2015]. Tomografia komputerowa jako jedna z bezinwazyjnych metod diagnostycznych nie naraża drzew na dodatkowy stres, a u tych w złym stanie fizjologicznym ogranicza do minimum ryzyko

wtórnej infekcji przez patogeny chorobotwórcze. Potwierdza się też teza, na którą wskazuje Chomicz [2010], że dzięki tomografii komputerowej uzyskuje się całościowy obraz powierzchni przekroju poprzecznego pnia, co znacznie ułatwia końcową interpretację uzyskanych wyników. Metody inwazyjne, takie jak odwierty świdrem Presslera czy rezystografia, dają natomiast informację o stanie pnia tylko w miejscu przeprowadzonej próby badawczej. Żeby mieć pełny obraz przekroju poprzecznego pnia, należałoby wykonać kilka lub kilkanaście odwiertów na całym jego obwodzie, co byłoby stresujące dla drzewa, szczególnie takiego o osłabionych siłach vitalnych.

Podstawowym i powszechnie stosowanym sposobem oceny drzew jest metoda wizualna (VTA) [Mattheck i Breoler 1994, Pokorny i in. 2003, Baridon i Suchocka 2009, Suchocka 2012]. Wielu autorów potwierdza fakt, że tomografia komputerowa dzięki możliwości wykrywania infekcji grzybowych, wad wewnętrznych czy pustek w pniu jest doskonałym, uzupełniającym podstawową diagnostykę narzędziem do precyzyjnej oceny zdrowotności drzew [Nicolotti i in. 2003, Wang i in. 2007, Deflorio i in. 2008, Brazee i in. 2011, Mousavi i in. 2023]. Wiedza o stanie wnętrza pnia wraz z oceną wielkości potencjalnych ubytków lub rozkładu grzybiczego ułatwia osobom decyzyjnym nadanie toku dalszego postępowania. Pozwala to na podjęcie właściwych działań zaradczych wpływających na bezpieczeństwo użytkowników terenu i mienia bez radykalnych działań skutkujących niejednokrotnie wycinką lub znacznym oszpeceniem drzewa, co w krótkim czasie pogłębia istniejące problemy.

PODSUMOWANIE

Uzyskane w procesie badawczym wyniki pozwoliły na zlokalizowanie zmian destrukcyjnych wywołanych np. zaawansowaną próchnicą wewnątrz pnia i podjęcie działań wpływających na bezpieczeństwo otoczenia. Wygenerowane tomogramy przedstawiają w czytelny sposób rozmiar i miejsce ewentualnego rozkładu drewna. Ostateczny wynik potwierdzający dane uzyskane podczas pomiaru tomograficznego można zweryfikować w radykalny sposób, poprzez np. ścięcie drzewa lub za pomocą metod inwazyjnych. Niestety w przypadku drzew bardzo cennych takie rozwiązania nie wchodzi w rachubę.

Kształt przekroju poprzecznego próby wpływa na dokładność badania tomograficznego, dlatego ważne jest zastosowanie jak największej dostępnej liczby czujników rozmieszczanych wokół pnia. Metoda z wykorzystaniem tomografii akustycznej może być z powodzeniem wykorzystana do oceny stanu zdrowotnego wiekowych drzew, choć w przypadku, gdy obwód ich pnia jest większy od zasięgu suwmiarki, wydłuża się czas samego badania, ponieważ pomiary geometrii pnia muszą być wykonane odrębnie za pomocą taśmy mierniczej.

Przykładowe badania zawarte w niniejszej publikacji ukazują nowe możliwości w gospodarowaniu drzewostanem, ekologii krajobrazu czy architekturze krajobrazu.

PIŚMIENNICTWO

- Allison R.B., Wang X., 2015. Nondestructive testing in the urban forest. W: R.J. Ross (red.), *Nondestructive evaluation of wood*. General Technical Report FPL-GTR-238. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Product Laboratory Madison, WI, U.S., 77–86.
- Allison R.B., Wang X., Senalik C.A., 2020. Methods for nondestructive testing of urban trees. *Forests* 11(12), 1341. <https://doi.org/10.3390/f11121341>
- Baridon D., Suchocka M., 2009. Wizualna metoda oceny statyki drzew. Co ma wpływ na statykę drzewa i jak rozpoznać zagrożenie. *Administrator* 2, 16–19.
- Brazeo N.J., Marra R.E., Göcke L. i in., 2011. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. *Forestry* 84(1), 33–39. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq040>
- Bończak-Kucharczyk E., Bondaryk D., Żukowski J. i in., 1989. Dokumentacja ewidencyjna założenia ogrodowego we Floriance gmina Józefów. Numer ewidencyjny 2334. Ośrodek Badań i Dokumentacji Zabytków w Zamościu, Zamość.
- Chomicz E., 2007. Bezinwazyjne metody wykrywania defektów wewnątrz pni drzew stojących (Tomograf PiCUS® Sonic i PiCUS® TreeTronic). *Leśne Prace Badawcze* 3, 117–121.
- Chomicz E., 2010. Bezinwazyjne diagnozowanie kondycji drzew zabytkowych z zastosowaniem tomografów PiCUS®. *Kurier Konserw.* 8, 29–32.

- Deflorio G., Fink S., Schwarze F., 2008. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Sci. Technol.* 42, 117–132. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0159-0>
- Dudkiewicz M., Durlak W., Dąbski M. i in., 2016. Możliwość zastosowania gatunków obcego pochodzenia w rewitalizacji obiektów zabytkowych na podstawie występowania drzew pomnikowych. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. EEE Hortic.* 26(4), 1–17.
- Dudkiewicz M., Durlak W., 2021. Sustainable management of very large trees with the use of acoustic tomography. *Sustainability* 13(21), 12315. <https://doi.org/10.3390/su132112315>
- Durlak W., Dudkiewicz M., Milecka M., 2022. A combined methods of senile trees inventory in sustainable urban greenery management on the example of the city of Sandomierz (Poland). *Land* 11(11), 1914. <https://doi.org/10.3390/land11111914>
- Good Calculators, <https://goodcalculators.com/tree-age-calculator/> [dostęp 8.10.2025].
- Hayes E., 2001. *Evaluating tree defects*. 2nd ed. Safetrees, Rochester, MN, 3.
- Hereźniak J., 2013. *Mocarze czasu. Pomnikowe drzewa na świecie i na Ziemi Łódzkiej*. Łódzkie Towarzystwo Naukowe.
- Kazemi-Najafi S., Shalbafan A., Ebrahimi G., 2009. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. *Eur. J. Forest Res.* 128, 345–350.
- Konijnendijk C., Nilsson K., Randrup T.B. i in. (red.), 2015. *Urban forests and Trees*. Springer, Berlin/Heidelberg, Germany.
- Luley C.L., 2005. *Wood decay fungi common to living urban trees in the northeast and central United States*. Urban Forestry LLC, Naples, NY, 61.
- Majdecki L., 1980–1986. *Tabela wiekowa drzew*. Rkps, Oddział Architektury Krajobrazu SGGW, Warszawa.
- Matthäck C., Breoler H., 1994. *The body language of trees*. HMSO, London, ss. 240.
- Mousavi M., Taskhiri M.S., Gandomi A.H., 2023. Standing tree health assessment using contact-ultrasonic testing and machine learning. *Comp. Electr. Agric.* 209, 107816. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107816>
- Nicolotti G., Socco L.V., Martinis R. i in., 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. *J. Arboric* 29(2), 66–77.
- Niemtur S., Chomicz-Zegar E., Kapsa M., 2014. Occurrence of the silver fir (*Abies alba* Mill.) butt rot in protected areas. *Leśne Prace Badaw.* 75(4), 343–352. <https://doi.org/10.2478/frp-2014-0031>.
- Pokorny J., O'Brien J., Hauer R. i in., 2003. *Urban tree risks management. A community guide to program design and implementation*. NA-TP-03-03. USDA Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry, St. Paul, MN.
- Roloff A., 2016. *Urban tree management for the sustainable development of green cities*. Willey Blackwell, 90–94.
- Siewniak M., Wesolly L., Bobek W. i in., 2020. *Statyka drzew. Analiza zawodności*. Poradnik profesjonalisty. Centrum Dendrologiczne Pawłowiec.
- Suchocka M., 2012. Zalety i ograniczenia stosowania wizualnej metody oceny drzew (VTA) jako odpowiedź na problemy związane z zagrożeniami powodowanymi przez drzewa miejskie. *Człow. Środ.* 36(1–2), 97–110.
- Wang X., Allison R.B., Wang L. i in., 2007. Acoustic tomography for decay detection in red oak trees. *Research Paper FPL-RP-642*. Madison WI:U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1–7. <https://doi.org/10.2737/FPL-RP-642>
- Wang X., Allison R.B., 2008. Decay detection in red oak trees using a combination of visual inspection, acoustic testing, and resistance microdrilling. *Arboric. Urban Forest.* 34(1), 1–4. <https://doi.org/10.48044/jauf.2008.001>
- Workingham District Veteran Tree Association, www.wdvt.org.uk/pdf/Estimating-the-age-of-trees.pdf [dostęp 8.10.2025].
- Wessolly L., Erb M., 2016. *Manual of tree statics and tree inspection*. Patzer Verlag Berlin–Hannover.
- Żuraw B., Durlak W., Dudkiewicz M. i in., 2016. Assessment of the health of monumental trees growing in a historic park in Zwierzyniec using an acoustic tomograph. *Czas. Tech., Archit.* 1A, 217–236.

Źródło finansowania: SUBB.WOP.19.021

Abstract. For field studies using the PiCUS 3 sonic tomograph, impressive trees growing in Florianka, Roztocze National Park, belonging to the genera *Acer*, *Quercus* and *Tilia*, were selected. The conducted studies indicate that tomographic diagnostics of tree trunk cross-sections produce accurate results and clearly show the extent and location of wood decay. The PiCUS® Sonic 3 offers excellent diagnostic support for assessing the health of trees.

Keywords: monumental trees, computed tomography, PiCUS® Sonic 3, Roztocze National Park

Otrzymano/Received: 8.12.2025

Zaakceptowano/Accepted: 16.03.2026

Online first: 30.04.2026

Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Durlak W., Żuraw-Rodzic B., 2026. Zastosowanie tomografii akustycznej w badaniach drzew pomnikowych na terenie Florianki w Roztoczańskim Parku Narodowym. *Ann. Hortic.*, 35(1), 13–24. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5643>

RENATA NURZYŃSKA-WIERDAK¹EWA DOROTA ZALEWSKA²

Rośliny lecznicze runa leśnego. Część I. Krzewy i krzewinki

Medicinal plants of the forest undergrowth. Part I. Shrubs and bushes

Abstrakt. Lasy stanowią ważne siedlisko dla roślin leczniczych wykorzystywanych w medycynie tradycyjnej i konwencjonalnej. Możliwość utrzymania, a nawet rozwoju naturalnych siedlisk, jest uwarunkowana zastosowaniem odpowiednich środków zarządzania oraz ochroną gatunków zagrożonych. Krzewy i krzewinki leśne znane w zastosowaniach tradycyjnych stają się coraz bardziej interesującym źródłem substancji bioaktywnych. Współczesne badania potwierdzają właściwości lecznicze wielu leśnych surowców zielarskich. Z uwagi na zagrożenia degradacją siedlisk naturalnych kultury *in vitro* zostały uznane za alternatywne odnawialne i ciągłe źródło materiału roślinnego *in vitro* do izolacji substancji bioaktywnych. W pracy przedstawiono sześć wybranych gatunków roślin leczniczych występujących w polskich lasach – bagno zwyczajne, bażynę czarną, berberys zwyczajny, dereń świdwa, jałowiec pospolity i janowiec barwierski – w ujęciu biologicznym, etnofarmakologicznym i fitofarmaceutycznym.

Słowa kluczowe: ziołolecznictwo, ekstrakty roślinne, polifenole, alkaloidy, aktywność antyoksydacyjna

WSTĘP

Lasy polskie są najmniej zniekształconą formacją przyrodniczą, stanowiącą niezbędny czynnik równowagi ekologicznej. Są jednocześnie formą użytkowania gruntów, która zapewnia produkcję biologiczną przedstawiającą wartość rynkową. Obecnie powierzchnia lasów w Polsce wynosi 9289 tys. ha, co odpowiada lesistości 29,6% [Rocznik Statystyczny Leśnictwa 2025]. Las stanowi system ukształtowany w przestrzeni względem osi pionowej, posiada układ warstwowy. Najniższą warstwą leśną jest runo leśne, w skład którego wchodzi krzewinki, rośliny zielne, mszaki, a także niskie krzewy. Termin ten stosowany jest głównie w leśnictwie; stanowi także istotne pojęcie ustawy o lasach [Chmielewski 2016]. Krzewy stanowią dużą część runa leśnego; mają cechy zbliżone do drzew, a różnią się tylko mniejszymi rozmiarami. Rzadko przekraczają wysokość 5–6 m, ich pień jest zredukowany i często rozgałęziony już u podstawy [Abbadie i Baudouin 2006]. Krzewinki to bardzo niskie krzewy, zazwyczaj do 50–60 cm wysokości, często płozące się lub nisko rozgałęzione. Gatunki roślin runa leśnego różnią się w zależności od siedliska i warunków; wiele z nich ma znaczenie wskaźnikowe lub lecznicze, a część objęta jest ścisłą ochroną gatunkową [Abbadie i Baudouin 2006, Smoliga 2024]. Runo leśne może w dużym zakresie uzupełniać niedobory niektórych składników pokarmowych, takich jak: węglowodany, błonnik, witaminy (B, C) i fitaminy (karotenoidy, flawonoidy), składniki mineralne (żelazo, magnez, potas, miedź, mangan, wapń, fosfor, cynk). Zasobność runa leśnego zależy od warunków siedliskowych, wewnętrznej zmienności zbiorowiska oraz dynamiki sezonowej roślinności, zwłaszcza gatunków dominujących [Kotowski i Obidziński 2014]. Uzyskiwanie określonych surowców z terenów leśnych, w tym leśnych roślin pre-

¹ Katedra Warzywnictwa i Ziolarstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 54, 20-280 Lublin, <https://orcid.org/0000-0002-9373-4841>

² Katedra Warzywnictwa i Ziolarstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 54, 20-280 Lublin, <https://orcid.org/0000-0001-7445-9808>, autor korespondencyjny: ewa.zalewska@up.lublin.pl



mysłowych, leczniczych, owoców, mchów, porostów oraz grzybów leśnych, reguluje przede wszystkim ustawa o lasach [Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach]. Pozyskiwanie możliwe jest po rozpoznaniu bazy surowcowej zasobów, będących przedmiotem zainteresowania oraz podpisaniu umowy z właściwym nadleśnictwem. Liczne gatunki roślin leśnych dostarczają zarówno jadalnych owoców, jak i cennych surowców zielarskich. W dalszej części pracy zaprezentowano wybrane rośliny lecznicze runa leśnego klasyfikowane jako krzewy i krzewinki, z uwzględnieniem tradycyjnego i współczesnego wykorzystania w celach spożywczych oraz leczniczych. Z uwagi na dużą liczbę ważnych gatunków z tej grupy krzewinki z rodzaju *Vaccinium* (L.) zostały omówione w drugiej pracy.

BAGNO ZWYCZAJNE

Bagno zwyczajne (*Rhododendron tomentosum* Harmaja, syn. *Ledum palustre* L., f. *Ericaceae*) to dość pospolita w Polsce roślina dolnego piętra lasu, zwłaszcza w północnej części kraju, ustępująca głównie wskutek osuszania terenów. Jest gatunkiem objętym ochroną częściową, rośliną leczniczą i użytkową oraz trującą. Występuje głównie w borach bagiennych i na torfowiskach wysokich oraz przejściowych. Nazwy zwyczajowe i ludowe gatunku (bagno pospolite, bagniak, dziki rozmaryn, rozmaryn leśny) nawiązują do swoistego, silnego, odurzającego aromatu rośliny. Bagno zwyczajne jest krzewem wysokości 50–150 cm o wzniesionych pędach, za młodu pokrytych rdzawym kutnerem. Liście zimozielone, ogonkowe, równowąskie, grube, skórzaste z podwiniętym brzegiem, są ciemnozielone, od spodu pokryte kutnerem. Bagno kwitnie w maju i czerwcu; promieniste, białe lub jasnokremowe kwiaty zebrane są w szczytowe baldaszki. Owocem jest torebka po dojrzewaniu zwieszająca się ku dołowi, pękająca od strony szypułki pięcioma kłapami. Nasiona są liczne, drobne, spiralnie skręcone [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000].

Ziele bagna (*Ledi palustris herba*) i liść bagna (*Ledi palustris folium*)

Surowcem leczniczym jest ziele bagna i liść bagna, znane w tradycyjnych zastosowaniach, ale niewymienione w aktualnej Farmakopei Polskiej. Ziele zbiera się na początku i w pełni kwitnienia, ścinając ulistnione i kwitnące pędy długości 25 cm, powyżej zdrewniałych części. Surowiec suszy się w warunkach naturalnych lub w suszarni ogrzewanej w temperaturze do 40°C. Ziele bagna zawiera olejek eteryczny, flawonoidy, kwasy fenolowe, terpenoidy, garbniki, woski i inne składniki bioaktywne. W medycynie ludowej Europy i Azji bagno znane jest jako środek przeciwreumatyczny, stosowany w chorobach płuc, przeziębieniach, gruźlicy, zakażeniach bakteryjnych, dolegliwościach trawiennych, doceniany także jako skuteczny repelent przeciwko molom i innym owadom [Dampc i Luczkiewicz 2013, Judžentienė 2020]. Tradycyjne zastosowania surowca są zgodne z odkryciami naukowymi, co podkreśla ich znaczenie w medycynie ludowej [Vengrytė i Raudonė 2024]. Olejek eteryczny bagna zwyczajnego, bogaty we frakcję polifenolową, ma potencjał przeciwbólowy, przeciwzapalny, przeciwbakteryjny, przeciwwirusowy, przeciwgrzybiczy i owadobójczy, co potwierdzają badania *in vivo* i *in vitro*. Wspomina się także o obiecujących właściwościach przeciwcukrzycowych, antyoksydacyjnych i przeciwnowotworowych tego olejku [Dampc i Luczkiewicz 2013]. Judžentienė [2020] podaje jako główne związki olejku eterycznego litewskiego bagna zwyczajnego: węglowodory monoterpene – p-cymen, β -mircen i limonen, bicykliczny monoterpene askarydol oraz utlenione seskwiterpeny – ledol, palustrol i izomery cyklokolorenonu. Olejki eteryczne znacząco hamowały obrzęk o 50–73% i 52–80%, podobnie jak piroksykam (70%) i ketoprofen (55%). Badania potwierdziły, że olejki eteryczne z *R. tomentosum* wykazują znaczącą aktywność przeciwzapalną w porównaniu z niesteroidowymi lekami przeciwzapalnymi. Należy dodać, że tlenek terpenowy – askarydol ma bardzo duży potencjał w nowoczesnej medycynie w leczeniu różnych schorzeń. Związek ten wykazuje właściwości uspokajające, przeciwpasożytnicze, przeciwnowotworowe, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwzapalne i przeciwbólowe, ale także zalicza się go do związków podrażniających skórę. Mimo że skuteczność askarydolu została udowodniona w różnych modelach eksperymentalnych, zastosowanie terapeutyczne napotyka ograniczenia, głównie z powodu niewielkiej liczby badań oceniających jego aktywność jako związku izolowanego [Patel 2017, Kędzia i in. 2020, Abadia i Gnoatto 2026]. Współczesne badania potwierdzają właściwości przeciwzapalne surowca

bagna. Z uwagi na zagrożenia degradacją siedlisk naturalnych płynne kultury *in vitro* *R. tomentosum* zostały uznane za alternatywne odnawialne i ciągłe źródło materiału roślinnego *in vitro* do izolacji olejków eterycznych [Jesionek i in. 2017].

BAŻYNA CZARNA

Bażyna czarna (*Empetrum nigrum* L., f. *Empetraceae*) występuje w Polsce tylko w nielicznych regionach: w postaci rozproszonych stanowisk na Pomorzu, w okolicach Poznania, Białegostoku, w Beskidach i Sudetach; podlega ochronie gatunkowej. Gatunek dzieli się na dwa podgatunki, w zależności od tego, czy roślina wytwarza kwiaty obupłciowe (*E. nigrum* ssp. *hermaphroditum*) czy jest dwupienna (*E. nigrum* ssp. *nigrum*). Bażyna czarna w podgatunku typowym *E. nigrum* subsp. *nigrum* występuje głównie w Europie Środkowej i Północnej. W wyższych partiach gór i dalej na północy, w Arktyce takson ten zastępowany jest przez podgatunek *E. nigrum* subsp. *hermaphroditum* [Grochowski i Grochowski 1994, Lacramioara i Ciprian 2016]. Bażyna czarna to roślina torfowisk wysokich, spotykana także w prześwietlonych drzewostanach sosnowych, na górskich halach. Dorasta do 15–45 cm wysokości, pokrojem przypomina wrzos. Charakteryzuje się wąskimi, skórzastymi, zimzielonymi liśćmi. Kwiaty trzykrotne, zwykle jednopłciowe, rozwijają się w maju i czerwcu. Osadzone są na krótkich szypułkach w kątach liści, w szczytowych partiach pędów. Korona kwiatów męskich jest różowa, a kwiatów żeńskich purpurowa. Owocem są drobne, kuliste, czarne po dojrzewaniu, mięsiste i soczyste pestkowce o średnicy 4–8 mm, zawierające najczęściej 8–9 nasion. Owoce bażyny są jadalne, ale mało popularne w naszym kraju. Są łagodne lub lekko kwaśne, gorzkie i cierpkie, bardzo soczyste, można je spożywać na surowo lub przetworzone. Po zamrożeniu smak owoców ulega polepszeniu. Na ogół preferowane są produkty owocowe z bażyny, takie jak soki i dżemy, mieszanki z innymi jagodami, piwa czy wina. Owoce bażyny mają w skórce dużą ilość pigmentów antocyjanowych, które mogą być wykorzystane jako ekstrakty odżywcze i naturalne barwniki spożywcze. W krajach północnych bażyna czarna występuje obficie i jest bardziej popularna w użytkowaniu [Grochowski i Grochowski 1994].

Owoce bażyny

Surowcem bażyny są owoce, znane w medycynie ludowej jako środki przeciwzapalne w leczeniu zapalenia pęcherza moczowego, zapalenia nerek i zapalenia cewki moczowej. Aktywność prozdrowotna owoców wynika z wysokiej zawartości związków polifenolowych, zwłaszcza flawonoli (kwercetyny, kemferolu, rutyny, resweratolu, mirycetyny, naringeniny, moriny), kwasów fenolowych (kwas ferulowy, galusowy, syringowy i kawowy) i antocyjanów, które mają skład i strukturę podobną do antocyjanów borówki czernicy. Antocyjany, polifenole i flawonoidy występują głównie w zewnętrznych warstwach owocu [Jurikova i in. 2016, Stefkov i in. 2024]. Zawartość flawonoidów w przeliczeniu na ekwiwalent katechiny w świeżych i suszonych owocach bażyny wynosi odpowiednio: $2,46 \pm 0,01$ i $3,94 \pm 0,106$ mg/g s.m., natomiast zawartość antocyjanów w przeliczeniu na ekwiwalent glukozydu cyjanidyny wynosi odpowiednio dla świeżej i suchej masy: $2629,54 \pm 54,71$ i $29246,52 \pm 22,10$ mg/g s.m. [Lacramioara i Ciprian 2016]. Profil fitochemiczny bażyny czarnej, obejmujący chalkony, flawonoidy i związki fenolowe, stanowi podstawę jej właściwości leczniczych, a także wykazuje działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne i przeciwdrobnoustrojowe. Te właściwości mają znaczenie w leczeniu chorób przewlekłych, takich jak choroby układu krążenia i choroby neurodegeneracyjne, co podkreśla ich potencjał w zastosowaniach farmaceutycznych i nutraceutycznych. Tradycyjnie gatunek był stosowany w etnomedycynie w różnych kulturach. Głównym zastosowaniem było leczenie szkorbutu, ze względu na wysoką zawartość witaminy C, a także przeziębień, stanów zapalnych i zaburzeń trawiennych. Wywary i napary z części nadziemnych stosowano jako środki uspokajające i w leczeniu zaburzeń neurologicznych, takich jak epilepsja, bóle głowy i bezsenność. Owoce i części nadziemne wykorzystywano ze względu na ich właściwości moczopędne i przeciwzapalne w zapaleniu pęcherza moczowego i zapaleniu nerek [Stefkov i in. 2024]. Współczesne badania potwierdzają dużą wartość biologiczną owoców bażyny czarnej. Głównymi antocyjanami w liofilizowanym proszku z bażyny czarnej były cyjanidyno-3-galaktozyd i delfinidyno-3-galaktozyd, odpowiednio w stężeniach 8,04 i 8,62 mg/g ekstraktu. Całkowita zawartość

antocyjanów w bażynie czarnej wyniosła 41,8 mg/g ekstraktu i była większa niż w pozostałych dziewięciu głównych gatunkach owoców jagodowych (2,5–38,8 mg/g ekstraktu). Ponadto ekstrakt z bażyny wykazał najsilniejsze działanie antyoksydacyjne [Ogawa i in. 2008]. Smiljanic i in. [2022] potwierdzili, że ekstrakt z owoców *E. nigrum* wykazuje silne działanie antyoksydacyjne i przeciwzapalne. Dodatkowo, geny zaangażowane w różnicowanie keratynocytów są aktywowane po zastosowaniu ww. ekstraktu. Ekstrakt z *E. nigrum* wykazuje istotnie wyższy poziom białek AQP3 i OCLN w porównaniu z niacynamidem. Autorzy określili ekstrakt z owoców bażyny jako naturalną alternatywę dla niacynamidu w zakresie poprawy zdrowia bariery skórnej, ponieważ wykazuje wysoką skuteczność już przy niższym badanym stężeniu. Tradycyjne zastosowania *E. nigrum* w leczeniu przeziębień, stanów zapalnych i zaburzeń trawiennych są potwierdzane przez współczesne badania farmakologiczne. W modelach zwierzęcych wykazano właściwości przeciwdrgawkowe i neuroprotektoryjne ekstraktów z owoców bażyny, które wykazywały skuteczność porównywalną z syntetycznymi lekami przeciwdrgawkowymi. Udowodniono, że substancje aktywne owoców bażyny zmniejszają akumulację lipidów i cholesterolu całkowitego, a także poprawiają hiperglikemię poposiłkową. Działanie przeciwnowotworowe ekstraktu z owoców bażyny, uzyskanego przy wykorzystaniu octanu etylu, opiera się na działaniu ochronnym przed promieniowaniem UVB w ludzkich keratynocytach HaCaT.

Liście, łodygi i korzenie bażyny były stosowane w różnych mieszankach jako środek przeczyszczający, moczopędny, przeciwbiegunkowy, a także do leczenia oczu oraz chorób wątroby i nerek ze względu na ich związki przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze, a także działanie przeciwzapalne [Lacramioara i Ciprian 2016]. Hyun i in. [2016] stwierdzili, że liście i pędy bażyny są dobrym źródłem naturalnych składników antyoksydacyjnych, hamujących α -glukozydazę, i przeciwzapalnych, które korzystnie wpływają na zdrowie człowieka. Największą całkowitą zawartość związków fenolowych wykazywał ekstrakt metanolowy (1170 ± 4 mg GAE/g), następnie n-butanolu (950 ± 76 mg GAE/g) i octanu etylu (817 ± 25 mg GAE/g), natomiast najmniejszą całkowitą zawartość związków fenolowych wykazywała frakcja heksanowa. Największą całkowitą zawartość flawonoidów wykazała frakcja octanu etylu ($346 \pm 5,3$ mg QE/g ekstraktu), następnie metanolowa i n-butanolu. Substancje aktywne bażyny, takie jak związki fenolowe, flawonoidy, antocyjany i triterpenoidy, przyczyniają się do szerokiego działania farmakologicznego, w tym działania antyoksydacyjnego, neuroprotektoryjnego, przeciwdrobnoustrojowego, przeciwnowotworowego i przeciwzapalnego [Jurikova i in. 2016, Stefkov i in. 2024].

BERBERYS ZWYCZAJNY

Berberys zwyczajny (*Berberis vulgaris* L., f. *Berberidaceae*) – znany też jako kwaśnica pospolita i kwaśniec, kalina włoska, ciernie białe – jest ciernistym krzewem wysokości 1,5–2,0 m, o szarej, gładkiej korze, kanciastych pędach i liściach ząbkowanych, odwrotnie jajowatych do podłużno-eliptycznych. Kwiaty berberysu rozwijają się w maju i czerwcu; są żółte, pachnące, zebrane w zwisające grona. Owocem jest jajowata, podłużna albo cylindryczna, wielonasienna, lśniąca, czerwona jagoda, kwaskowata w smaku i dość twarda. Nasiona dojrzewają we wrześniu i w październiku. Berberys rośnie na słonecznych wzgórzach, w zaroślach, w świetlistych lasach liściastych i iglastych, często na żyznych i wapiennych glebach gliniastych. Najpospolitszy jest na Lubelszczyźnie, przy czym rośnie na całym niżu i w niższych partiach górskich. Znaczna część dziko rosnącego berberysu została wytępiona przez rolników, ponieważ krzew ten jest żywicielem pośrednim rdzy żdźbłowej, która powoduje znaczne straty w uprawach zbóż [Grochowski i Grochowski 1994, Wojciechowska 2017]. Obecnie rezygnuje się ze zbioru korzeni ze względu na znaczne ograniczenie populacji dziko rosnącego berberysu. Korę z gałęzi pobiera się jedynie z roślin 2–3-letnich, kiedy jest ona już w maksymalnym stopniu wysycona związkami czynnymi, lecz wciąż niezdrewniała. Najłatwiej dostępnym surowcem pozostają liście krzewu, zwykle zbierane na przełomie maja i czerwca oraz dojrzałe owoce w sierpniu i wrześniu [Wojciechowska 2017, Bober i in. 2018]. W lecznictwie ludowym stosowano nalewki z korzeni berberysu do pobudzenia apetytu i w chorobach wątroby, a odwary z kory jako środki żółciopędne. Berberys wykorzystywany był także przy podagrze, gośćcu, w kuracji odwykowej od morfiny, do wzmocnienia dziąseł. Owoce berberysu doceniano jako środki witaminizujące, dietetyczne i słabo przeciwgorączkowe, a także w produkcji przetworów [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Współczesne badania wska-

zują, że bogate w antyoksydanty owoce *B. vulgaris* są atrakcyjne do spożycia i mogą być wykorzystane w produkcji nowych przetworów owocowych [Pyrkosz-Biardzka i in. 2014]. Wyciąg z berberysu bogaty we flawonoidy stosowany był kiedyś jako naturalny środek barwiący tkaniny na złoty kolor, natomiast sok z jagód służył jako czerwony atrament [Wojciechowska 2017].

Owoce berberysu (*Berberidis fructus*)

Owoce berberysu zawierają znaczne ilości kwasów organicznych, m.in.: kwasu askorbowego (ok. 1,5% suchej masy), jabłkowego (ok. 6%), cytrynowego (ok. 2–4%), winowego i bursztynowego, a także cukry (glukoza, fruktoza) i pektyny. W liściach, korze i korzeniach gromadzą się alkaloidy benzyloizochinolinowe: berberyna, jatrorryzyna, palamtyna, magnofloryna, a także garbniki, flawonoidy (m.in. kwercetyna, luteolina, katechina), kwasy fenolowe (m.in. kwas galusowy, kwas kawowy, kwas protokatechinowy), żywice i woski [Strzelecka i Kowalski 2000, Wojciechowska 2017, Och i in. 2023]. Och i in. [2023] oznaczyli całkowitą zawartość polifenoli w ekstraktach z owoców, liści i pędów berberysu, która różniła się w zależności od organu, przy czym największą stwierdzono w ekstraktach z liści. Te ekstrakty wyróżniała ponadto największa aktywność antyoksydacyjna. Jednym z ważniejszych związków aktywnych berberysu jest berberyna, organiczny związek chemiczny należący do grupy alkaloidów benzyloizochinolinowych; jej największe ilości znajdują się w liściach, korzeniach i korze (do 1%). Berberyna cieszy się dużym zainteresowaniem ze względu na działanie przeciwnowotworowe wynikające z inhibicji/stymulacji wielu szlaków biochemicznych. Berberyna ma również działanie przeciwcukrzycowe, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe. Jest to naturalny lek do zastosowań klinicznych w różnych chorobach i stanach patologicznych, takich jak miażdżycza, rak, choroba Alzheimera, cukrzyca, PCOS, infekcje bakteryjne i wirusowe, a także jako lek wspomagający terapie stresu, nerwic i depresji [Koperska i in. 2021, Możdżeń i in. 2021, Muszalska i Wiccanowska 2024, Sokołowska i in. 2024]. Aktywność przeciwwirusową berberyny wykazano względem wirusa grypy A/H1N1, wirusa Chikungunya oraz innych alfavirusów, enterowirusa 71 (EV71), syncytialnego wirusa oddechowego (RSV), wirusa cytomegalii (CMV), opryszczki (HSV) oraz SARS-CoV-2 [Nawrot i in. 2019]. Dzięki właściwościom przeciwzapalnym, antyoksydacyjnym i obniżającym poziom lipidów berberyna może znajdować zastosowanie we wspomaganiu leczenia otyłości i współtowarzyszących zaburzeń. Torkamaneh i in. [2021] dowiedli, że stosowanie leków z berberyną w połączeniu z ćwiczeniami aerobowymi lub oporowymi może być przydatne w zapobieganiu chorobom układu krążenia poprzez poprawę czynników ryzyka, takich jak poziom lipidów we krwi. Obecnie ten związek jest oceniany w wielu ważnych badaniach klinicznych i jest jedną z najbardziej obiecujących i intensywnie badanych substancji naturalnych [Sokołowska i in. 2024]. Singh i in. [2023] zauważają konieczność walidacji w odpowiednich badaniach analizy skuteczności potencjalnych mechanizmów działania i efektów terapeutycznych berberyny i jej metabolitów w różnych stanach chorobowych. Autorzy podkreślają, że kinazy stanowią główną kategorię celów, a nowotwory główną kategorię terapeutyczną berberyny. Pozostałe alkaloidy berberysu również wykazują aktywność biologiczną: berbamina obniża ciśnienie tętnicze krwi, kryptopina reguluje pracę serca, protopina działa przeciwbólowo, palamtyna ma właściwości przeciwbakteryjne, przeciwzapalne i przeciwbólowe oraz narkotyka wzmacnia działanie przeciwbólowe [Wojciechowska 2017]. Chukwuneme i Gildenhuys [2026] stwierdzili korzystne podobieństwo do leku wszystkich alkaloidów berberysu z wyjątkiem berbaminu i obameginy (0,3) oraz niską toksyczność kliniczną (0,0–0,3). Autorzy podkreślają potencjał terapeutyczny alkaloidów berberysu w różnych szlakach chorobowych. Dla przykładu: zidentyfikowano kilka szlaków sygnałowych i procesów biologicznych, na które oddziałują alkaloidy berberysu w zaburzeniach sercowo-naczyniowych i metabolicznych. Zamiast oddziaływać na pojedyncze białko, te alkaloidy oddziaływały na kilka węzłów, w tym kinazy, enzymy i receptory, które są powiązane z cukrzycą, otyłością, miażdżycą, niewydolnością serca, nadciśnieniem i udarem mózgu.

DEREŃ ŚWIDWA

Według dawnych źródeł polskie nazwy świdwa lub świdba pochodzą od czeskiego *svida*, *svideti* (palić) z powodu jaskrawoczerwonej barwy kory, zwłaszcza zimą [Kujawska i in. 2016]. Dereń świdwa

(*Cornus sanguinea* L., f. *Cornaceae*) jest krzewem o dość gęstym pokroju, wysokości 4 m, o brązowo-zielonych pędach, jesienią czerwieniejących. Pędy rośliny od strony nasłonecznionej przybierają brunatnoczerwoną barwę, a od strony zacienionej – zieloną. Ciemnoczerwone, lśniące pędy, szczególnie charakterystyczne są zimą, kiedy odbijają się na tle białego śniegu. Od ich koloru pochodzi łacińska nazwa krzewu – *sanguinea* (krwisty) [Szwedler i Sobkowiak 1998]. Liście ma eliptyczne, zastrzone, całobrzegie, dołem sinawe, owłosione. Roślina kwitnie po rozwinięciu liści, w maju i czerwcu; zdarza się, że powtarza kwitnienie. Kwiaty są kremowe, pachnące, zebrane w szczytowe podbaldachy. Gatunek jest owadopylny, a jego białe kwiaty zwabiają szczególnie pszczoły. Owocem jest kulisty, czarny pestkowiec, dojrzewający we wrześniu i październiku, chętnie zjadany przez ptaki, a nawet niektóre ssaki. Wewnątrz owocu znajdują się dwa nasiona. Dawniej wykorzystywano je do tłoczenia oleju technicznego. Zawartość tłuszczu w nasionach sięga 30% [Grochowski i Grochowski 1994, Baranowska i in. 2025]. Świdwa powszechnie występuje w Polsce, na całym niżu i w niższych położeniach górskich, w lasach liściastych i mieszanych, zdominowanych przez dąb, lipę, klon, jesion, wiąz i grab. Spotykana w różnych siedliskach, najczęściej na stanowiskach wilgotnych, w lasach i zaroślach, także na słonecznych, wapiennych zboczach. Jest cienioznośna i mrozoodporna. Drewno derenia świdwy, wytrzymałe, twarde i elastyczne, znajdowało niegdyś szereg zastosowań: m.in. do wyrobu strzelb, cybuchów, cepów, lasek czy drabin. Drewno jest trudne w obróbce i wymaga powolnego suszenia, obecnie jest używane wyłącznie przez rzemieślników do wytwarzania drobnych przedmiotów, takich jak trzonki narzędzi. Elastyczne pędy mogą być używane do wyplatania koszyków lub sieci rybackich. Owoce świdwy o cierpkim smaku są nieprzyjemne do spożycia na surowo. Wykorzystywane są natomiast do produkcji dżemów i soków. Bogate w tłuszcz nasiona mogą być używane do produkcji mydła lub oleju do lamp gazowych [Grochowski i Grochowski 1994, Marszałek i Scelina 2015, Tenuta i in. 2022]. *C. sanguinea* jest tradycyjnie wykorzystywany w leczeniu wielu chorób. Owoce są stosowane jako środek na biegunkę, bóle brzucha, ból oczu, ból gardła i zaburzenia żołądkowo-jelitowe, a suszone korzenie jako środek przeciwgorączkowy [Paolillo i in. 2025]. Aktualnie roślina ta jest badana pod kątem zawartości antyoksydantów, a wyniki eksperymentów są obiecujące. Najnowsze badania nad aktywnością antyoksydacyjną ekstraktów z liści i owoców wykazały ważne zastosowanie przeciwko wielolekoopornym ludzkim patogenom [Popescu i in. 2016].

Owoce derenia świdwy

Owoce derenia świdwy zawierają liczne związki o charakterze antyoksydacyjnym: flawonoidy (m.in. hiperozyd, kwercyturon, rutynę), antocyjany (cyjanidyno-3-O-glukozyd), kwasy fenolowe (kwas neochlorogenowy), witaminę C [Tenuta i in. 2022]. Popović i in. [2017] wykazali, że owoce świdwy wyróżnia wysokie stężenie naturalnych przeciwutleniaczy w postaci pochodnych kwercetyny. Łączna zawartość pięciu analizowanych pochodnych w roślinach z Aвали i okolic jeziora Złatar wynosiła odpowiednio 1240 µg/g i 1830 µg/g. Zawartość kwercetyny-3-O-glukuronidu, aktywnej metabolicznie formy kwercetyny wykazującej silne działanie antyoksydacyjne w osoczu ludzkim, przekraczała ilości oznaczone u innych gatunków uważanych za naturalne źródła związków na bazie kwercetyny. Paolillo i in. [2025] wykazali aktywność antyoksydacyjną ekstraktu z całych roślin *C. sanguinea* w komórkach HaCaT, które są kluczowym modelem w badaniach dermatologicznych. Badania fitochemiczne wskazują, że aktywność antyoksydacyjna była związana z obecnością zidentyfikowanych metabolitów, takich jak kwasy fenolowe, flawonoidy czy glikozydy (m.in.: kwas galusowy, kwas chlorogenowy, kwas kumarowy, kwas kawowy, kwas cykoriowy, glikozydy miricetyny, kemferolu, kwercetyny, kornozyd, salidrozyd). Autorzy sugerują potencjalny rozwój formułacji na bazie *C. sanguinea*, mogący chronić przed stresem oksydacyjnym, przyczyniającym się do procesu starzenia i patogenezы różnych chorób skóry. Ianuzzi i in. [2021] podkreślają właściwości przeciwstarzeniowe kilku związków wyizolowanych z owoców *C. sanguinea*, co potwierdza ich potencjalne zastosowanie w leczeniu zmian skórnych lub przyzębia. Yousfbeyk i in. [2014] wykazali korelację między całkowitą zawartością fenoli a aktywnością antyoksydacyjną owoców *C. sanguinea*, a także całkowitą zawartością antocyjanów i aktywnością antyoksydacyjną w teście DPPH ($R^2 = 0,99$). Wyniki sugerują, że owoce *C. sanguinea* są naturalnym źródłem antocyjanów o znacznej aktywności antyoksydacyjnej. Stanković i Topuzović [2012] przedstawili dane dotyczące analizy porównawczej liści i owoców derenia świdwy. W porównaniu z wartościami IC₅₀ dla BHA, rutyny i kwasu chlo-

rogenowego, metanolowe i wodne ekstrakty z liści *C. sanguinea* wykazały największą zdolność neutralizacji rodników DPPH. Stwierdzono, że metanolowe i wodne ekstrakty z liści *C. sanguinea* były bardziej aktywne niż ekstrakt z miłorzębu. Największą zdolność neutralizacji rodników DPPH stwierdzono dla ekstraktów metanolowych i wodnych z liści *C. sanguinea*, które neutralizowały 50% wolnych rodników DPPH w niewielkim stężeniu (odpowiednio: 19,84 i 22,37 $\mu\text{g/ml}$). W grupie ekstraktów owocowych najwyższą aktywność antyoksydacyjną wykazywał ekstrakt acetonowy. Wyciągi z liści, zawierające więcej związków fenolowych w porównaniu z owocami, prezentowały wyższą aktywność antyoksydacyjną niż ekstrakty uzyskane z owoców. Aktywność antyoksydacyjna wyrażona wartościami IC50 ($\mu\text{g/ml}$) mieściła się w zakresie od 1202,85 do 19,84 $\mu\text{g/ml}$, całkowita zawartość fenoli wynosiła od 27,45 do 205,74 mg GA/g, a stężenie flawonoidów wynosiło od 14,40 do 118,46 mg RU/g. Owoce niektórych gatunków derenia są wykorzystywane w medycynie tradycyjnej i uważane za potencjalne środki przeciwcukrzycowe i hipolipemiczne. Truba i in. [2020] podają, że związki irydoidowe lub glikozydy flawonoidowe występujące w owocach *C. sanguinea* nie odgrywają znaczącej roli w hamowaniu enzymów trawiennych (α -amylazy, lipazy trzustkowej i α -glukozydazy), ale wykazują działanie antyoksydacyjne. W ekstrakcie z owoców *C. sanguinea* w największej ilości występowały: triheksozyd kwercetyny, diheksozyd kwercetyny i 3-O-glukuronid kwercetyny; ponadto w ekstrakcie oznaczono poliglikozydy mirycetyny i izoramnetyny.

JAŁOWIEC POSPOLITY

Jałowiec pospolity (*Juniperus communis* L., f. *Cupressaceae*), zwany także jodłowcem, jest dwupiennym, poziomo rozrastającym się krzewem iglastym wysokości 0,5–3,0 m (rzadziej drzewem dorastającym do 10 m wysokości). Gatunek długowieczny, pospolity na całym niżu, z wyjątkiem południowo-wschodniej Polski, spotykany także w niższych partiach górskich. Nazwa rośliny związana jest z jej niewielkimi wymaganiami środowiskowymi: jałowiec rośnie zarówno na jałowych piaskach wydmych, jak i terenach podmokłych, na glebach piaszczystych, gliniastych, skałach [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Jałowiec jest gatunkiem światłoładnym, rośnie w lukach drzewostanów, w silnie przeredzonych drzewostanach sosnowych starszych klas wieku czy na ich obrzeżach [Boratyński i Boratyńska 2022/2023]. *J. communis* jest gatunkiem zmiennym, a w jego obrębie wyróżnia się kilka taksonów niższego rzędu. W Polsce występuje podgatunek typowy *J. communis* subsp. *communis* (niewielkie drzewo lub krzew), a w górach, na południu kraju – *J. communis* subsp. *alpina* (Sm.) Čelak (krzew). Pokrój *J. communis* nie jest jednolity, w lasach można wyróżnić sześć form pokrojowych: krzewiastą, piramidalną, kolumnową, drzewiastą, płozącą i pośrednią [Bobiński 1974, Boratyński i Boratyńska 2022/2023]. Rozdzielnościowe kwiaty jałowca rozwijają się od maja do września; kwiaty męskie zebrane są w krótkie kotki, kwiaty żeńskie tworzą brunatne szyszki. Owocem jest kulista szyszkojagoda, czarna, z charakterystycznym sinym nalotem. Dojrzałe owoce bardzo łatwo opadają z rośliny [Strzelecka i Kowalski 2000, Tahir i in. 2016].

Szyszkojagoda jałowca (*Juniperi galbulus*, syn. *Juniperi bacca*)

Szyszkojagoda jałowca jest surowcem farmakopealnym o zawartości olejku eterycznego nie mniejszej niż 10 mL/kg [Farmakopea... 2020]. Surowiec wykorzystywany jest w produkcji farmaceutyków, alkoholi, a także jako aromatyczna przyprawa. Zawiera dużo cukrów (od 25 do ponad 30%), głównie glukozy i fruktozy, a także związków mineralnych (5–7%), kwasy organiczne (3%), pektyny (0,7%) olejek eteryczny (0,5–2%), gorycz juniperynę, flawonoidy, garbniki, kumaryny i woski. Flawonoidy obecne w surowcu to: apigenina, luteolina, kwercetyna-3-O-arabinozyd, kwercetyna-3-O-ramnozyd, kwercetryna, scutellareina, rutyna, nepetyna, amentoflawon i bilobetyna. Olejek jałowcowy składa się głównie z węglowodorów monoterpenowych, takich jak α -pinen i β -pinen, mircen, sabinen i limonen. Surowiec ma właściwości moczopędne i przeciwzapalne. Jest ważnym lekiem przeciwbakteryjnym, antyoksydacyjnym, hepatoprotekcyjnym, neuroprotekcyjnym, przeciwgrzybiczym i przeciwkataleptycznym. Szyszkojagody znajdują zastosowania w leczeniu chorób nerek, reumatyzmu, zaburzeniach trawiennych, zapaleniach dróg moczowych, zaburzeniach pracy wątroby. Wchodzi w skład mieszanek ziołowych.

Olejek jałowcowy (*Juniperi aetheroleum*), podobnie jak szyszkojadody jałowca, jest surowcem farmakopealnym, co oznacza, że jego skład chemiczny, jakość i metody kontroli są ściśle uregulowane, z uwzględnieniem specyficznych zakresów zawartości głównych składników, m.in. monoterpenów [Farmakopea... 2020]. Olejek może być składnikiem maści, używa się go też w kosmetyce i przemyśle perfumeryjnym. Ze względu na działanie antybakteryjne jest używany do konserwowania żywności oraz przygotowywania preparatów leczniczych i produktów farmaceutycznych. U osób wrażliwych, zwłaszcza przy długotrwałym stosowaniu, preparaty z jałowca mogą wywoływać uczulenie, stany zapalne skóry, nerek i przewodu pokarmowego [Grochowski i Grochowski 1994, Stoilova i in. 2014, Tahir i in. 2016]. Olejek eteryczny pozyskiwany jest z różnych organów jałowca. Sela i in. [2013] otrzymali olejek eteryczny z liści *J. communis* z wydajnością 7,3–9,0 ml/kg, w którym zidentyfikowano 90 składników. Głównymi składnikami olejku eterycznego z liści były: α -pinen (21,37–28,68%) i sabinen (2,29–16,27%), a następnie limonen, terpinen-4-ol, β -elemen, trans-(E)-kariofilen, germakren D i δ -kadinen. Wykazano, że dwie bakterie, *Staphylococcus aureus* i *Streptococcus pyogenes*, były wrażliwe na działanie przeciwdrobnoustrojowe tego olejku (MIC = 125 μ l/ml). Ponadto olejek eteryczny z liści jałowca wykazał umiarkowaną aktywność przeciwdrobnoustrojową wobec *Streptococcus agalactiae*, *Haemophilus influenzae*, *Corynebacterium* spp. oraz *Campylobacter jejuni* (MIC > 500 μ l/ml), natomiast *Candida albicans*, *S. epidermidis*, *Acinetobacter* spp., *Salmonella* Enteridis, *Shigella flexneri*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Proteus mirabilis* były całkowicie odporne na działanie olejku.

JANOWIEC BARWIERSKI

Janowiec barwierski (*Genista tinctoria* L., f. *Fabaceae*) to krzew o miotlastym pokroju, dorastający do 60 cm wysokości; występuje w borach świeżych i mieszanych, na stanowiskach naświetlonych, obrzeżach lasu, w zaroślach. W Polsce pospolity na całym niżu i w niższych partiach górskich. Tworzy cienkie, wzniesione lub półleżące pędy, drobne, eliptyczne lub lancetowate liście i żółte kwiaty, typowe dla rodziny bobowatych (czerwiec–sierpień). Owocem jest płaski, lśniący, zielonobrazowy strąk zawierający 6–10 brunatnych nasion [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Janowiec zawiera barwniki flawonowe, kwiaty i ziele nadają się do barwienia wełny, lnu, jedwabiu i innych materiałów. Obok podstawowej barwy żółtej tworzy różnobarwne kompleksy z roztworami soli żelaza (czekoladowe), glinu (jasnożółte), chromu (zielonożółte) czy cyrkonu [Grochowski i Grochowski 1994, Forycka 2002]. Lecznicze właściwości janowca znane są od XVI wieku. W lecznictwie ludowym stosowano janowiec jako lek moczopędny w puchlinie wodnej, kamicy nerkowej, reumatyzmie. Janowiec jest rośliną trującą, przedawkowanie wywołuje nudności i wymioty [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000].

Ziele janowca barwierskiego (*Genistae tinctoriae herba*)

Ziele janowca barwierskiego stosowane jest w lecznictwie; najlepiej, jak jest zebrane w okresie kwitnienia i wysuszone w warunkach naturalnych lub w temperaturze 60°C. Surowiec zawiera alkaloidy chinolizydynowe (0,33%): cytyzynę, metylocytyzynę, lupaninę, anagirybę; flawonoidy, kwasy fenolowe, steroidy, garbniki, gorycze, śladowe ilości olejku eterycznego, cukry, związki mineralne. Ziele janowca działa silnie moczopędnie, podnosi ciśnienie krwi, przyspiesza trawienie. Działa antyoksydacyjnie i przeciwzapalnie. Znajduje zastosowanie w chorobach nerek i dróg moczowych, obrzękach, skazie i kamicy moczowej, gośćcu, do poprawy przemiany materii, w chorobach skóry [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000, Pustahija i in. 2023]. Hanganu i in. [2016] wykazali obecność wielu aktywnych polifenoli: kwasu chlorogenowego, kwasu p-kumarowego, kwasu kawowego, kwasu ferulowego, apigeniny, hiperozydu, rutyny, kwercytryny i izokwercytryny, luteoliny oraz aktywność antyoksydacyjną ekstraktu z *G. tinctoria*, jednak mniejszą niż związków referencyjnych (kwercetyna i BHT). Ziele janowca zawiera aktywne izoflawony – genisteinę i daidzeinę – wykazujące działania fitoestrogenne, pomocne w chemoprewencji raka piersi i raka prostaty, w zapobieganiu osteoporozie, objawom pomenopauzalnym, otyłości i cukrzycy typu II [Tero-Vescan i in. 2014]. Niehydrolizowane ekstrakty z janowca (w oryginalnej, nierozłożonej formie) zawierają izoflawony w postaci heterozydów

(7-O-glukozydów), a także aglikonów. Hanganu i in. [2010] wykazali w ekstrakcie *G. tinctoria* wysokie stężenie heterozydów: daidzeiny (22,32 µg/ml), genistyny (130,17 µg/ml) i ononiny (242,70 ng/ml); odpowiednio aglikonów: daidzeiny (8,81 µg/ml), genisteiny (73,77 µg/ml) i formononetyny (675,70 ng/ml). Tosun i in. [2003], analizując kilka gatunków *Genista* L., najwyższą zawartość całkowitej i wolnej genisteiny stwierdzili w *G. tinctoria*, odpowiednio 1,05% i 0,27%. Izoflawony mogą wiązać się z receptorami estrogenowymi i wykazywać podobne działanie biologiczne jak endogenne steroidowy hormon estrogenowy, 17-β-estradiol. Z tych względów mogą wykazywać słabą aktywność estrogenową (agonistyczną) lub antyestrogenową (antagonistyczną), w zależności od poziomu endogennych estrogenów i receptorów estrogenowych [Grafakou i in. 2021]. Ekstrakt z zieleńca łagodni toksyczne działanie bisfenolu [4,4'-(propano-2,2-diylo)fenol], stosowanego w produkcji m.in. tworzyw poliwęglanowych, żywic epoksydowych, opakowań i powłok do żywności, uszczelnaczy stomatologicznych i ma udowodniony potencjał antyoksydacyjny oraz działanie antytoksyczne. Badany ekstrakt, bogaty w izoflawony, zwłaszcza w genisteinę i genistynę, zmniejszał zmiany histopatologiczne wywołane przez bisfenol w wątrobie, nerkach i gruczole sutkowym u dorosłych samic szczurów [Popa i in. 2014]. Potencjalne zastosowanie zieleńca ze względu na zawartość izoflawonoidów jest ograniczone przez obecność alkaloidów chinolizydynowych, takich jak cytyzyna czy sparteina.

Cytyzyna (alkaloid chinolizydynowy) działa jako częściowy agonista receptorów nikotynowych w mózgu, a szczególnie podtypu α4β2. Ze względu na te efekty cytyzyna była stosowana w nikotynowych kuracjach odwykowych. Sparteina wykazuje działanie antycholinergiczne, oksytocynowe, a także toksyczne – powoduje zaburzenia rytmu serca, zaburzenia neurologiczne (rozszerzenie źrenic, zawroty głowy), zaburzenia żołądkowo-jelitowe [Tero-Vescan i in. 2014]. Warto wspomnieć, że zawiesiny *G. tinctoria* są w stanie syntetyzować jedną z największych ilości izoflawonoidów o aktywności fitoestrogennej, jakie kiedykolwiek uzyskano *in vitro*. Duża akumulacja izoflawonoidów (ok. 11%, z czego 9414,7 mg/100 g suchej masy stanowi genistyna) sprawia, że kultury te mogą być postrzegane jako potencjalny system *in vitro* do produkcji dużych ilości izoflawonów na skalę przemysłową [Luczkiewicz i Kokotkiewicz 2012].

Olejek eteryczny *G. tinctoria* jest bezwonny i ma jasnożółty kolor. Rigano i in. [2010] ocenili aktywność biologiczną olejku eterycznego zieleńca wobec komórek czerniaka ludzkiego M14, testując kilka parametrów biochemicznych, takich jak żywotność komórek, integralność błony komórkowej i fragmentacja genomowego DNA. Najliczniej występującymi składnikami olejku były związki karbonylowe: (E)-β-jonon (9,1%), dihydroaktyndiolid (7,3%), nonanal (5,1%) i heksahydrofarnazyloaceton (4,3%). Badany olejek eteryczny wykazywał interesujące potencjalne działanie przeciwnowotworowe wobec komórek czerniaka ludzkiego.

PODSUMOWANIE

Lasy dostarczają wielu cennych surowców spożywczych, w tym ziół i owoców. Wiele z nich znajduje zastosowanie także w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym. Zbiór surowców zielarskich z terenów leśnych powinien jednak uwzględniać optymalny termin i właściwe metody, a także ochronę ich naturalnych siedlisk. Regulacje użytkowania mają na celu nie tylko ochronę zasobów leśnych, ale także bezpieczeństwo ich użytkowników. Krzewy i krzewinki leśne znane w zastosowaniach tradycyjnych stają się coraz bardziej interesującym źródłem substancji bioaktywnych dla współczesnej medycyny. Ich nadziemne części – ziele (*herba*), liście (*folium*), kwiaty (*flos*) oraz owoce (*fructus*) – nie zawsze wymieniane w aktualnej Farmakopei Polskiej, są wartościowym surowcem do pozyskania ekstraktów czy pojedynczych substancji aktywnych (m.in. daidzeiny, genisteiny, kwercetyny czy berberyny). Wyniki badań biochemicznych, biotechnologicznych i farmakologicznych pozwalają na głębszą analizę ich aktywności biologicznej i potencjalnego zastosowania terapeutycznego.

PIŚMIENNICTWO

- Abbadie L., Baudouin M., 2006. Las środowisko żywe. Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wyd. Ossolineum, Wrocław.
- Baranowska M., Meres B., Kobus-Cisowska J., Łukowski A., Kowalkowski W., Korzeniewicz R., 2025. Walory użytkowe krzewów liściastych – dereni, głogów i irg w zadrzewieniach i systemach rolno-leśnych. Zag. Doradz. Rol. 1(119), 36–58.
- Bober Z., Stępień A., Aebisher D., Ozóg Ł., Bartusik-Aebisher D., 2018. Fundamentals of the use of *Berberis* as a medicinal plant. Eur. J. Clin. Exp. Med. 16 (1), 41–46. <https://doi.org/10.15584/ejcem.2018.1.7>
- Bobiński J., 1974. Jałowiec pospolity i jego rola w lesie. PWRiL, Warszawa.
- Boratyński A., Boratyńska K., 2022/2023. Jałowiec pospolity (ex *Ledum palustre Juniperus communis*) – uwagi dotyczące stanu obecnego i przyszłości gatunku w Polsce. Roczn. PT D 70, 27–35.
- Chmielewski J., 2016. Runo leśne w polskim porządku prawnym – uwagi de lege lata i de lege ferenda. Prz. Prawa Ochr. Śr. 2, 29–54.
- Chukwuneme C.F., Gildenhuis S., 2026. Systems analysis of *Berberis vulgaris* alkaloids unveils their functional synergy and drug-like potential. Comput. Biol. Chem. 120(10), 108698. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2025.108698>
- Dampc A., Luczkiewicz M., 2013. *Rhododendron tomentosum (Ledum palustre)*. A review of traditional use based on current research. Fitoterapia 85, 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2013.01.013>
- Farmakopea Polska, 2020. Wydanie 12, t. 2. Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Judżentienė A., 2020. Marsh rosemary (*Rhododendron tomentosum* Harmaja (ex *Ledum palustre* Linn) Preparatów Biobójczych, Warszawa, 1700–1701.
- Forycka A., 2002. Niektóre drzewa i krzewy wykorzystywane w lecznictwie i barwiarstwie. Biul. Ogród. Bot. 11, 139–141.
- Grafakou M.E., Barda C., Tomou E.M., Skaltsa H., 2021. The genus *Genista* L.: A rich source of bioactive flavonoids. Phytochemistry 181, 112574. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2020.112574>
- Grochowski W., Grochowski A., 1994. Leśne grzyby, owoce i zioła. PWRiL, Warszawa.
- Hanganu D., Olah N. K., Benedec D., Mocan A., Crisan G., Vlase L., Popica I., Oniga I., 2016. Comparative polyphenolic content and antioxidant activities of *Genista tinctoria* L. and *Genistella sagittalis* (L.) Gams (Fabaceae). Pak. J. Pharm. Sci. 29(10), 301–307.
- Hanganu D., Vlase L., Olah N., 2010. Phytochemical analysis of isoflavons from some *Fabaceae* species extracts. Not. Bot. Hort. Agrobot. 38(1), 57–60.
- Hyun T.K., Kim H.C., Ko Y.J., Kim J.S., 2016. Antioxidant, α -glucosidase inhibitory and anti-inflammatory effects of aerial parts extract from Korean crowberry (*Empetrum nigrum* var. *japonicum*). Saudi J. Biol. Sci. 23(2), 181–188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.02.008>
- Iannuzzi A.M., Giacomelli C., De Leo M., Russo L., Camangi F., De Tommasi N., Braca A., Martini C., Trincavelli M.L., 2021. *Cornus sanguinea* fruits: A source of antioxidant and antisenescence compounds acting on aged human dermal and gingival fibroblasts. Planta Med. 87(10-11), 879–891. <https://doi.org/10.1055/a-1471-6666>
- Jesionek A., Kokotkiewicz A., Włodarska P., Zabiegała B., Bucinski A., Luczkiewicz M., 2017. Bioreactor shoot cultures of *Rhododendron tomentosum (Ledum palustre)* for a large-scale production of bioactive volatile compounds. Plant Cell Tissue Organ Cult., 131(1), 51–64.
- Judżentienė A., 2020. Marsh rosemary (*Rhododendron tomentosum* Harmaja (ex *Ledum palustre* Linn) growing in Lithuania) essential oils and their properties. Chemija 31(4), 269–277.
- Jurikova T., Mlcek J., Skrovankova S., Balla S., Sochor J., Baron M., Sumczynski D., 2016. Black crowberry (*Empetrum nigrum* L.) flavonoids and their health promoting activity. Molecules 21(12), 1685. <https://doi.org/10.3390/molecules21121685>
- Kędzia B., Alkiewicz J., Han S., 2020. Znaczenie olejku z drzewa herbacianego w fitoterapii. Cz. 1. Skład olejku i jego właściwości biologiczne. Post. Fitoter. 2, 36–40.
- Koperska A., Bogdański P., Szulińska M., 2021. Rola berberyny w terapii otyłości i zaburzeń metabolicznych. Forum Zaburzeń Metabol. 12(2), 76–81.
- Kotowski M., Obidziński A., 2014. Zasoby substancji jadalnych i leczniczych w roślinach runa wybranych zbiorowisk leśnych Puszczy Białowieskiej. Stud. Mat. CEPL, 16(38/1), 9–22.
- Kujawska M., Łuczaj Ł., Sosnowska J., Klepacki P., 2016. Rośliny w wierzeniach i zwyczajach ludowych. Słownik Adama Fischera. Polskie Towarzystwo Ludoznawcze, Wrocław.
- Lacramioara O., Ciprian M., 2016. Antioxidants content in *Empetrum nigrum* fresh and dried fruits. Iran. J. Public Health 45(2), 263–265.
- Luczkiewicz M., Kokotkiewicz A., 2012. Elicitation and permeabilisation affect the accumulation and storage profile of phytoestrogens in high productive suspension cultures of *Genista tinctoria*. Acta Physiol. Plant. 34, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11738-011-0799-4>
- Marszałek E., Scelina, M., 2015. Krzewmy krzewy. Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Możdżeń K., Rzepka A., Barabasz-Krasny B., 2021. Rośliny lecznicze wspomagające terapie stresu, nerwicy i depresji. Med. Og. Nauk. Zdr. 27 (2), 182–192.
- Muszańska A., Wiczanowska J., 2024. *Berberis vulgaris*: natural source of berberine for contemporary health concerns. Herba Pol. 70(4), 5–22. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0054.7646>

- Nawrot R., Warowicka A., Musidlak O., Węglewska M., Bąldysz S., Goździcka-Józefiak A., 2019. Przeciwwirusowe związki izolowane z roślin. *Post. Biochem.* 66(4), 356–372. <https://doi.org/10.18388/pb.2019>
- Och A., Olech M., Bąk K., Kanak S., Cwener A., Cieśla M., Nowak R., 2023. Evaluation of the antioxidant and anti-lipoxygenase activity of *Berberis vulgaris* L. leaves, fruits, and stem and their LC MS/MS polyphenolic profile. *Antioxidants* 12, 1467. <https://doi.org/10.3390/antiox12071467>
- Ogawa K., Sakakibara H., Iwata R., Ishii T., Sato T., Goda T., Shimoi K., Kumazawa S., 2008. Anthocyanin composition and antioxidant activity of the crowberry (*Empetrum nigrum*) and other berries. *J. Agric. Food Chem.* 56(12), 4457–4462. <https://doi.org/10.1021/jf800406v>
- Paolillo A., Cerulli A., Cuzzo R., Sottile F., Montella F., Ciaglia E., Piacente S., Masullo M., 2025. Phytochemical investigation and evaluation of the antioxidant activity of *Cornus sanguinea*. *Phytochemistry* 240, 114622. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2025.114622>
- Patel D.K., 2017. Ascaridole: a phytochemical of modern medicinal perspective. *Journal of Coastal Life Medicine* 5(2), 88–94. <https://doi.org/10.12980/jclm.5.2017J6-206>
- Popa D.-S., Bolfa P., Kiss B., Vlase L., Păltinean R., Pop A., Cătoi C., Crișan G., Loghin F., 2014. Influence of genista tinctoria I or methylparaben on subchronic toxicity of bisphenol a in rats. *Biomed. Environ. Sci.* 27(2), 85–96.
- Popescu I., Caudullo G., de Rigo D., 2016. *Cornus sanguinea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri (eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Publ. Off. EU, Luxembourg, e019631.
- Popović Z., Bajić-Ljubičić J., Matić R., Bojović S., 2017. First evidence and quantification of quercetin derivatives in dogberries (*Cornus sanguinea* L.). *Turk. J. Biochem.* 42(4), 513–518. <https://doi.org/10.1515/tjb-2016-0175>
- Pustahija F., Bašić N., Starčević M., Subašić M., Boškailo A., Parić A., Hukić E., 2023. Phytochemical analysis of eight *Genista* L. taxa (Fabaceae) from natural populations in Bosnia and Herzegovina. *Bull. Chem. Technol. Bosn. Herz.* 61, 1–9. <https://doi.org/10.35666/2232-7266.2023.61.01>
- Pyrkosz-Biardzka K., Kucharska A.Z., Sokół-Łętowska A., Strugała P., Gabrielska J., 2014. A comprehensive study on antioxidant properties of crude extracts from fruits of *Berberis vulgaris* L., *Cornus mas* L. and *Mahonia aquifolium* Nutt. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 64(2), 91–99. <https://doi.org/10.2478/v10222-012-0097-x>
- Rigano D., Russo A., Formisano C., Cardile V., Senatore F., 2010. Antiproliferative and cytotoxic effects on malignant melanoma cells of essential oils from the aerial parts of *Genista sessilifolia* and *G. tinctoria*. *Nat. Prod. Commun.* 5(7), 1127–1132.
- Rocznik Statystyczny Leśnictwa, 2025. Główny Urząd Statystyczny, Urząd Statystyczny w Białymstoku, Warszawa–Białystok.
- Sela F., Karapandzova M., Stefkov G., Cvetkovikj I., Kulevanova S., 2013. Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Juniperus excelsa* Bieb. (Cupressaceae) grown in R. Macedonia. *Maced. pharm. bull.* 59 (1, 2), 23–32 .
- Singh N K., Dhanasekaran M., Kumar A.H., 2023. Pharmacology of berberine and its metabolites, is it the nature's Ozempic or Imatinib? *Arch. Pharmacol. Ther.* 5(1), 67–81.
- Smiljanic S., Messaraa C., Lafon-Kolb V., Hrapovic N., Amini N., Osterlund C., Visdal-Johnsen L., 2022. *Betula alba* bark extract and *Empetrum nigrum* fruit juice, a natural alternative to niacinamide for skin barrier benefits. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 12507. <https://doi.org/10.3390/ijms232012507>
- Smoliga, A., 2024. Zmiany leśnych zbiorowisk roślinnych w obszarze źródłiskowym Tetyńskiej Strugi na Pojezierzu Myśluborskim w ostatnich dekadach (1976–2023). *Leś. Pr. Bad.* 84, 109–117.
- Sokołowska G., Jabłońska-Trypuć A., Naumowicz M., 2024. Berberyna – związek bioaktywny pozyskiwany z roślin leczniczych. *Żywn. Nauka Technol. Jakość* 31(3), 5–15. <https://doi.org/10.15193/zntj/2024/140/506>
- Stanković M.S., Topuzović M.D., 2012. *In vitro* antioxidant activity of extracts from leaves and fruits of common dogwood (*Cornus sanguinea* L.). *Acta Bot. Gall.* 159(1), 79–83, <https://doi.org/10.1080/12538078.2012.671650>
- Stefkov G., Todorov F., Jachovsky A., Stoilkovska Gjorgijevska V., Trajkovska A., Davkova I., Cvetkovikj Karanfilova I., Karapandzova M., Jovanovska D., Hristovski S., 2024. *Empetrum nigrum* in National Park-Shar Mountain: Ecological significance, phytochemical profile and medicinal applications. *UDC* 4(7–8), 31–38. <https://doi.org/10.62792/ut.ecotec.v4.i7-8.p2851>
- Stoilova I.S., Wanner J., Jirovetz L., Trifonova D., Krastev L., Stoyanova A.S., Krastanov A.I., 2014. Chemical composition and antioxidant properties of juniper berry (*Juniperus communis* L.) essential oil. *Bulg. J. Agric. Sci.* 20(2), 227–237.
- Strzelecka H., Kowalski J., 2000. *Encyklopedia zielarstwa i ziołolecznictwa*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Szwedler, I., Sobkowiak, M., 1998. *Rośliny: spotkania z przyrodą*. Multico Oficyna Wydawnicza, Warszawa.
- Tahir A., Jilani M.I., Khera R., Nadeem F., 2016. *Juniperus communis*: Biological activities and therapeutic potentials of a medicinal plant-A comprehensive study. *Int. J. Chem. Biochem. Sci.* 9, 85–91.
- Tenuta M.C., Deguin B., Loizzo M.R., Cuyamendous C., Bonesi M., Sicari V., Trabalzini L., Mitaine-Offer A.-C., Xiao J., Tundis R., 2022. An overview of traditional uses, phytochemical compositions and biological activities of edible fruits of European and Asian *Cornus* species. *Foods* 11, 1240. <https://doi.org/10.3390/foods11091240>
- Tero-Vescan A., Vari C. E., Vlase L., 2014. Alkaloid content of some potential isoflavonoids sources (native *Genista* species). Long-term safety implications. *Farmacia* 62, 1109–1117.

- Torkamaneh S., Gene-Morales J., Juesas A., Flández J., Hammami R., Rafieian-Kopaei M., Colado J.C., 2021. Effects of black *Berberis vulgaris* L. combined with aerobic and resistance exercise on blood metabolic parameters and liver enzymes in obese rats. *Journal of Human Sport and Exercise*, 16(2proc), 619–629. <https://doi.org/10.14198/jhse.2021.16.Proc2.47>
- Tosun F., Erdem C. K., Eroğlu Y., 2003. Determination of genistein in the Turkish Genista L. species by LC-MS. *Pharmazie* 58, 549–550.
- Truba J., Stanisławska I., Walasek M., Wieczorkowska W., Woliński K., Buchholz T., Melzig M.F. Czerwińska M.E., 2020. Inhibition of digestive enzymes and antioxidant activity of extracts from fruits of *Cornus alba*, *Cornus sanguinea* subsp. *hungarica* and *Cornus florida*—A comparative study. *Plants*, 9(1), 122. <https://doi.org/10.3390/plants9010122>
- Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach. Dz. U. 1991, nr 101, poz. 444.
- Vengrytė M., Raudonė L., 2024. Phytochemical profiling and biological activities of *Rhododendron* subsect. *Ledum*: Discovering the medicinal potential of Labrador tea species in the Northern Hemisphere. *Plants* 13, 901. <https://doi.org/10.3390/plants13060901>
- Wojciechowska I., 2017. Berberys pospolicie-roślina ozdobna i lecznicza. *Kosmos* 66(3), 487–490.
- Yousfbeyk F., Esmaili T., Pashna Z., Hozori Z., Ghohari A.R., Ostad S. N., Amin G.R., 2014. Antioxidant activity, total phenol and total anthocyanin contents of *Cornus sanguinea* L subsp *australis*. (CA Mey.) Jáv. J. Med. Plants 13(49), 69–74.

Źródło finansowania: Praca nie była finansowana ze źródeł zewnętrznych.

Abstract. Forests are an important habitat for medicinal plants used in traditional and conventional medicine. The possibility of maintaining these natural resources, and even developing natural habitats, depends on the application of appropriate management measures, the principle of sustainable development of species and the protection of endangered species. Forest shrubs and bushes known for their traditional uses are becoming an increasingly interesting source of bioactive substances. Contemporary research confirms the medicinal properties of many forest herbal raw materials. Due to the threat of natural habitat degradation, *in vitro* cultures have been recognised as an alternative renewable and continuous source of *in vitro* plant material for the isolation of bioactive substances. The paper presents six selected species of medicinal plants found in Polish forests: wild rosemary, black crowberry, common barberry, dogwood, common juniper and dyer's broom, in biological, ethnopharmacological and phytopharmaceutical terms.

Keywords: herbal medicine, plant extracts, polyphenols, alkaloids, antioxidant activity

Otrzymano/Received: 4.02.2026
Zaakceptowano/Accepted: 20.05.2026
Online first: 15.06.2026
Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Nurzyńska-Wierdak R., Zalewska E.D., 2026. Rośliny lecznicze runa leśnego. Część I. Krzewy i krzewinki. *Ann. Hortic.*, 35(1), 25–36. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5663>

RENATA NURZYŃSKA-WIERDAK¹EWA DOROTA ZALEWSKA²

Rośliny lecznicze runa leśnego. Część II. Krzewinki z rodzaju *Vaccinium* L.

Medicinal plants of the forest undergrowth. Part II. Shrubs of the genus *Vaccinium* L.

Abstrakt. Krzewinki to niskie, wieloletnie rośliny o zdrewniałych pędach, osiągające zwykle do 50–60 cm wysokości, które często płożą się, tworząc zwartą darń. Do bardziej znanych i częściej wykorzystywanych krzewinek leśnych należą rośliny z rodzaju *Vaccinium* L. *Ericaceae* (Juss.). Rodzaj *Vaccinium* (borówka) obejmuje 36 podgatunków i około 450 gatunków na całym świecie. Owoce borówek mają duże walory odżywcze i prozdrowotne. Uzupełniają dietę o witaminy i składniki mineralne, są źródłem kwasów organicznych usprawniających przebieg procesów trawiennych, a także cennych dla zdrowia antyoksydantów. Owoce i liście roślin z rodzaju *Vaccinium* są szeroko stosowane w medycynie tradycyjnej i znajdują swoje miejsce we współczesnej fitoterapii. Wykorzystywane są w postaci świeżej i przetworzonej, jako środki wspomagające procesy trawienia, odporność organizmu, silne antyoksydanty o działaniu przeciwnowotworowym, przeciwzapalnym i ochronnym na układ krążenia. Rodzaj *Vaccinium* zasługuje na szersze rozpropagowanie oraz dalsze badania farmakologiczne i fitochemiczne.

Słowa kluczowe: owoce leśne, borówka, walory prozdrowotne, składniki bioaktywne, polifenole, aktywność antyoksydacyjna

WSTĘP

Lasy zajmują około 30% powierzchni Polski i są największym powierzchniowo środowiskiem przyrodniczym w naszym kraju. Największą powierzchnię zajmują różnego typu bory sosnowe. Dla wielu ludzi las jest podstawowym miejscem relaksu i wypoczynku. Środowisko leśne jest rezerwuarem czystej wody, zdrowego powietrza zawierającego fitoncydy, lotne substancje roślinne o działaniu wzmacniającym i przeciwdrobnoustrojowym, a także miody, grzyby, leśne zioła i owoce. Rośliny leśne o jadalnych owocach stanowią szczególną grupę roślin użytkowych, odznaczają się unikalną wartością odżywczą i mogą być wykorzystane w profilaktyce chorób cywilizacyjnych [Głowacki 2006, Fabijański 2018]. Runo leśne jest warstwą, która stanowi o bogactwie i różnorodności gatunkowej lasów. W skład runa wchodzi wiele gatunków krzewinek (*fruticulus*), bardzo niskich krzewów, zazwyczaj osiągających do 50–60 cm wysokości, często pokładających się i płożących, tworzących zwartą darń, rzadziej wznoszących się ku górze. Krzewinki charakteryzują się zdrewniałymi pędami i przystosowaniem do trudnych warunków środowiskowych. Do bardziej znanych i częściej użytkowanych krzewinek leśnych należą rośliny z rodzaju *Vaccinium* L. *Ericaceae* (Juss.), których owoce i liście zbierane są jako surowiec zielarski, a owoce także do przetwórstwa. Rodzaj *Vaccinium* (borówka) obejmuje 36 podgatunków i około 450 gatunków na całym świecie i występuje na wszystkich kontynentach, z wyjątkiem Antarktydy i Australii [Scärlätescu i in. 2017]. Trzy główne gatunki roślin owocodajnych z rodzaju *Vaccinium* (borówka amerykańska, żura-

¹ Katedra Warzywnictwa i Zielerstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 54, 20-280 Lublin, <https://orcid.org/0000-0002-9373-4841>

² Katedra Warzywnictwa i Zielerstwa, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Doświadczalna 54, 20-280 Lublin, <https://orcid.org/0000-0001-7445-9808>, autor korespondencyjny: ewa.zalewska@up.lublin.pl



wina i borówka brusznica) zostały wprowadzone do uprawy w XX wieku. Źródłem prawie 40% gatunków borówki jest Azja Południowo-Wschodnia, około 35% gatunków pochodzi z Ameryki (25% z Ameryki Północnej i 10% z Ameryki Południowej i Środkowej), pozostałe (około 25%) są szeroko rozproszone po całym świecie [Song i Hancock 2011, Shamilov i in. 2020]. Z raportu UE [Grousset i in. 2016] wynika, że różnorodność gatunków *Vaccinium* jest większa w Ameryce Północnej i Azji niż w Europie. W Ontario (Kanada) występuje 11 gatunków *Vaccinium*, w Chinach występują 92 gatunki *Vaccinium* (z czego 51 to gatunki endemiczne), choć niektóre mogą należeć do innych rodzajów, w Japonii występuje 18 dzikich gatunków *Vaccinium*. W Europie występuje 7 gatunków *Vaccinium*: *V. oxycoccos*, *V. microcarpon*, *V. myrtilus*, *V. uliginosum*, *V. cylindraceum*, *V. vitis-idaea* i *V. arctostaphyllum*. Większość gatunków *Vaccinium* pochodzi z najzimniejszych rejonów półkuli północnej; spotykane są jednak także gatunki tropikalne. Gatunki borówki preferują gleby o niskim pH i najlepiej rozwijają się w lasach o kwaśnych glebach [Scärlätescu i in. 2017]. Owoce i liście roślin z rodzaju *Vaccinium* są szeroko stosowane w medycynie tradycyjnej, m.in. krajów nadbałtyckich. Wyróżnia je obecność związków polifenolowych, których zawartość jest w znacznym stopniu uzależniona od stopnia rozwoju rośliny, uwarunkowań genetycznych, a także rodzaju siedliska [Klavins i in. 2015]. Ważnym elementem jest ilość światła słonecznego, która w znacznym stopniu wpływa na ilość związków fenolowych [Martäu i in. 2023].

Pozyskiwanie zasobów runa leśnego jest w Polsce tradycją. Wielkość skupu owoców leśnych szacuje się na 20–30 tys. ton rocznie, z czego 40–60% stanowi borówka czernica (*Vaccinium myrtilus* L.) [Bilek 2020]. Owoce leśne mają duże walory odżywcze i prozdrowotne. Uzupełniają dietę o witaminy i składniki mineralne, są źródłem kwasów organicznych usprawniających przebieg procesów trawiennych i cennych dla zdrowia antyoksydantów. W Polsce dziko rosną 4 rodzime gatunki z rodzaju *Vaccinium* (borówka): czernica (*V. myrtilus*), brusznica (*V. vitis-idaea*), bagienna (*V. uliginosum*) oraz halna (*V. gaultherioides*), uzupełniane przez dwa gatunki żurawiny (*Vaccinium* sect. *Oxycoccus*) – błotną (*V. oxycoccos*) i wielkoowocową (*V. macrocarpon*, dziedziczą) [Grochowski i Grochowski 1994, Woziwoda 2014]. W dalszej części pracy omówiono 4 gatunki roślin z rodzaju *Vaccinium* występujące w polskich lasach pod względem ich biologii, składu chemicznego i aktywności biologicznej oraz tradycyjnych zastosowań i współczesnych możliwości wykorzystania.

BORÓWKA BAGIENNA

Borówka bagienna (*Vaccinium uliginosum* L.), znana też jako łochynia, bagnówka, pijanica, durnica, rozpowszechniona jest na całym niżu, w górach występuje na rozproszonych stanowiskach. Gatunek występuje na torfowiskach i bagnach. Nazwa ludowa rośliny nawiązuje do rodzaju siedliska, a także do mylnej opinii o właściwościach odurzających owoców. Bezpośrednia toksyczność pochodząca z tych owoców jest mało prawdopodobna. Odurzenie może powodować pyłek kwiatowy bagna zwyczajnego (*Ledum palustre*), które rośnie zazwyczaj obok łochyni. Innym wytłumaczeniem nazwy może być wyższy potencjał fermentacyjny owoców *V. uliginosum* niż *V. myrtilus*, skutkujący zawartością alkoholu na poziomie 4,8–5,8% w niesłodzonych sokach [Grochowski i Grochowski 1994, Vaneková i in. 2025].

V. uliginosum rośnie w Azji, Europie i Ameryce Północnej. W Polsce jest gatunkiem przechodnim, a jego występowanie jest związane z rozmieszczeniem torfowisk wysokich. Z tych względów borówka bagienna najszerszej rozprzestrzeniła się w rejonie pojezierzy, na Podlasiu i Polesiu Lubelskim. Najwyżej w Polsce borówka bagienna rośnie w Tatrach, na wysokości 2360 m n.p.m. [Zarzycki 1963, Grochowski i Grochowski 1994, Kopystecka i in. 2023]. Borówka bagienna jest gatunkiem charakterystycznym rzędu *Vaccinio-Piceetalia*, którego przedstawiciele rozwijają się na silnie kwaśnych, wilgotnych torfach wysokich lub stagnoglejach z grubą warstwą butwiny [Matuszkiewicz 1967]. *V. uliginosum* dorasta do 15–80 cm wysokości, pędy ma obłe, za młodu omszone. Liście są całobrzegie, sinozielone; kwiaty dzwonekowane, o białej lub jasnoróżowej koronie, zebrane w grona. Łochynia stanowi znaczną bazę pokarmową dla melitofagów, tj. organizmów borów wilgotnych, odżywiających się substancjami o dużej zawartości cukrów, takimi jak nektar kwiatów, spadź itp. Gatunek ten kwitnie w maju i czerwcu; kwiaty wabią owady przede wszystkim zapachem, który przy intensywnym kwitnieniu, szczególnie podczas słonecznej pogody, jest również łatwo wyczuwany przez człowieka. Wśród owadów odwiedzających kwiaty borówki bagiennej najliczniej reprezentowane są muchówki, motyle i błonkówki [Grochowski

i Grochowski 1994]. Karczewski [1973] podaje, że w kwiatowym szeregu pokarmowym borów sosnowych *V. uliginosum* należałoby ulokować tuż za borówką czernicą. Okresy kwitnienia tych krzewinek zazębiają się, a początek intensywniejszego kwitnienia pierwszej przypada na pełnię kwitnienia *V. myrtilus* L. Równocześnie z *V. uliginosum* kwitną inni przedstawiciele rodziny *Ericaceae*: *Vaccinium vitis-idaea* L., *Ledum palustre* L., *Andromeda polifolia* L. i *Oxycoccus quadripetalus* Gilib. Owoce łochyńi są dość duże, pokryte woskowym, ciemnostalowym nalotem, o białym miąższu i przyjemnym, specyficznym smaku [Karczewski 1973, Grochowski i Grochowski 1994]. *V. uliginosum* jest gatunkiem o dużej zmienności kształtu i wielkości liści oraz owoców. Na tej podstawie wyróżnia się kilka form, m.in. ciekawą formę białooowocową *V. uliginosum* var. *leucocarpum* B. Fedtsch, której stanowisko znaleziono w północnej części Borów Dolnośląskich [Szkudlarz 1993].

Owoce *V. uliginosum* zawierają wiele antocyjanów i flawonoli, kwasy organiczne (głównie kwas cytrynowy i jabłkowy), witaminy i składniki mineralne. Spośród innych roślin z rodzaju *Vaccinium* wyróżniają się charakterystycznym profilem antocyjanów i flawonoli, co pozwala odróżnić *V. uliginosum* od *V. myrtilus* [Grochowski i Grochowski 1994, Kopystecka i in. 2023]. Colak i in. [2016] zbadali profil fenoli i składników odżywczych owoców borówki bagiennej z wysokogórskich pastwisk w północno-wschodniej Anatolii (Turcja). Głównym cukrem rozpuszczalnym była fruktoza, a następnie glukoza, a głównym kwasem organicznym kwas cytrynowy, a następnie jabłkowy. Zidentyfikowano i oznaczono ilościowo 11 kwasów fenolowych i 17 glikozydów antocyjanowych. Wśród kwasów fenolowych dominował kwas kawowy w formie wolnej i glikozydowej oraz kwas syringowy w formie estru, natomiast głównym związkiem antocyjanowym był 3-glikozyd malwidyny (24%). Klavins i in. [2015] wykazali w 1 g suchego ekstraktu z owoców *V. uliginosum* 4,5–6,6 µg polifenoli ogółem (jako ekwiwalent kwasu galusowego), 95–116 µg flawonoidów w przeliczeniu na kwercetynę, 15,5–130,5 µg węglowodanów (jako ekwiwalent glukozy) oraz wyraźną aktywność antyoksydacyjną owoców (321 µg kwasu galusowego · g⁻¹ suchej masy owocu). Li i in. [2025] stwierdzili ujemną korelację między cechami morfologicznymi owoców (długość, średnica, masa) a cechami biochemicznymi (zawartość witamin B₁, B₂, C i antocyjanów). Ponadto autorzy wykazali, że czynniki środowiskowe istotnie wpływały na cechy owoców *V. uliginosum*: na północnym zboczu góry Changbai, w Chinach, owoce łochyńi były większe na małych wysokościach, owoce na średnich wysokościach zawierały więcej witamin B₂ i C, podczas gdy duża wysokość (szczególnie 2190 m n.p.m.) była korzystna dla gromadzenia witaminy B₁, antocyjanów i zdolności wychwytywania wolnych rodników DPPH. Wang i in. [2019] ocenili różnice w zawartości cukrów i kwasów organicznych w owocach zebranych z różnych populacji *V. uliginosum* w górach Changbai. Wysokość i szerokość geograficzna były istotnymi czynnikami środowiskowymi wpływającymi na zawartość wymienionych składników. Zawartość fruktozy, glukozy i cukrów ogółem korelowały dodatnio z wysokością i ujemnie z szerokością geograficzną. Zawartość kwasu szczawiowego i stosunek cukrów do tego kwasu korelowały dodatnio z wysokością; nie stwierdzono istotnej korelacji między zawartością kwasów organicznych a szerokością geograficzną.

Ekstrakt z owoców *V. uliginosum* jest od dawna stosowany w chińskiej i europejskiej medycynie ludowej ze względu na swoje właściwości biologiczne, a współczesne badania naukowe coraz częściej potwierdzają jego prozdrowotne działanie. Owoce łochyńi wykazują silne działanie antyoksydacyjne, a głównymi substancjami czynnymi są najprawdopodobniej flawonoidy. Kim i in. [2009] wykazali, że surowy ekstrakt z owoców *V. uliginosum* i frakcje zawierające polifenole i antocyjany mają wysoką aktywność antyoksydacyjną. Kim i Choung [2012] określili wpływ mieszaniny polifenoli i antocyjanów pochodzących z *V. uliginosum* na atopowe zapalenie skóry wywołane 2,4-dinitrochlorobenzenem u myszy NC/Nga. Podanie mieszaniny zmniejszyło objawy skórne przypominające zmiany atopowe, a także zachowania polegające na drapaniu [Kim i Choung 2012]. W ostatnim czasie zwraca się uwagę na możliwości wykorzystania owoców *V. uliginosum* w produkcji kosmetycznej; ekstrakt z owoców działa na skórę odżywczo, przeciwzmarszczkowo i ochronnie przed UV [Kukula-Koch i in. 2024].

BORÓWKA BRUSZNICA

Borówka brusznica (*Vaccinium vitis-idaea*), zwana borówką czerwoną, borówką wiecznie zieloną, gogodzą, jest krzewinką wysokości 15–50 cm. Jej pędy są wzniesione, słabo rozgałęzione, szarozielone.

Liście brusznicy są zimozielone, odwrotnie jajowate lub owalne, ciemnozielone (spodem szarzielone). Kwiaty dzwonkowate, różowe, zebrane w zwisające grona, pojawiają się na roślinach od maja do czerwca. Borówka brusznica owocuje w sierpniu; przy sprzyjającej pogodzie zakwita powtórnie i ponownie wydaje owoce od września do listopada. Owocem jest mięsista jagoda, początkowo biała, w miarę dojrzewania czerwieniejąca [Grochowski i Grochowski 1994]. Brusznica występuje w Polsce pospolicie w suchych, iglastych lasach, na wrzosowiskach oraz w górach powyżej granicy lasu [Strzelecka i Kowalski 2000]. Roślina odznacza się małymi wymaganiami siedliskowymi; rośnie na kwaśnych glebach piaszczystych i piaszczysto-gliniastych i torfach wysokich, a w górach także na piarżyskach. Jest typowym gatunkiem runa acidofilnych, oligo- i mezotroficznych borów oraz acidofilnych lasów liściastych. Na torfowiskach wysokich występuje w zespołach ze związku *Sphagnion fuscii* i *Ericion tetralicis*, a w górach w zaroślach kosodrzewiny – *Pinetum mughi*, w borówczyskach bażynowych – *Empetro-Vaccinietum* i czernicowych – *Vaccinietum myrtilli* [Matuszkiewicz 1967]. Owoce i liście *V. vitis-idaea* tradycyjnie stosowane są jako środek na kaszel i gorączkę, w leczeniu kamieni nerkowych, chorób jelit i wątroby oraz cukrzycy, a także ze względu na ich właściwości ściągające, tonizujące i antyseptyczne. Ekstrakty z jagód i liści brusznicy przyspieszają gojenie się ran [Kukula-Koch i in. 2024].

W lecznictwie stosowany jest owoc (*Vitis idaeae fructus*) oraz liść borówki brusznicy (*Vitis idaeae folium*), wprowadzony w zastępstwie liścia mącznicy lekarskiej, gatunku zanikającego i objętego częściową ochroną. *V. idaeae folium* zawiera glikozydy fenolowe (arbutyna i jej pochodne), garbniki katechinowe, flawonoidy (m.in. kwercetyna, kwercytryna, izokwercytryna i arabinozyd kwercetyny), triterpeny, kwasy organiczne, sole mineralne (Zn, Mn, Cu, Fe) [Strzelecka i Kowalski 2000, Shamilov i in. 2020]. Parzych [2016] informuje, że mangan najsilniej akumuluje się w liściach, cynk w łodygach, a miedź i żelazo w korzeniach. Liść brusznicy jest przede wszystkim surowcem stosowanym w zakażeniach dróg moczowych, działa silnie odkażająco. Arbutyna i jej pochodne w drogach moczowych (wyłącznie jednak w środowisku alkalicznym) rozpadają się do hydrochinonu, skutecznego wobec większości drobnoustrojów wywołujących zakażenia dróg moczowych. Liść brusznicy działa kompleksowo, zwiększa ilość wydalanego moczu, jonów chlorkowych i sodowych, wywołując nie tylko odkażenie, ale także oczyszczenie dróg moczowych. Surowiec można ponadto stosować w schorzeniach przewodu pokarmowego, gdyż działa przeciwdrobnoustrojowo, ściągająco i przeciwzapalnie. Wskazana jest jednak ostrożność, zbyt duże dawki i zbyt częste jego przyjmowanie może powodować zatrucie hydrochinonem i ujawnienie się jego efektu mutagennego, dlatego preparaty z liścia brusznicy należy stosować nie dłużej niż kilka dni [Strzelecka i Kowalski 2000, Bilek i Bilek 2021].

Owoce brusznicy mają dużą wartość dietetyczną i od wielu lat wykorzystywane są do produkcji różnych przetworów. *V. idaeae fructus* zawiera kwasy organiczne: kwas jabłkowy, cytrynowy, benzoesowy (1–2 g na 1 kg świeżej masy), cukry, pektyny, witaminy A i C (6–12 mg w 100 g suchej masy), antocyjany (m.in.: cyjanidyna, peonidyna, pelargonidyna), garbniki, stilbeny i związki mineralne [Lorek 1978, Grochowski i Grochowski 1994]. W owocach brusznicy obecny jest aktywny polifenol z grupy stilbenów – resweratrol, związek wytwarzany przez rośliny w odpowiedzi na stres, uszkodzenie, infekcje patogenów lub promieniowanie UV. Resweratrol jest najważniejszym stilbenoidem syntetyzowanym przez rośliny jako mechanizm obronny; należy do fitoskładników charakteryzujących się silną aktywnością biologiczną. Wykazano jego pozytywne działanie na organizm człowieka, m.in. właściwości antyoksydacyjne i przeciwzapalne, mające duże znaczenie w zapobieganiu chorobom układu krążenia, schorzeniom nowotworowym i układu nerwowego. Resweratrol moduluje szlaki sygnałowe, które ograniczają rozprzestrzenianie się komórek nowotworowych, chroni komórki nerwowe przed uszkodzeniem, jest przydatny w zapobieganiu cukrzycy, działa jako naturalny związek przeciwstarzeniowy [Pieszka i in. 2016, Gryta i Paradowska 2022, Bejenaru i in. 2024]. Resweratrol nie tylko korzystnie wpływa na układ sercowo-naczyniowy, lecz także na gojenie się ran, regenerację i fotostarzenie skóry. Poprzez interakcje z wieloma substancjami i szlakami chroni skórę przed szkodliwym działaniem promieniowania UVB, które jest głównym czynnikiem procesów starzenia się skóry. Wzmacnia również syntezę kolagenu poprzez aktywację receptora estrogenowego i redukuje zmarszczki. W uszkodzonych tkankach przyspiesza regenerację i gojenie skóry [Leis i in. 2022]. Rimando i in. [2004] przeprowadzili badania w celu określenia obecności aktywnych stilbenów: resweratrolu, pterostilbenu i piceatannolu w jagodach *Vaccinium*. Wymienione stilbeny, znane jako silne przeciwutleniacze, mają właściwości chemioprewencyjne w stosunku do nowotworów. Największą zawartość resweratrolu, porównywalną

z zawartością wykazaną w owocach winorośli, stwierdzono dla brusznicy (odpowiednio dla brusznicy i winorośli: 5884 ng/g suchej próbki i 6471 ng/g suchej próbki). Poza resweratrolom nie wykazano obecności innych stilbenów w owocach brusznicy.

BORÓWKA CZERNICA

Borówka czernica (*Vaccinium myrtillus* L.), znana także jako borówka czarna, czarna jagoda, borówka, borowina, jest najważniejszą z użytkowanych roślin runa leśnego. Występuje pospolicie w polskich lasach; zasięg występowania tego gatunku obejmuje praktycznie całą Polskę. W południowej i północnej części kraju skupienia borówki czarnej (tzw. jagodziska) opisywane są jako bardziej rozległe niż w pozostałych rejonach. Gatunek jest charakterystyczny dla siedlisk borowych, zwłaszcza dla boru świeżego. Występuje nawet na glebach ubogich, ale dostatecznie wilgotnych, z reguły kwaśnych, szczególnie w drzewostanie sosnowym, sosnowo-świerkowym lub świerkowym. Borówka czernica była znana i ceniona już w tradycji ludowej; jej owoce zbierane są nadal, przede wszystkim do celów spożywczych, z uwagi na wyjątkowe walory smakowe i żywieniowe [Grochowski i Grochowski 1994, Bilek 2020]. Roślina dorasta do 15–60 cm wysokości, liście ma delikatne, zielone, od spodu jaśniejsze, piłkowane, opadające na zimę. W kątach liści rozwijają się pojedyncze, czerwonozielone, kubeczkowate kwiaty. Okres kwitnienia czernicy trwa od kwietnia do czerwca; owocem jest czarna jagoda z niebieskawym nalołem, czerwonym miąższem i ciemnofioletowym, silnie barwiącym sokiem [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Borówka czernica ma znaczenie zarówno w lecznictwie ludowym, jak i medycynie oficjalnej. Roślina dostarcza dwóch rodzajów surowca: liści i owoców. Zarówno owoc, jak i liść stosowany był już od XVI w. w leczeniu różnych dolegliwości, a zwłaszcza w biegunkach, stanach zapalnych jamy ustnej i gardła, w stanach złego krążenia i zaburzeniach widzenia. Dzięki zawartości witaminy C owoce czernicy stosowano także w leczeniu szkorbutu [Drozd i Anuszewska 2013].

Owoc borówki czernicy (*Myrtilli fructus*) jest surowcem farmakopealnym [Farmakopea... 2020]. Wśród monografii szczegółowych zamieszczonych w Farmakopei Polskiej [2020] znajdują się opisy surowca roślinnego, tj. owoc borówki czernicy świeży i owoc borówki czernicy suchy, odpowiednio *Myrtilli fructus recens* i *Myrtilli fructus siccus*. Ponadto produktem farmakopealnym pozyskiwanym z tej rośliny jest wyciąg suchy oczyszczony i standaryzowany ze świeżych owoców borówki czernicy (*Myrtilli fructus recentis extractum siccum rafinatum et normatum*, w którym zawartość antocyjanów powinna wynosić od 32,4% do 39,9% w przeliczeniu na chlorek 3-O-glukozydu cyjanidyny (chryzantemina) [Farmakopea... 2020]. Surowiec roślinny pozyskiwany jest od czerwca do lipca, a następnie szybko suszony w warunkach naturalnych (w cieniu i przewiewie) lub w suszarni w temperaturze 50–60°C. Jako surowiec farmakopealny świeże lub zamrożone owoce borówki czernicy *V. myrtillus* powinny zawierać nie mniej niż 0,30% antocyjanów w przeliczeniu na chlorek 3-O-glukozydu cyjanidyny (chryzantemina). Natomiast suchy owoc borówki czernicy standaryzowany jest pod względem garbników i powinien zawierać nie mniej niż 1% garbników w przeliczeniu na pirogalol [Farmakopea... 2020]. Surowiec zawiera 5–12% garbników katechinowych, procyjanidyny (pochodne katechiny i epikatechiny), antocyjany zwane myrtilliną (pochodne delfinidyny, cyjanidyny, malwidyny, peonidyny, petunidyny), flawonoidy, kwasy fenolowe (m.in. kwas kawowy, chlorogenowy, ferulowy, p-kumarowy, syringowy), witaminy C i B, kwasy organiczne (m.in. kwas cytrynowy, bursztynowy, jabłkowy), cukry, pektyny i związki mineralne (mangan, żelazo). Owoce wyróżniają się wyjątkowym, niepowtarzalnym aromatem i szeroką użytecznością. Ten znakomity owoc deserowy spożywany jest na surowo, stanowi także cenny surowiec dla przetwórstwa (soki, kompoty, wina, dżemy, konfitury, galaretki, susze) [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Antocyjany zawarte w jagodach *V. myrtillus* są silnymi antyoksydantami, które biorą udział w hamowaniu peroksydacji lipidów i mają zdolność zmiatania wolnych rodników tlenowych. Suplementacja *Myrtilli fructus* może stanowić efektywną strategię stosowaną w zapobieganiu stresowi oksydacyjnemu związanemu z występowaniem chorób sercowo-naczyniowych oraz profilaktykę przeciwnowotworową. Antocyjany i garbniki czernicy wykazują także aktywność bakteriobójczą i działają przeciwzapalnie. Wyciągi z owoców działają ochronnie na naczynia krwionośne (antocyjany), przeciwozbrzękowo, hamują agregację płytek krwi i utlenianie witaminy C w organizmie. Owoce, napary oraz sok z owoców działają łagodnie zapierająco (garbniki), zwłaszcza u dzieci i seniorów, zapobiegają

zmianom w naczyniach krwionośnych (procyjanidyny, flawonoidy), przyspieszają gojenie się ran i zmian zapalnych śluzówki przewodu pokarmowego (antocyjany, garbniki). Opisano także działanie immunostymulujące przetworów uzyskanych z borówki czernicy. Oczyszczony zespół antocyjanów czernicy działa uszczelniająco na ściany naczyń włosowatych; stosowany jest pomocniczo w chorobach siatkówki oka [Strzelecka i Kowalski 2000, Baraniak i Kania 2015]. Europejska Agencja Leków w raporcie z oceny surowca [2015] podaje rekomendacje dotyczące zastosowania zarówno świeżego (*recens*), jak i suszonego (*siccus*) surowca: surowiec wysuszony w postaci herbaty ziołowej do stosowania na błonę śluzową jamy ustnej i w leczeniu objawowym łagodnej biegunki; owoc świeży jako preparat ziołowy w postaci stałej lub płynnej do stosowania doustnego w biegunce, a suchy ekstrakt ze świeżych owoców czernicy (zawierający 36% antocyjanozydów, co odpowiada 25% antocyjanidyn) w celu złagodzenia objawów dyskomfortu i ciężkości nóg związanych z drobnymi zaburzeniami krążenia żylnego lub objawów kruchości naczyń włosowatych skóry.

Borówka czernica jest jednym z najbogatszych źródeł antocyjanów, związków o charakterze polifenoli, w głównej mierze odpowiedzialnych za prozdrowotne działanie surowca. W porównaniu z innymi surowcami jagodowymi zawiera wielokrotnie więcej antocyjanów, tj. 300–700 mg/100 g świeżych owoców [Baraniak i Kania 2015]. Karcheva-Bahchevanska i in. [2023] badali wpływ ekstraktów z *V. myrtillus* na kluczowy enzym związany z cukrzycą typu 2, tj. α -amylazę. Ekstrakty z owoców borówki czernicy analizowano pod kątem całkowitej zawartości polifenoli, całkowitej zawartości antocyjanów, aktywności antyoksydacyjnej i hamującego działania na α -amylazę. Zidentyfikowane flawonole były reprezentowane głównie przez pochodne kwercetyny w postaci rutynozydu. Dominującymi antocyjanami, zarówno w rozpuszczalnikach wodnych, jak i organicznych, były delfinidyno-3-galaktozyd i malwidyno-3-glukozyd. Wykazano, że ekstrakty z owoców borówki czernicy są skutecznymi inhibitorami α -amylazy, z wartościami IC50 od 20,8 do 194,8 g GAE/ml, a ich aktywność antyoksydacyjną potwierdzają testy: FRAP, CUPRAC i DPPH. Zdaniem autorów wskazane właściwości ekstraktów z *V. myrtillus* mogą wyznaczyć nowy kierunek w badaniach nad nowymi lekami do tłumienia hiperglikemii poposiłkowej u pacjentów z cukrzycą. Musilová i in. [2022] oceniali wpływ tradycyjnych metod przetwarzania owoców borówki czernicy na zawartość polifenoli, flawonoidów, kwasów fenolowych, antocyjanów i aktywność antyoksydacyjną. Autorzy stwierdzili, że wszystkie metody miały istotny wpływ na badane substancje bioaktywne. Całkowita zawartość polifenoli w przeliczeniu na kwas galusowy wynosiła: 39 562–44 760 mg/kg s.m. (świeże), 12 495–20 266 mg/kg s.m. (suszone), 7504–9472 mg/kg s.m. (mrożone), 3029–5876 mg/kg s.m. (sterylizowane). Przetwarzanie spowodowało zmniejszenie zawartości flawonoidów (suszenie o 86,8%, sterylizacja o 75,8%, mrożenie o 50,2%). Zawartość antocyjanów w przeliczeniu na ekwiwalent cyjanidyny wynosiła od 7419–9719 (świeże) do 560 – 649 (suszone) mg/kg s.m. W wyniku przetwarzania aktywność antyoksydacyjna zmniejszyła się w kolejności: suszone > mrożone > świeże > sterylizowane (DPPH) oraz suszone > świeże > mrożone > sterylizowane (FRAP). Uzyskane wyniki potwierdzają zmniejszenie zawartości substancji biologicznie czynnych i aktywności antyoksydacyjnej w owocach borówki czernicy po przetworzeniu, z zaznaczeniem, że nie nastąpiła ich całkowita degradacja.

Ancillotti i in. [2016] porównali skład chemiczny i aktywność antyoksydacyjną ekstraktów z owoców *V. myrtillus* L. i *V. uliginosum* subsp. *gaultherioides* Bigelow. Zbadano całkowitą zawartość rozpuszczalnych polifenoli, całkowitą zawartość monomerycznych antocyjanów, aktywność wymiatania rodników, właściwości antyoksydacyjne przy zastosowaniu metody FRAP oraz zawartość antocyjanów, kwasów fenolowych, kumaryn, flawanoli, dihydrochalkonów i flawonoli. Owoce *V. myrtillus* cechowała znacznie większa zawartość polifenoli, antocyjanów oraz aktywność antyoksydacyjna niż owoce *V. uliginosum* subsp. *gaultherioides*. Wykazano również odmienny profil fenolowy owoców obu gatunków: *V. myrtillus* charakteryzował się głównie delfinidyną i glikozydami cyjanidyny wraz z kwasem chlorogenowym, a *V. uliginosum* subsp. *gaultherioides* pochodnymi malwidyny i flawonolami. Istotne różnice między badanymi gatunkami dotyczyły również innych metabolitów, takich jak skopoletyna, której stężenie było wyższe w owocach *V. uliginosum* subsp. *gaultherioides* niż w owocach *V. myrtillus* o mniej więcej dwa rzędy wielkości.

Liść borówki czernicy (*Myrtilli folium*) jako surowiec zielarski stosowany jest rzadziej niż owoc. Zbierany jest od czerwca do sierpnia, następnie suszony w warunkach naturalnych lub w suszarni w temperaturze 40°C. *Myrtilli folium* zawiera do 20% garbników katechinowych, procyjanidyny, flawonoidy

(pochodne kwercetyny i kemferolu), irydoidy, triterpeny, kwasy fenolowe (chinowy, chlorogenowy, kawowy, salicylowy, p-kumarowy, ferulowy), alkaloidy chinolizydynowe (myrtyne i epimyrtynę), związki mineralne (mangan, chrom, potas, sód, magnez), a także neomyrtilinę – glukozyd pochodny kwasu galusowego (2%) [Strzelecka i Kowalski 2000, Lamer-Zarawska i in. 2014]. Parzych [2016] podaje, że cynk i mangan najsilniej akumulują się w łodygach *V. myrtillus*, miedź w liściach, a żelazo w korzeniach. Wyciągi z liści obniżają poziom triglicerydów i cholesterolu, stężenie cukru w surowicy krwi, działają grzybobójczo i wirusobójczo (garbniki). Surowiec i wyciągi z surowca stosowane są pomocniczo w początkowych stadiach cukrzycy (neomyrtilina) [Strzelecka i Kowalski 2000]. Według Komisji Europejskiej liście czernicy, poza cukrzyką, można stosować w biegunkach, nieżytach przewodu pokarmowego, nerek i dróg moczowych, w dniu moczanowej, hemoroidach i dermatozach. Surowiec podawany w dużych dawkach może dawać objawy niepożądane; jest zwykle stosowany w mieszankach z innymi surowcami o podobnym działaniu [Lamer-Zarawska i in. 2014]. Badania *in vitro* aktywności przeciwutleniającej i zmiatającej wolne rodniki ekstraktów z *Myrtilli folium* wykazały aktywność przeciwutleniającą (hamującą LPO i rozrywającą łańcuchy antyoksydacyjne) oraz zmiatającą wolne rodniki (anion ponadtlenkowy i rodnik hydroksylowy) [Then i in. 2005, Brasanac-Vukanovic i in. 2018]. W badaniach Dicu i Segal [2006] aktywność antyoksydacyjna i zmiatania rodników wodnego i alkoholowego ekstraktu z *Myrtilli folium* okazała się porównywalna z aktywnością kwasu askorbinowego.

ŻURAWINA BŁOTNA

Żurawina błotna (*Vaccinium oxycoccos* L. = *Oxycoccus quadripetalus* Gilib. = *O. palustris* Pers.), zwana też borówką błotną, kłukwą, występuje w Polsce najczęściej na torfowiskach wysokich. Ponadto pojawia się na torfowiskach wrzoścowych, na torfowiskach przejściowych oraz w borach bagiennych [Grochowski i Grochowski 1994]. Żurawina, podobnie jak borówka brusznica i borówka bagienna, związana jest z glebami ubogimi w składniki pokarmowe (oligotroficznymi), kwaśnymi. Jednak wymagania wilgotnościowe wymienionych roślin są skrajnie różne: brusznica preferuje gleby suche, łochynia – wilgotne lub mokre, a żurawina – mokre. W naturze żurawina rośnie na torfie, w miejscach słabo odwodnionych, o bardzo wysokim poziomie wody i na glebach bardzo kwaśnych (pH 3,0–4,5) [Česonienė i in. 2013, Woziwoda 2014]. Roślina dorasta do 100 cm, tworzy delikatne, pełzające pędy, o drobnych, ciemnozielonych, skórzastych, zimozielonych liściach. Kwitnie od czerwca do sierpnia; kwiaty są długoszypułkowe, białe, różowe do czerwonych, o płatkach odwiniętych do dołu, zebrane w grona. Owocem jest zimująca, jadalna jagoda, czerwona, kulista, zawierająca drobne, zielonawe nasiona [Strzelecka i Kowalski 2000]. Owoce żurawiny wyróżniają się wyjątkową trwałością wśród soczystych owoców leśnych. Mają mocną, woskowaną skórę, zasobną w kwas benzoesowy, który wyróżnia się silnymi właściwościami konserwującymi. Z tych względów mogą być przechowywane w stanie świeżym (na sucho lub zalane wodą) przez cały okres zimowy; można je także zbierać w tym czasie, gdyż nie opadają po dojrzaniu. Owoce żurawiny mają cierpki, bardzo kwaśny smak, który łagodnieje po przemrożeniu. Stanowią znakomity surowiec dla przetwórstwa, zarówno domowego, jak i przemysłowego (kisiele, soki, syropy, konfitury, owoce kandyzowane, żurawina do mięs) [Grochowski i Grochowski 1994, Strzelecka i Kowalski 2000]. Warto zaznaczyć, że więcej polifenoli gromadzi się w owocach roślin dziko rosnących niż w owocach odmian uprawnych [Arvinte i Amariei 2022].

Owoc żurawiny błotnej (*Oxycocci fructus*) stosowany jest zarówno w lecznictwie ludowym, jak i w dietetyce. Surowiec zawiera kwasy organiczne (kwas benzoesowy, cytrynowy), kwasy fenolowe (kwas galusowy, chinowy), flawonoidy, triterpeny, witaminę C (nawet 200 mg/kg św.m.), antocyjany, karotenoidy i pektyny [Strzelecka i Kowalski 2000, Hisano i in. 2012, Šedbaré i in. 2023]. *Oxycocci fructus* cechuje unikalny skład metabolitów wtórnych, który odróżnia ją od innych owoców. W świeżej masie owoców występują: fenole (158,8 ± 3,2 μmol/g), flawan-3-ole (4,4 ± 1,0 mg/100g), antocyjany (37,7 ± 4,8 mg/100g) i flawonole (14,8 ± 1,0/100g). Całkowita pojemność antyoksydacyjna owoców żurawiny wyrażona w mg wit. C/g św.m. wynosi 177,0 ± 4,3 [Baranowska i Bartoszek 2016]. Zawartość substancji bioaktywnych żurawiny może być zróżnicowana w zależności od odmiany, dojrzałości owoców, lokalizacji uprawy, warunków zbioru i przechowywania. Šedbaré i in. [2023] wykazali, że profil chemiczny owoców żurawiny zależy od rodzaju siedliska (typy terenów podmokłych). Autorzy określili

obecność następujących grup substancji aktywnych: antocyjanów (698 ± 24 – $8352 \pm 200 \mu\text{g/g}$), flawonoli (518 ± 16 – $2811 \pm 31 \mu\text{g/g}$), związków triterpenowych (4060 ± 122 – $6542 \pm 157 \mu\text{g/g}$), kwasu chlorogenowego ($17 \pm 0,4 \mu\text{g/g}$ do $1224 \pm 41 \mu\text{g/g}$) i proantocyjanidyn ($919 \pm 19 \mu\text{g}$ ekwiwalentu estrogenowego (EE)/g do $3038 \pm 137 \mu\text{g EE/g}$). Skład kompleksu antocyjanów różnił się w zależności od lokalizacji na terenach podmokłych: w niektórych próbkach owoców żurawiny dominowały cztery antocyjany (cyjanidyno-3-galaktozyd, cyjanidyno-3-arabinozyd, peonidyno-3-galaktozyd i peonidyno-3-arabinozyd), podczas gdy w innych próbkach dominowało sześć antocyjanów (cyjanidyno-3-galaktozyd, cyjanidyno-3-arabinozyd, peonidyno-3-galaktozyd, peonidyno-3-arabinozyd, cyjanidyno-3-glukozyd i peonidyno-3-glukozyd). Badania Liaudanskas i in. [2025] ujawniły zróżnicowaną zawartość proantocyjanidyn, pochodnych kwasu hydroksycynamonowego, flawonoli, antocyjanów i związków triterpenowych w dojrzewających owocach *V. oxycoccos* oraz dowiodły aktywności antyoksydacyjnej *in vitro* ekstraktów z ww. owoców. Największe stężenie flawonoli oznaczono na początku dojrzewania owoców, 10 września ($1232,84 \pm 31,73 \mu\text{g/g}$), największe stężenia proantocyjanidyn ($1,85 \pm 0,02 \text{ mg EE/g}$, $p < 0,05$), antocyjanów ($4096,79 \pm 5,93 \mu\text{g/g}$, $p < 0,05$) i związków triterpenowych ($8248,46 \pm 125,60 \mu\text{g/g}$, $p < 0,05$) stwierdzono w próbkach owoców zebranych w połowie okresu dojrzewania (16–18 września). Najsilniejsze działanie przeciwrodnikowe i redukujące *in vitro* stwierdzono w ekstraktach z owoców zebranych 10 września, przy czym najsilniejszą korelację stwierdzono między całkowitą zawartością pochodnych kwasu hydroksycynamonowego a aktywnością redukującą ($0,858$, $p < 0,01$). Spośród poszczególnych związków najsilniejszą korelację wykazano między ilością izokwercytryny i gwajaweryny, aktywnością redukującą *in vitro* ocenianą metodą CUPRAC (odpowiednio $0,844$, $p < 0,01$ i $0,769$, $p < 0,05$). Badania Arvinte i Amariei [2022] pokazują, że całkowita zawartość polifenoli i zdolności przeciwutleniające owoców żurawiny są większe w ekstrakcie wodnym niż w ekstrakcie etanolowym. Na uwagę zasługuje wysoka zawartość kwercetyny ($0,39 \text{ mg/100 g}$) i mirycetyny ($0,23 \text{ mg/100 g}$) w ekstrakcie etanolowym, jak również obecność kwasu chlorogenowego ($0,42 \text{ mg/100 g}$), kwasu p-hydroksybenzoesowego ($0,41 \text{ mg/100 g}$) i kwasu rozmarynowego ($0,12 \text{ mg/100 g}$).

Wyciągi z owoców żurawiny stosowane są jako środki orzeźwiające, witaminizujące, wzmacniające odporność, w chorobach przebiegających z gorączką. Podawane często w postaci kisielu, napoju, zwłaszcza dzieciom, w przypadku grypy lub zakażeń grypopodobnych [Strzelecka i Kowalski 2000]. Owoce *V. oxycoccos* są ważnym źródłem związków bioaktywnych o działaniu przeciwbakteryjnym, przeciwgrzybiczym i przeciwzapalnym. Ocena potencjału przeciwdrobnoustrojowego owoców *V. oxycoccos* wykazała, oprócz potwierdzonego działania przeciwdrobnoustrojowego na bakterie Gram-dodatnie, takie jak *Staphylococcus aureus* lub *S. epidermidis*, słabą aktywność na szczepy Gram-ujemne, w tym na *Pseudomonas aeruginosa* [Kukula-Koch i in. 2024]. Produkty z żurawiną stosowane są w profilaktyce zakażeń dolnych dróg moczowych. Badania kliniczne sugerują, że codzienne dawki 240–300 ml koktajlu z soku żurawinowego mogą zapobiec 50% nawrotów zakażeń układu moczowego i zmniejszyć bakteriurię [Hisano i in. 2012].

PODSUMOWANIE

Obecnie na całym świecie panuje ogromne zainteresowanie owocami leśnymi i ich potencjalnym korzystnym wpływem na zdrowie. Krajowe zasoby leśne umożliwiają zbiór owoców czterech gatunków borówek, które cechuje wysoka wartość użytkowa. Owoce borówek dzięki licznym bioskładnikom, takim jak kwas askorbinowy, resweratrol, karotenoidy, flawonoidy, antocyjany, kwasy fenolowe, mają nie tylko wyjątkowe walory smakowe i dietetyczne, ale także cenne właściwości lecznicze. Długa historia wykorzystania gatunków z rodzaju *Vaccinium* znajduje potwierdzenie we współczesnych badaniach naukowych. Wyniki badań przedstawione w niniejszym przeglądzie wskazują, że spożywanie owoców roślin z rodzaju *Vaccinium* oraz produktów z nich otrzymywanych, jak i różnorodnych preparatów farmaceutycznych zawierających ekstrakt, proszek lub zagęszczony sok z owoców, jest dobrą profilaktyką. Na podkreślenie zasługuje wysoka aktywność antyoksydacyjna owoców borówek, przyczyniająca się do ich właściwości przeciwzapalnych, przeciwdrobnoustrojowych, a nawet przeciwnowotworowych. Rodzaj *Vaccinium*, dostarczający cennych surowców o działaniu prozdrowotnym (owoców i liści), zasługuje na szersze rozpropagowanie oraz dalsze badania farmakologiczne i fitochemiczne.

PIŚMIENNICTWO

- Ancillotti C., Ciofi L., Pucci D., Sagona E., Giordani E., Biricolti S., Gori M., Petrucci W.A., Giardi F., Bartoletti R., Chiuminatto U., Orlandini S., Mosti S., Del Bubba M., 2016. Polyphenolic profiles and antioxidant and antiradical activity of Italian berries from *Vaccinium myrtillus* L. and *Vaccinium uliginosum* L. subsp. *gaultherioides* (Bigelow) SB Young. Food Chem. 204, 176–184. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.106>
- Arvinte O., Amariei S., 2022. Chemical composition of peatland small cranberry (*Vaccinium oxycoccos*) for potential use as functional ingredient. Ukr. Food J. 11, 416–428. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-3-7>
- Baraniak J., Kania M., 2015. Borówka, winorośl i granatowiec – znane rośliny o aktywności przeciwutleniającej. Post. Fitoter. 16(1), 50–55.
- Baranowska M., Bartoszek A., 2016. Antyoksydacyjne i przeciwdrobnoustrojowe właściwości bioaktywnych fitozwiązków żurawiny. Postepy Hig. Med. Dosw. 70, 1460–1468.
- Bejenaru L.E., Bită A., Belu I., Segneanu A.-E., Radu A., Dumitru A., Ciocilteu M.V., Mogosanu G.D., Bejenaru C., 2024. Resveratrol: A review on the biological activity and applications. Appl. Sci. 14, 4534. <https://doi.org/10.3390/app14114534>
- Bilek M., 2020. Pozyskiwanie roślin leczniczych ze stanu naturalnego w świetle wymogów przemysłu farmaceutycznego i zasad gospodarki leśnej. Podkarpac. Wiad. Rol. 1, 30–33.
- Bilek M., 2021. Mniej wartościowa zastępka... Las Pol. 7, 22–23.
- Brasanac-Vukanovic S., Mutic J., Stankovic D.M., Arsic I., Blagojevic N., Vukasinovic-Pesic V., Tadic V.M., 2018. Wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L., Ericaceae) from Montenegro as a source of antioxidants for use in the production of nutraceuticals. Molecules 23(8), 1864. <https://doi.org/10.3390/molecules23081864>
- Česonienė L., Daubaras R., Paulauskas A., Žukauskienė J., Zych M., 2013. Morphological and genetic diversity of European cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L., Ericaceae) clones in Lithuanian reserves. Acta Soc. Bot. Pol. 82(3), 211–217. <https://doi.org/10.5586/asbp.2013.026>
- Colak N., Torun H., Gruz J., Strnad M., Hermosín-Gutiérrez I., Hayirlioglu-Ayaz S., Ayaz F.A., 2016. Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. Food Chem. 201, 339–349. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.062>
- Dicu A., Segal R., 2006. Evaluation of the antiradical and antioxidant effects of *Myrtilli folium* extracts. J. Agroaliment. Process. Technol. 12(1), 167–174.
- Drozd J., Anuszevska E., 2013. Czarna jagoda – perspektywy nowych zastosowań w profilaktyce i wspomaganiu leczenia chorób cywilizacyjnych. Med. Rev. 2, 226–235.
- Grousset F., Wistermann A., Steffen K., Petter F., Schrader G., Suffert M., 2016. DROPSA Deliverable 1.3 Report for *Vaccinium* – Fruit pathway and Alert List, 2–5.
- Fabijański P., 2018. Przewodnik poszukiwacza lasu. Warszawa.
- Farmakopea Polska, 2020. Wydział 12, t. 2. Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Preparatów Biobójczych. Warszawa, 1750–1755.
- Głowacki S., 2006. Znaczenie gospodarcze i rekreacyjne dolnych warstw lasu. Leś. Pr. Bad. 3, 99–114.
- Grochowski W., Grochowski A., 1994. Leśne grzyby, owoce i zioła. PWRiL, Warszawa.
- Gryta K., Paradowska K., 2022. Resveratrol – budowa, właściwości i wpływ na organizm ludzki. Post. Fitoter. 23(2), 85–91. <https://doi.org/10.25121/PF.2022.23.2.85>
- Hisano M., Bruschini H., Nicodemo A.C., Srougi M., 2012. Cranberries and lower urinary tract infection prevention. Clinics 67(6), 661–667. [https://doi.org/10.6061/clinics/2012\(06\)18](https://doi.org/10.6061/clinics/2012(06)18)
- Karcheva-Bahchevanska D., Nikolova M., Iliev I., 2023. Inhibitory potential of different bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) extracts on human salivary α -amylase. Molecules 28, 5820. <https://doi.org/10.3390/molecules28155820>
- Karczewski J., 1973. Przyczynek do poznania fauny sustyentów borówki bagiennej (*Vaccinium uliginosum* L., Ericaceae). Sylwan 10, 26–34.
- Kim Y.-H., Bang Ch.-Y., Won E.-K., Kim J.-P., Choung S.-Y., 2009. Antioxidant activities of *Vaccinium uliginosum* L. extract and its active components. J. Med. Food 12(4). <https://doi.org/10.1089/jmf.2008.1127>
- Kim M.J., Choung S.-Y., 2012. Mixture of polyphenols and anthocyanins from *Vaccinium uliginosum* L. alleviates DNCB-induced atopic dermatitis in NC/Nga mice. Evid. Based Complement. Altern. Med. 461989. <https://doi.org/10.1155/2012/461989>
- Klavins L., Klavina L., Huna A., Klavins M., 2015. Polyphenols, carbohydrates and lipids in berries of *Vaccinium* species. Environ. Experiment. Biol. 13, 147–158.
- Kopystecka A., Koziol I., Radomska D., Bielawski K., Bielawska A., Wujec M., 2023. *Vaccinium uliginosum* and *Vaccinium myrtillus* – two species – one used as a functional food. Nutrients 15, 4119. <https://doi.org/10.3390/nu15194119>
- Kukula-Koch W., Dycha N., Lechwar P., Lasota M., Okoń E., Szczepkowski P., Wawruszak A., Tarabas D., Hubert J., Wilkołek P., Halabalaki M., Gawel-Bęben K., 2024. *Vaccinium* species – unexplored sources of active constituents for cosmeceuticals. Biomolecules 14, 1110. <https://doi.org/10.3390/biom14091110>
- Lamer-Zarawska E., Kowal-Gierczak B., Niedworok J., 2014. Fitoterapia i leki roślinne. PZWL, Warszawa.
- Leis K., Pisanko K., Jundził A., Mazur E., Męcińska-Jundził K., Witmanowski H., 2022. Resveratrol as a factor preventing skin aging and affecting its regeneration. Adv. Dermatol. Allergol. 39(3), 439–445. <https://doi.org/10.5114/ada.2022.117547>
- Li J., Qi Q., Zhang Q., Wang M., Liu Y., Sun X., Mu Y., Yang C., 2025. Variations in bog bilberry fruit characteristics along an altitudinal gradient on Changbai Mountain. China. Hort. Sci. (Prague) 52, 111–119. <https://doi.org/10.17221/147/2023-HORTSCI>
- Liaudanskas M., Šedbarė R., Ramanauskas I., Janulis V., 2025. Variation in the chemical composition of small cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) fruits collected from a bog-type habitat in Lithuania. Int. J. Mol. Sci. 26, 6956. <https://doi.org/10.3390/ijms26146956>

- Lorek E., 1978. Zawartość manganu i witaminy C w owocach borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) i borówki brusznicy (*Vaccinium vitis-idaea* L.) rosnących w rejonach wielkoprzemysłowych. Roczn. Państw. Zakł. Hig. 29(4), 381–387.
- Martău G.A., Bernadette-Emőke T., Odocheanu R., Soporan D.A., Bochi M., Simon E., Vodnar D.C., 2023. *Vaccinium* species (Ericaceae): Phytochemistry and biological properties of medicinal plants. *Molecules* 28, 1533. <https://doi.org/10.3390/molecules28041533>
- Matuszkiewicz W., 1967. Przegląd systematyczny zbiorowisk roślinnych Polski. W: A. Scamoni. Wstęp do fitosocjologii praktycznej. PWRiL, Warszawa.
- Musilová J., Franková H., Lidíková J., Vollmannová A., Bojnanská T., Jurítková J., 2022. The content of bioactive substances and their antioxidant effects in European blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) influenced by different ways of their processing. *J. Food Process. Preserv.* 46(2), e16549. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16549>
- Parzych A., 2016. Akumulacja i rozmieszczenie składników odżywczych w pędach *Vaccinium vitis-idaea* L. i *Vaccinium myrtillus* L. *Sylvan* 160(01), 40–48.
- Pieszka M., Szczurek P., Ropka-Molik K., Oczkowicz M., Pieszka M., 2016. Rola resweratrolu w regulacji metabolizmu komórkowego. *Postępy Hig. Med. Dosw.* 70, 117–123.
- Rimando A.M., Kalt W., Magee J.B., Dewey J., Ballington J.R., 2004. Resveratrol, pterostilbene, and piceatannol in *Vaccinium* berries. *J. Agric. Food Chem.* 52(15), 4713–4719.
- Scărlătescu V., Vasile D., Dincă L., 2017. The importance of *Vaccinium* species collection. *Res. J. Agric. Sci.* 50(1), 194–201.
- Šedbarė R., Sprainaitytė S., Baublys G., Viskelis J., Janulis V., 2023. Phytochemical composition of cranberry (*Vaccinium oxycoccos* L.) fruits growing in protected areas of Lithuania. *Plants* 12, 1974. <https://doi.org/10.3390/plants12101974>
- Shamilov A.A., Bubenchikova V.N., Chemikov M.V., Pozdnyakov D.I., Garsiya E.R., 2020. *Vaccinium vitis-idaea* L.: Chemical contents, pharmacological activities. *Pharma. Sci.* 26(4), 344–362. <https://doi.org/10.34172/PS.2020.54>
- Song G.-Q., Hancock J.F., 2011. *Vaccinium*. C. Kole (ed.), *Wild crop relatives: Genomic and breeding resources, temperate fruits*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8_10
- Strzelecka H., Kowalski J., 2000. *Encyklopedia zielarstwa i ziołolecznictwa*. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- Szkudlarz P., 1993. Interesujące stanowisko białowocowej borówki bagiennej *Vaccinium uliginosum* L. var. *leucocarpum* B. Fedtsch w Borach Dolnośląskich. *Prz. Przyr.* 4(2), 67–71.
- Then M., Szentmihályi K., Gere A., Jasztrab Sz., Szőke É., 2005. Antioxidant properties of *Myrtilli folium*, *Phaseoli fructus sine seminibus* and drug mixture extracts. *Acta Aliment.* 34(2), 169–176. <https://doi.org/10.1556/aalim.34.2005.2.10>
- Vaneková Z., Redl M., Fischer L., Ortmayr K., Jaakola L., Rollinger J.M., 2025. The bog bilberry enigma: A phytochemical and ethnopharmacological analysis of *Vaccinium uliginosum* L. fruits in regard to their alleged toxicity. *Plants* 14, 2645. <https://doi.org/10.3390/plants14172645>
- Wang Y., Yang H., Zhong S., Liu X., Li T., Zong C., 2019. Variations in sugar and organic acid content of fruit harvested from different *Vaccinium uliginosum* populations in the Changbai Mountains of China. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 144(6), 420–428. 2019. <https://doi.org/10.21273/JASHS04740-19>
- Wozniowa B., 2014. Leśne rośliny o jadalnych owocach – przegląd botaniczny. *Stud. Mat. CPPEL* 16, 38(1), 105–118.
- Zarzycki K., 1963. Ericaceae. Wrzosowate. W: B. Pawłowski (ed.). *Flora polska. Rośliny naczyniowe Polski i ziem ościennych*. PWN, Warszawa, 91–108.

Abstract. Shrubs are low, perennial plants with woody shoots, usually reaching 50–60 cm in height, which often spread out, forming dense turf. Among the better known and more commonly used forest shrubs are plants of the genus *Vaccinium* L. *Ericaceae* (Juss.). The genus *Vaccinium* (blueberry) comprises 36 subspecies and approximately 450 species worldwide. Blueberries have high nutritional and health-promoting properties. They supplement the diet with vitamins and minerals, are a source of organic acids that improve digestive processes, and contain antioxidants that are valuable for health. The fruits and leaves of *Vaccinium* plants are widely used in traditional medicine and have their place in modern phytotherapy. They are used in fresh and processed form as aids to digestion and immunity, and as powerful antioxidants with anti-cancer, anti-inflammatory and cardiovascular protective properties. The *Vaccinium* genus deserves wider promotion and further pharmacological and phytochemical research.

Keywords: forest fruits, blueberries, health benefits, bioactive ingredients, polyphenols, antioxidant activity

Otrzymano/Received: 4.02.2026

Zaakceptowano/Accepted: 20.05.2026

Online first: 15.06.2026

Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Nurzyńska-Wierdak R., Zalewska E.D., 2026. Rośliny lecznicze runa leśnego. Część II. Krzewinki z rodzaju *Vaccinium* L. *Ann. Hort.*, 35(1), 37–46. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5664>

NIKODEM SAKSON¹, ARKADIUSZ CHRUSCIEL², FILIP PINKOWSKI³,
KATARZYNA WAŁEK-NAWRATEK⁴, PRZEMYSŁAW FRANKOWSKI⁵,
JOANNA GUZIAŁOWSKA-TIC⁶, WIESŁAW HRECZUCH⁷

Local plant biomass and biodegradable organic waste-derived compost as a sustainable alternative to peat in casing layers for *Agaricus bisporus* cultivation

Abstract. Progressive restrictions on peat extraction in Europe create the need for sustainable alternatives for casing layers in *Agaricus bisporus* cultivation. This study evaluated compost-based peat-free humus casing as a substitute for conventional peat casing under commercial conditions. Physicochemical properties, yield performance, and mineral composition of fruit bodies from white and brown strains were analyzed across two flushes. Compared with peat, the humus casing showed lower water-holding capacity, higher pH, and higher electrical conductivity. Nevertheless, colonization dynamics and fruit body initiation proceeded similarly in both systems. In the white strain, first-flush yield under humus casing was significantly higher than under peat one, while in the brown strain yields were statistically equivalent. Mineral composition responses were strain- and flush-dependent. In the brown strain, humus increased Ca, Fe, and Se concentrations, particularly in the second flush. No consistent evidence of reduced mineral quality was observed under humus. The second flush showed intensified positive effects, suggesting dynamic interactions between casing properties and nutrient availability. Overall, compost-derived humus casing provides yield performance comparable to peat and may enhance selected mineral traits, supporting its potential in sustainable peat-free mushroom production.

Keywords: peat-free casing, compost-based humus, cultivated mushroom, sustainable horticulture

ABBREVIATIONS AND SYMBOLS

OH – humus casing

OT – peat-based casing

BiOH – white mushroom cultivated on humus casing

BiOT – white mushroom cultivated on peat-based casing

BrOH – brown mushroom cultivated on humus casing

BrOT – brown mushroom cultivated on peat-based casing

¹ Independent specialist, Poland, <https://orcid.org/0009-0006-2275-012x>;

² Mexeo, 9 Energetyków St., 47-225 Kędzierzyn-Koźle, Poland, <https://orcid.org/0000-0001-9918-4134>;
corresponding author: arkadiusz.chrusciel@mexeo.pl

³ Opole University of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, 45-758 Opole, Poland,
<https://orcid.org/0009-0001-8538-8563>

⁴ Mexeo, 9 Energetyków St., 47-225 Kędzierzyn-Koźle, Poland, <https://orcid.org/0009-0003-4891-9585>

⁵ Afirma Sp. z o.o., Wojnowo, 62-095 Murowana Goślina, Poland, <https://orcid.org/0000-0001-5198-2487>

⁶ Opole University of Technology, Department of Process and Environmental Engineering, 45-758 Opole, Poland,
<https://orcid.org/0000-0003-2598-2672>

⁷ Mexeo, 9 Energetyków St., 47-225 Kędzierzyn-Koźle, Poland, <https://orcid.org/0000-0002-0435-7686>



WHC – water holding capacity, % wt.

EC – electrical conductivity (salinity), $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$

σ_p^2 – pooled variance of yield, $\text{kg}^2\cdot\text{m}^{-4}$

s_i^2 – variance of the i -th yield measurement series, $\text{kg}^2\cdot\text{m}^{-4}$

n_i – number of individual measurements in the i -th yield measurement series

P_{OH} – yield obtained with humus casing, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$

P_{OT} – yield obtained with humus peat-based casing, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$

σ_Δ – variance of the yield difference $\Delta = P_{OH} - P_{OT}$

σ_{OH}^2 – assumed variance of yield under humus casing, $\text{kg}^2\cdot\text{m}^{-4}$

σ_{OT}^2 – assumed variance of yield under peat-based casing, $\text{kg}^2\cdot\text{m}^{-4}$

k_α – critical quantile value at significance level α

Φ^{-1} – inverse cumulative distribution function of the standard normal distribution

Z – test statistic for the difference $P_{OH} - P_{OT}$

Φ – cumulative distribution function of the standard normal distribution

$\Delta_{rel}W_i$ – relative increase index of mineral component content, % wt.

w_i^{OH} – content of mineral component i in fruit body tissue of mushrooms cultivated on humus casing, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry mass

w_i^{OT} – content of mineral component i in fruit body tissue of mushrooms cultivated on peat based casing, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry mass

L – natural logarithm of the ratio $\frac{w_i^{OH}}{w_i^{OT}}$

s_L^2 – variance of L

$s_{w_i^{OH}}^2$ – variance of mineral component i content in fruit bodies cultivated on humus casing, $\text{mg}^2\cdot\text{kg}^{-2}$

$s_{w_i^{OT}}^2$ – variance of mineral component i content in fruit bodies cultivated on peat-based casing, $\text{mg}^2\cdot\text{kg}^{-2}$

$\Delta_r w_i^{G,D}$ – upper/lower confidence limit of the relative increase index of mineral component content, % wt.

$L^{G,D}$ – upper/lower confidence limit of expression L

$t_{\alpha, v_{ef}}$ – parameter from the Student's t -distribution for significance level α and effective degrees of freedom v_{ef}

INTRODUCTION

Poland has for years maintained the position of an undisputed leader in mushroom production on the European market, and the domestic cultivation sector constitutes a cornerstone of the European Union's supply of this species [Walkowiak 2025]. Although this trend has been characterized by considerable growth dynamics, it is currently facing barriers arising from macroeconomic factors, such as increasing energy costs and wage pressure accompanied by a shortage of qualified specialized personnel. Under these conditions, further development of the mushroom sector is possible only through the implementation of innovation and research and development outcomes aimed at optimizing production costs [Sakson and Hreczuch 2025].

A strategic challenge, extending beyond current economic constraints, concerns the availability of raw materials, particularly peat. At present, peat constitutes the primary and indispensable component of the casing layer used in mushroom cultivation and largely determines cultivation success within the existing technological model [Szumigaj-Tarnowska and Uliński 2023].

Peat is a material with unique sorptive and biological properties, however, its resources are non-renewable on a human timescale. The formation of peat deposits meeting economic extraction criteria takes thousands of years, whereas current exploitation rates significantly exceed the natural accumulation rate of this material. This imbalance necessitates the search for alternatives in accordance with the principles of sustainable development [Żebrowska and Kociotek-Balawejder 2010].

Peatland exploitation is also associated with irreversible ecosystem degradation and substantial greenhouse gas emissions, as confirmed by environmental assessments [Goglio et al. 2025]. This aspect, combined with the prospect of future environmental charges and increasing pressure from Western European retail chains – which are progressively requiring peat-free products from their suppliers – renders continued reliance on peat as the sole casing material economically risky [Sakson 2025].

At present, the mushroom sector, as well as the broader horticultural industry, faces the necessity of gradually phasing out peat use, driven by a stringent and multi-level legal framework that severely restricts access to new deposits. These barriers arise from a set of interrelated national and European Union regulations forming part of the EU's transformation agenda toward a modern and competitive economy with minimal environmental impact, a cornerstone of the European Green Deal strategy [European Commission 2019]. In light of these conditions, it appears justified to assume that the implementation of the Green Deal objectives may, in the longer term, result in substantial limitations or even a complete ban on peat extraction, thereby placing the mushroom sector before a profound structural challenge.

Despite numerous studies conducted worldwide, the development of an alternative casing material that is not only effective but also cost-competitive with peat remains unresolved [Sakson 2025]. Identifying a functional substitute for peat in mushroom production technology is particularly challenging due to the complex role of the casing layer in cultivation. Its function extends beyond mere mechanical protection of the substrate; rather, it constitutes a key technological component indispensable for the initiation of fruiting. For this process to proceed properly, the casing material must exhibit a unique combination of high water-holding capacity and porosity, ensuring continuous gas exchange [Szumigaj-Tarnowska and Uliński 2023].

In response to the above limitations and constraints, the private sector has undertaken efforts to develop technologies that combine the physical properties of peat with the renewability of raw materials. An example of such a solution is the innovation developed by Afirma Sp. z o.o. (Wojnowo, Poland), which has developed, patented, and commercialized an innovative Peat-Free Humus Casing [Patent application P.452691, 2025]. This technology is based on the composting of locally sourced plant materials to obtain a material with a stable granular structure, intended to replicate the water-retention properties of peat without its associated environmental drawbacks.

Despite promising theoretical premises, the key research issue remains the verification of the suitability of the new humus casing under real industrial production conditions, where factors such as cultivation scale, irrigation systems, and the microclimate of production halls critically test material stability.

The aim of the present study is to verify the feasibility of using compost (humus) as an alternative to peat in mushroom casing, with particular emphasis on assessing its effects on yield performance and the accumulation of macro- and micronutrients.

It was hypothesized that compost-derived peat-free humus casing (OH), despite its distinct physicochemical characteristics compared to conventional peat-based casing (OT), is capable of sustaining fruit body development and yield performance of *Agaricus bisporus* at levels not inferior to those obtained with peat casing, while maintaining comparable mineral composition of mushroom fruit bodies under commercial production conditions.

The study focuses on comparing the innovative humus casing with a standard peat-based casing in terms of physicochemical properties and production efficiency, expressed by mushroom yield, fruit body quality, and chemical composition. The defined research problem arises from a technological gap between the necessity of phasing out peat and the lack of proven substitutes suitable for commercial production. The core of the problem lies in the need to identify and validate a renewable raw material (compost) that, under intensive irrigation conditions, maintains the physical parameters required for proper fruit body development, matching the performance standards of peat-based casing.

MATERIAL AND METHODS

Material

Peat-free humus casing

The production process of the peat-free humus casing layer was described in detail in the patent application [Patent Application P.452691, 2025].

Compost, constituting the main component of the humus casing layer, was produced by composting selectively collected green waste and other biodegradable plant residues originating from gardens, forests, orchards, parks, cemeteries, and marketplaces.

The feedstock included, among others, grass clippings, leaves, stems, branches, tree limbs, untreated wood, bark, and wood chips, as well as other biodegradable organic wastes classified within groups 02, 16, and 20 of the Polish Waste Catalogue, comprising agricultural, forestry, agri-food processing, and municipal biowastes.

The entire waste processing cycle, from feedstock reception to storage of the final product, lasted 84 days and was carried out in a chamber-type biocomposting facility. After shredding and homogenization, the feedstock was subjected to a composting process lasting 10–12 weeks and consisting of three consecutive stages.

Upon completion of composting, the material was screened through a 20-mm mesh sieve to remove non-composted fractions and obtain a homogeneous structure. The resulting compost was characterized by a pH of 8.0 ± 0.4 , total nitrogen content of $0.95 \pm 0.05\%$, phosphorus (P_2O_5) content of $0.34 \pm 0.02\%$, potassium (K_2O) content of $0.79 \pm 0.04\%$, magnesium (MgO) content of $0.45 \pm 0.02\%$, calcium (CaO) content of $3.32 \pm 0.16\%$, and an organic matter content of $25.0 \pm 1.25\%$ on a dry matter basis.

The second component of the humus casing layer was sugar beet lime, a by-product of the sugar industry generated during purification of sugar beet juice using lime milk ($Ca(OH)_2$).

Sugar beet lime consists mainly of calcium carbonate ($CaCO_3$), with minor amounts of calcium oxide (CaO), organic matter, and trace quantities of plant nutrients, including nitrogen, phosphorus, potassium, and micronutrients. Depending on the degree of dewatering, sugar beet lime may occur as a moist material or as a dried granular or powdered product. In the present study, sugar beet lime was used in the form of a dry powder with a moisture content below 10% and a particle size ranging from 0.5 to 1.0 mm.

The investigated humus casing layer consisted of 95% vol. compost and 5% vol. sugar beet lime. The resulting casing material exhibited a pH ranging from 7.5 to 9.0, salinity of $2.5\text{--}4.0\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, total nitrogen content of 0.30–1.10%, phosphorus (P_2O_5) content of 0.10–0.50%, potassium (K_2O) content of 0.20–0.95%, and an organic matter content not lower than 15% of dry matter.

Control peat-based casing

The control casing (peat-based): a standard mixture of highmoor and lowmoor peat with a structure adapted for mechanical application, deacidified with defecation lime [Peat-based casing 2025].

Method

Preparation of the humus casing layer

The humus casing layer was prepared by mixing plant-derived compost with sugar beet lime at a volumetric ratio of 95:5. The components were mechanically blended until a homogeneous mixture was obtained. The material was subsequently screened using a star screen to obtain a particle size fraction of 10–25 mm. The larger wood fragments, compacted material, and other undesirable fractions were removed during this process. When necessary, the moisture content of the mixture was adjusted by watering to approximately 30–50%. The casing material was then conditioned in a screw structuring unit to improve its physical properties through loosening and aeration of the material and the disruption of potential aggregates. The resulting humus casing layer was used directly in the cultivation experiments.

Cultivation

Cultivation experiments were conducted in two production halls (No. 5 and No. 12) at the Grzybek mushroom farm owned by Piotr Pasoń (Opole, Poland). The study compared two types of casing materials: the tested casing (peat-free, humus-based) and the control casing (peat-based).

The experimental design comprised four variants, designated and arranged as follows:

Hall No. 12 (white mushroom):

BiOT – shelf cultivated with white *A. bisporus* using traditional peat casing, serving as the reference treatment.

BiOH – shelf cultivated with white *A. bisporus* using humus (peat-free) casing, serving as the experimental treatment.

Hall No. 5 (brown mushroom):

BrOT – shelf cultivated with brown *A. bisporus* using traditional peat casing, serving as the reference treatment.

BrOH – shelf cultivated with brown *A. bisporus* using humus (peat-free) casing, serving as the experimental treatment.

In both halls, standard cultivation technology was applied, including casing incubation, thermal shock induction, and the cropping phase.

An identical layer configuration was maintained across all variants to eliminate the influence of external factors: the tested or control casing was mechanically applied to Phase III compost at a thickness of approximately 4 cm.

Microclimatic parameters (air and substrate temperature, relative humidity, and CO₂ concentration) were controlled for each strain: white (K55X) and brown (LUX).

A key aspect of the study was monitoring the structural behavior of the casing materials during irrigation and assessing their water stability.

Physicochemical analyses of the casing materials were performed according to standard laboratory procedures commonly applied in soil science [Pawłowska and Wysocka 2013].

Gravimetric moisture content was determined using the oven-drying method by drying samples at 105°C to constant weight [PN-ISO 11465]. Maximum water-holding capacity was determined using the funnel method, calculated as the difference in mass between a fully water-saturated sample and the sample after cessation of gravitational drainage [Pawłowska and Wysocka 2013].

The pH was measured potentiometrically using a combined glass electrode, with measurements performed in a water suspension to determine active acidity and in a 1M KCl solution to determine exchangeable acidity [Pawłowska and Wysocka 2013].

Electrical conductivity (EC) was determined conductometrically to assess the total concentration of soluble salts [Pawłowska and Wysocka 2013].

Yield assessment

Fruit bodies were harvested selectively at commercial maturity. Each experimental shelf constituted an independent measurement unit. The yield collected from each shelf was weighed after every harvest to the nearest 0.01 kg, allowing precise determination of productivity per 1 m² of cultivation area for each type of casing material.

Quality and chemical composition analysis

Sampling

To determine the nutritional value of the final product, fruit body samples were collected from each experimental variant. Mushrooms for laboratory analysis were randomly selected from different locations across the cultivation surface to ensure sample representativeness.

Dry matter, water content

Dry matter content of fresh mushrooms was determined gravimetrically by drying the sample at 105°C to constant mass. Samples were homogenized immediately prior to analysis and weighed into pre-dried and pre-weighed weighing dishes. After drying, samples were cooled to room temperature in a desiccator and weighed. Constant mass was defined as a difference between successive weighings, not exceeding 0.5% of the lower value or 2 mg. Each sample was analyzed in three independent replicates. Results were reported as % dry matter (mean of three determinations), and water content was calculated by difference to 100%.

Mineral content

The contents of Ca, Fe, K, Mg, P and Se were determined by ICP-OES using a PlasmaQuant 9100 spectrometer (Analytik Jena, Germany) at MCBR UO (International Research and Development Center of the University of Opole). Samples were subjected to microwave-assisted digestion with HNO₃ (65%) and H₂O₂ (30%) until a clear solution was obtained; the digests were then diluted with deionized water to the final measurement volume. Quantification was performed using calibration curves prepared from element standard solutions and with a reagent blank included. Calibration ranges were as follows: 0.1–8.0 mg·L⁻¹ (Ca, Mg, K), 0.01–0.8 mg·L⁻¹ (Fe, Se) and 1.0–80.0 mg·L⁻¹ (P). The following analytical wavelengths (nm) were used: Ca 317.933; Fe 259.940; K 766.491; Mg 285.213; P 178.287; Se 196.028. Each sample was analyzed in three independent replicates; results were corrected for the blank. Concentrations were expressed as mg of element per kg of dry matter (mg·kg⁻¹ d.m.).

RESULTS AND DISCUSSION

Origin and technological determinants of the investigated casing materials

The fundamental difference between peat and compost arises from the distinct dynamics of their formation and the environmental conditions under which they develop. Peat consists of organic deposits accumulated in waterlogged environments, where excess moisture and oxygen deficiency lead to slowed humification of plant residues. This long-term process creates a specific environment in which organic matter is preserved for millennia [Skreczko and Trepka 2016]. Owing to the rate of deposit accumulation (approximately 1 mm per year), peat is regarded as a non-renewable resource on an economic timescale. In contrast to geological formation processes, composting represents a controlled biotechnological process. It occurs under aerobic conditions and involves microbial succession, including thermophilic fungi that intensively degrade lignocellulosic material. When properly conducted, the process enables the transformation of plant biomass into a stable humified product within a matter of weeks, thereby conferring the status of a fully renewable raw material [Pudełko 2015].

The production process of casing material, regardless of the raw material base, aims to obtain a medium with specific quality parameters; however, the technological pathways leading to this objective differ substantially. In the case of standard peat-based casing, production relies on an extractive model combined with physicochemical conditioning of the mineral resource [Żebrowska and Kociołek-Balawejder 2010]. The process begins with mechanical extraction and fractionation of highmoor and lowmoor peat, which are subsequently blended in proportions ensuring a balance between water absorption capacity and air-filled porosity [Szumigaj-Tarnowska and Uliński 2023].

A fundamental technological challenge in this model is the natural acidity of the raw peat material, typically ranging from pH 3.5 to 5.0 [Żebrowska and Kociołek-Balawejder 2010]. This necessitates an energy consuming neutralization process using defecation lime or chalk. Moreover, due to the potential presence of pathogens in natural deposits, the finished peat mixture often requires preventive chemical disinfection prior to application in cultivation [Sakson 2023].

A fundamentally different strategy is represented by the technology for producing peat-free humus casing [Patent application P.452691, 2025], which constitutes a bioprocess engineering approach. The starting material is renewable plant biomass subjected to controlled aerobic stabilization. A key distinguishing feature of this method is the utilization of the natural activity of thermophilic microorganisms.

During the intensive phase of the process, the temperature within the compost pile exceeds 60–65°C, leading to autopasteurization of the raw material and effective elimination of pathogens and weed seeds without the use of chemical agents [Pudełko 2015]. Importantly, this process is accompanied by natural pH stabilization to levels above 7.5, thereby eliminating the need for liming, which is characteristic of peat-based casing. Nevertheless, a controlled addition of defecation lime is applied to maintain pH stability across successive production batches, to facilitate the formation of the desired

granular structure of the humus casing (OH), and to regulate its bulk density depending on the type of compost used.

The compost itself may vary in origin (e.g., organic), depending on producer requirements, market expectations, and applicable regulations. The final stage of production involves precise mechanical fractionation, imparting the material with the desired granular structure. The resulting product is biologically stable and obtained through biosynthesis rather than through mere processing of a mineral resource [Patent application P.452691, 2025].

The choice of casing technology therefore determines not only agronomic practices but also the strategic position of the producer in the context of climate and market changes. Peat extraction is associated with the degradation of natural carbon sinks and CO₂ emissions, which, according to life cycle assessment analyses (LCA), constitute the principal environmental burden of mushroom production [Goglio et al. 2025, Skreczko and Trepka 2016]. Furthermore, in contrast to the extractive model, humus-based technology aligns with the principles of the Circular Economy. The use of locally sourced biomass enables the reduction of carbon dioxide emissions and the return of organic matter to the soil after the cultivation cycle, thereby eliminating the issue of waste generation [Pudełko 2015].

The Polish mushroom sector, partially dependent on imported peat, is exposed to currency and logistical risks [Kayzer 2017]. The implementation of technology based on locally sourced agricultural raw materials (e.g., straw and green waste) reduces producers' dependence on raw material geopolitics and contributes to the stabilization of production costs [Sakson and Hreczuch 2025]. While peat provides excellent water retention capacity [Żebrowska and Kociołek-Balawejder 2010], humus casing offers enhanced phytosanitary safety due to the thermal autopasteurization process [Patent application P.452691, 2025]. The broad spectrum of the ecological and functional benefits outlined above positions humus casing as an innovative foundation for the development of sustainable mushroom production.

Physicochemical parameters of the investigated casing materials

The differences in the origin of the two materials were reflected in the results of laboratory analyses. The findings confirmed that the humus casing creates a growth environment with characteristics distinct from those of the standard peat-based casing.

Table 1. Comparison of physicochemical parameters of casing materials used in studies

Shelf	Flush no.	Moisture (% wt.)	pH (in water)	pH (in KCl soln.)	Salinity (EC) (mS·c ⁻¹)	WHC (% wt.)
BiOH	I	49.79	8.15	7.67	3.74	171.03
	II	50.75	8.20	7.51	3.14	152.83
	average	50.27	8.18	7.59	3.44	161.93
BiOT	I	76.60	7.67	7.29	1.95	249.38
	II	76.58	7.80	7.34	1.09	263.47
	average	76.59	7.74	7.32	1.52	256.43
BrOH	I	52.04	8.21	7.47	3.65	154.15
	II	45.93	8.26	7.49	2.97	173.47
	average	48.99	8.24	7.48	3.31	163.81
BrOT	I	73.70	7.78	7.31	2.20	261.56
	II	71.07	7.89	7.37	1.23	284.10
	average	72.39	7.84	7.34	1.72	272.83

A comparison of the key parameters (Table 1) indicates pronounced differences in the hydrodynamic properties of the tested substrates. The analysis of the collected data reveals fundamental differences in the characteristics of the two compared casing materials.

The most pronounced discrepancies concern water management properties, where the humus casing (BiOH, BrOH shelves) exhibited substantially lower maximum water-holding capacity (on average approximately 162–164%) and lower moisture content (approximately 50%) compared to the peat-based casing, which retained water at levels exceeding 250%.

The humus casing was naturally more alkaline ($\text{pH} > 8.1$) than the limed peat casing ($\text{pH} \sim 7.7\text{--}7.8$). Another parameter potentially influencing yield quality is salinity (EC); the humus variants showed electrical conductivity values of $3.3\text{--}3.4 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, which were higher than those recorded for the peat casing.

Course of the experimental cultivation cycles

Dynamics of casing colonization and fruit body initiation

The previously described differences in the origin and physicochemical parameters of the investigated materials were reflected in the course of the mushroom production cycle. However, observations indicated that despite structural differences between the casing materials, the key developmental stages proceeded within comparable time frames, although clear differences in mycelial morphology were noted.

During the casing colonization phase, proper vegetative growth was observed in all variants. The humus casing (BiOH, BrOH), characterized by a dark color and granular structure, was colonized by the mycelium at a rate comparable to that of the peat-based control (BiOT, BrOT), reaching the stage of full surface mycelial coverage (“mycelial blanket”) by the end of the first week after casing application. The process of fruit body initiation (generative phase) occurred at a similar time in both the experimental and control variants. This suggests that the relatively higher pH and specific microbiological profile of the humus casing did not exert an inhibitory effect on the signals initiating primordia formation. A key agronomic observation was the high structural stability of the humus material; despite intensive irrigation during the shock phase, the casing maintained its porosity.

Crop health status

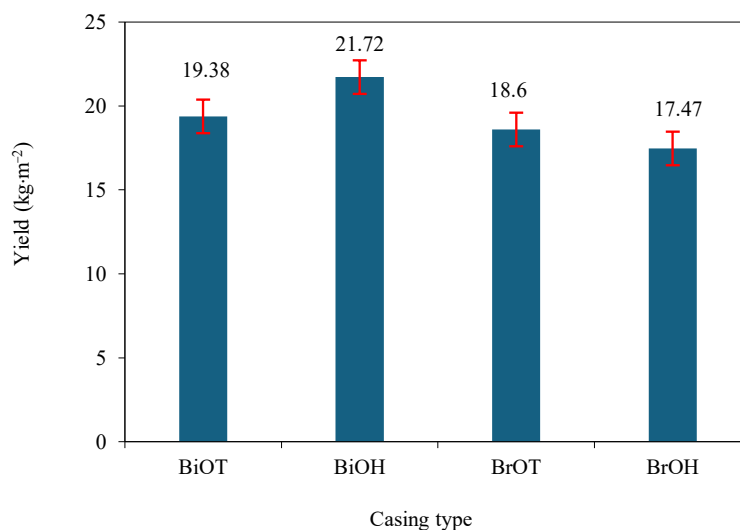
A notable event during the experiment was the occurrence of green mold outbreaks in the cultivation hall with white mushrooms during the second flush. It should be emphasized, however, that the infection affected both the experimental variant (BiOH) and the control variant (BiOT) to a comparable extent. The fact that the pathogen developed with similar intensity on both types of casing materials allows for an important conclusion, the source of infection was not the casing material itself but an external factor. The humus casing did not exhibit either increased susceptibility or enhanced resistance to colonization by competing mold fungi compared to the standard peat-based casing.

Yield performance

Figure 1 presents a comparative analysis of yield results for white (Bi) and brown (Br) mushrooms obtained using two types of casing materials: peat-based (OT) and experimental humus-based (OH).

In the case of white mushrooms, the yield in the first flush reached $19.38 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ on peat casing (BiOT) and $21.72 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ on humus casing (BiOH), corresponding to a nominal increase of $2.34 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ when the humus casing was applied. For brown mushrooms, the yield obtained on peat casing (BrOT) was $18.60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, whereas on humus casing (BrOH) it reached $17.47 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, representing a difference of $-1.13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$.

Figure 1. First flush yield by casing type and mushroom strain



A statistical comparison of the obtained yield results requires consideration of the natural variability inherent in the cultivation process, particularly given the screening character of the comparative experiment, in which a single observation was performed for each variant.

Such an experimental design precludes the direct determination of empirical measures of dispersion (variance and standard deviation), which constitute the basis of classical comparative analysis.

At the same time, the observed differences in yield between humus and peat casing required evaluation with reference to the range of random variability inherent in the cultivation process, in order to determine whether the effects exceeded stochastic fluctuations and could therefore be considered statistically significant.

To establish a formal framework for this assessment, a probabilistic model was adopted assuming a normal distribution of yield variability around the expected value.

Dispersion parameters were estimated on the basis of historical yield data obtained from peat casing during earlier studies conducted at the MEXEO enterprise within the BIOMEX research project [Raport INHORT 2021].

Table 2 presents the results of yield assessments obtained from five independent measurement series based on cultivation experiments conducted using standard peat casing under conditions comparable in scale to those of the present study (i.e., 50–100 m² of experimental cultivation area).

Table 2. The yield performance on peat-based casing (archival data) [Raport INHORT 2021]

Series 1 (kg·m ⁻²)	Series 2 (kg·m ⁻²)	Series 3 (kg·m ⁻²)	Series 4 (kg·m ⁻²)	Series 5 (kg·m ⁻²)
13.44	18.89	18.62	14.33	16.57
13.76	15.42	17.58	12.39	17.52
13.96	16.66	–	–	–
15.13	17.98	–	–	–

To establish a basis for the statistical evaluation of variability in the obtained yield results, it was assumed that the most appropriate estimator of variance in this case would be the pooled variance of historical yield data (Table 2), calculated according to Equation (1):

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^5 (n_i - 1) s_i^2}{\sum_{i=1}^5 (n_i - 1)} \quad (1)$$

The comparison of the obtained yield results, and thus the preliminary evaluation of the humus casing material with respect to yield performance, was formulated as a test of a conservative null hypothesis, constructed in accordance with the commonly applied principles of formal statistical inference [Riley and Hobson 2006, Czermański and Iwasiewicz 1989].

The null hypothesis postulated that the yield obtained with humus casing is at most equal to the yield achieved with peat casing (2):

$$H_0: P_{OH} \leq P_{OT} \quad (2)$$

against the alternative hypothesis defined by the strict inequality (3):

$$H_1: P_{OH} > P_{OT} \quad (3)$$

indicating the existence of statistical grounds to assume that yield under humus casing may exceed that obtained under peat casing.

Since yield variance was estimated independently on the basis of archival data and subsequently applied to future single observations, the inference was based on the principles of predictive testing for the estimation of confidence intervals for future observations derived from the variability characteristics of historical data [Hahn 1977, Geisser 1993].

In the applied inference procedure, the test statistic Z defined by Equation (4):

$$Z = \frac{P_{OH} - P_{OT}}{\sigma_\Delta} \quad (4)$$

was adopted as the verification measure for hypotheses (2) and (3). The statistic σ_Δ representing the variance of the difference $\Delta = P_{OH} - P_{OT}$, was estimated in accordance with the principle of variance propagation, where the sources of variability are P_{OH} and P_{OT} (5):

$$\sigma_\Delta = \sqrt{\sigma_{OH}^2 + \sigma_{OT}^2} = \sqrt{2 \cdot \sigma_p^2} = \sigma_p \cdot \sqrt{2} \quad (5)$$

The calculated values of σ_p^2 , σ_p , σ_Δ are respectively 0.98, 0.99 and 1.40.

As the test criterion, the critical quantile value k (6):

$$k_\alpha = \Phi^{-1}(1 - \alpha) \quad (6)$$

corresponding to the adopted significance level $\alpha = 0.05$, was applied, where Φ^{-1} denotes the inverse cumulative distribution function of the standard normal distribution.

The decision rule for rejecting the null hypothesis H_0 , constructed in accordance with the previously described framework, reduces – consistent with the principles of statistical hypothesis testing – to satisfying inequality (7):

$$Z \geq k \quad (7)$$

The values of k were calculated from (8) for $\Phi(1 - 0.05)$

$$\Phi(k) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{k}{\sqrt{2}} \right) \right] \quad (8)$$

Where the symbol $\operatorname{erf}(x)$ denotes an error function given by Equation (9):

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (9)$$

For the adopted significance level ($\alpha = 0.05$) the critical quantile value $k = \Phi^{-1}(0.95)$ calculated according to Equation (8), was equal to 1.64.

The value of the test statistics Z using Equation (4) amounted:

$$Z = \frac{2.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}}{1.40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}} = 1.67 \quad (10)$$

which satisfies the test criterion (7) indicating rejection of the null hypothesis H_0 .

The test result indicates that the observed difference in yield between BiOH and BiOT, equal to $2.34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ in favor of BiOH, exceeds the typical process variability (standard deviation of the difference $\approx 1.40 \text{ kg}$) and is statistically significant in a one-sided test at the level $\alpha = 0.05$ ($Z = 1.67$; $p = 0.047$). This result therefore provides statistical grounds for concluding that yield performance in the BiOH variant was superior to that of BiOT under the defined experimental conditions.

The yield of brown mushrooms obtained using the experimental casing (BrOH) was $17.47 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$, which is $1.13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ lower than the yield recorded for the reference peat-based casing (BrOT).

To assess the statistical significance of the difference in favor of BrOT, an inference procedure analogous to that described above was conducted, adopting the forms of hypotheses H_0 and H_1 as specified in Equations (2) and (3).

The value of Z calculated from Equation (4) amounted:

$$Z = \frac{1.13 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}}{1.40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}} = 0.81 \quad (11)$$

The obtained value Z of the test statistic was clearly lower than the critical quantile value for the test, i.e. $k_{0.05} = 1.64$ indicating that there are no grounds for rejecting the null hypothesis H_0 .

The result of the above one-sided test therefore indicates the absence of a statistically significant difference between the yield values of BrOH and BrOT.

It can thus be concluded that the yield of brown mushrooms obtained from the humus casing, although numerically lower than that recorded for the peat-based casing, falls within the range of natural process variability, and there are no grounds to consider it statistically significantly lower than P_{OT} . Due to the occurrence of green mold infection originating from the substrate after the first flush, yield analysis was not continued for the second flush in the conducted experiment.

Mineral content in mushroom fruit bodies

The results of the analysis of mineral content in white and brown mushroom fruit bodies cultivated on the experimental humus-based casing and on the reference peat-based casing are presented in Tables 3 and 4.

The reported concentration values, expressed as means of three independent measurements, are accompanied by confidence intervals constructed using the Student's *t*-distribution.

Table 3. Mineral content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry weight) in mushroom fruit bodies (first flush)

Shelf	Se ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Fe ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Ca ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Moisture content (%)
BiOH	2.82 \pm 0.70	49.20 \pm 1.40	59.0 \pm 1.5	1550 \pm 20	13100 \pm 200	18900 \pm 300	90.6 \pm 0.3
BiOT	3.65 \pm 0.67	50.30 \pm 1.50	241 \pm 10	1670 \pm 20	13300 \pm 400	24500 \pm 900	91.5 \pm 0.5
BrOH	2.96 \pm 0.75	66.90 \pm 2.40	390 \pm 14	1780 \pm 30	13500 \pm 300	20200 \pm 500	90.7 \pm 0.2
BrOT	3.13 \pm 0.26	50.00 \pm 2.30	278 \pm 30	1600 \pm 10	12300 \pm 400	22600 \pm 600	91.8 \pm 0.2

Table 4. Mineral content ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry weight) in mushroom fruit bodies (second flush)

Shelf	Se ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Fe ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Ca ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Mg ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	K ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.)	Moisture content (%)
BiOH	3.72 \pm 0.27	68.10 \pm 2.60	173 \pm 2	2360 \pm 20	12900 \pm 100	20100 \pm 1000	91.6 \pm 0.5
BiOT	2.04 \pm 0.08	68.50 \pm 1.50	238 \pm 7	2330 \pm 40	12800 \pm 600	29200 \pm 1500	91.8 \pm 0.4
BrOH	3.09 \pm 0.34	97.50 \pm 1.60	338 \pm 10	2200 \pm 50	13400 \pm 200	18200 \pm 100	91.6 \pm 0.3
BrOT	2.39 \pm 0.20	63.50 \pm 0.60	178 \pm 2	2280 \pm 30	12900 \pm 800	26900 \pm 900	92.9 \pm 0.5

The results of mineral content determinations in white and brown mushroom fruit bodies obtained in the first flush from the experimental humus casing (BiOH, BrOH) and the reference peat-based casing (BiOT, BrOT) indicate that selenium concentrations ranged from 2.82 to 3.65 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ dry weight (d.w.), with no clear differences observed between casing types or mushroom strains.

Iron content was higher in brown mushrooms (66.9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w., BrOH) than in white mushrooms (approximately 49–50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.).

Calcium levels showed marked variation among the variants – particularly high in BrOH (390 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.) and lowest in BiOH (59 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.).

Magnesium and phosphorus concentrations remained at comparable levels across variants; for phosphorus, values ranged from 13.000 to 13.500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.

The highest absolute concentrations among the analyzed elements were recorded for potassium (18.900–24.500 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.), with the maximum value observed in the BiOT variant.

In the second flush, the range of variability differed partially. Selenium content was higher in the humus casing variants (3.09–3.72 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.) than in the peat-based variants (2.04–2.39 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ d.w.).

Iron reached higher values in brown mushrooms (up to 97.5 mg·kg⁻¹ d.w. in BrOH) compared with white mushrooms (approximately 68 mg·kg⁻¹ d.w.).

Calcium again exhibited pronounced differences between strains and casing variants, with the highest value recorded in BrOH (338 mg·kg⁻¹ d.w.).

Magnesium and phosphorus remained at relatively stable levels, ranging from 2200 to 2360 mg·kg⁻¹ d.w. (Mg) and from 12.800 to 13.400 mg·kg⁻¹ d.w. (P), respectively.

As in the first flush, the highest absolute concentrations were observed for potassium (18.200–29.200 mg·kg⁻¹ d.w.), with the maximum value recorded in the BiOT variant.

In both flushes, potassium was the quantitatively dominant element. Phosphorus and magnesium showed relatively stable concentrations across variants, whereas calcium and iron displayed more pronounced variation between strains and casing types.

In all cases, water content was similar and exhibited limited variability between variants, remaining within the range of 90.6–92.9% (w/w) in the fruit bodies.

The differences observed between the first and second flush indicate inter-flush variability, particularly evident for selenium, iron, and potassium.

To quantitatively assess the capacity of the experimental humus casing material to enhance the accumulation of key mineral components relative to peat-based casing, an index of relative increase in mineral content was defined for the purposes of this evaluation, as expressed in Equation (12):

$$\Delta_{rel}w_i = \frac{w_i^{OH} - w_i^{OT}}{w_i^{OT}} \cdot 100\% \quad (12)$$

representing a measure of the percentage increase (positive or negative) in the accumulation capacity of mineral components.

The estimation of the variability interval of the index defined by Equation (12), due to the mathematical properties of its functional form, required a separate analytical approach.

It should be noted that for statistics defined as a ratio of random variables, classical linear approximation may lead to substantial amplification of the uncertainty associated with the denominator.

Under conditions of small sample size and moderate variability, this may result in overestimation of the variance – and consequently the standard deviation – sometimes by several orders of magnitude relative to the mean, as well as in asymmetric confidence intervals.

To stabilize the estimation of uncertainty associated with the relative change in microelement content, an approach based on the logarithm of the ratio of means (log response ratio, lnRR) was applied. This method is widely used for estimating effect sizes for multiplicative quantities in biological meta-analyses [Hedges and Gurevitch 1999, Lajeunesse 2011].

The application of logarithmic (log-ratio) transformation is recommended for ratio-type variables, as it limits the amplification of denominator uncertainty and provides more reliable confidence interval coverage under small sample conditions.

Following the adopted methodology, Equation (12) was transformed into an algebraically equivalent ratio form Equation (13):

$$\frac{w_i^{OH}}{w_i^{OT}} = \Delta_r w_i + 1 \quad (13)$$

As a consequence of the adopted analytical approach, the variability of the index defined by Equation (12) (was estimated by evaluating the variance propagation of the logarithmic expression Equation (14):

$$L = \ln \frac{w_i^{OH}}{w_i^{OT}} \quad (14)$$

based on the well-established rule of variance propagation described in Equation (15):

$$s_L^2 = \left(\frac{\partial L}{\partial w_i^{OH}} \right)^2 s_{w_i^{OH}}^2 + \left(\frac{\partial L}{\partial w_i^{OT}} \right)^2 s_{w_i^{OT}}^2 \quad (15)$$

Thus

$$s_L^2 = \frac{s_{c_i^{OH}}^2}{(w_i^{OH})^2} + \frac{s_{c_i^{OT}}^2}{(w_i^{OT})^2} \quad (16)$$

The confidence interval limits of $\Delta_r c_i$ were calculated from Equation (17):

$$\Delta_r w_i^{G,D} = e^{L^{G,D}} - 1 \quad (17)$$

where:

$$L^{G,D} = L \pm t_{\alpha, \nu_{ef}} \cdot \frac{s_L}{\sqrt{n}} \quad (18)$$

The value of the parameter $t_{\alpha, \nu_{ef}} = 2.871$ from the Student's t-distribution, appearing in Equation (18) was determined by interpolation assuming a significance level of $\alpha = 0.05$ and an effective number of degrees of freedom $\nu_{ef} = 3.69$ calculated using the Welch-Satterthwaite equation [JCGM (GUM) 2008], taking into account the differential expressions appearing in Equation (15).

The calculated values of the relative increase indices for mineral content in the fruit bodies of the investigated white and brown mushroom strains, for two harvests (flushes) and depending on casing type (OH vs. OT), are presented graphically in Figures 2 (first flush) and 3 (second flush).

Figure 2. Relative increase indices of mineral concentrations in fruit bodies cultivated on experimental (humus) casing vs. peat-based casing (first flush)

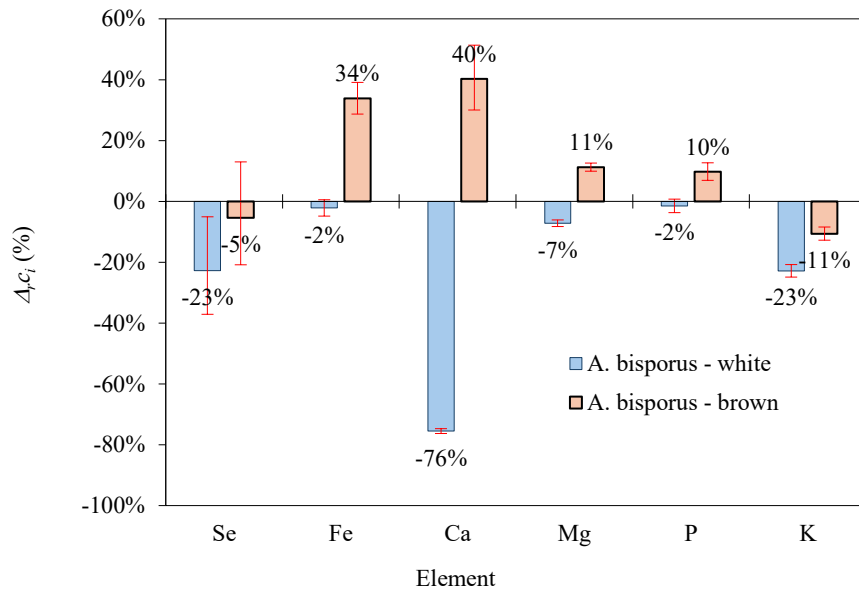
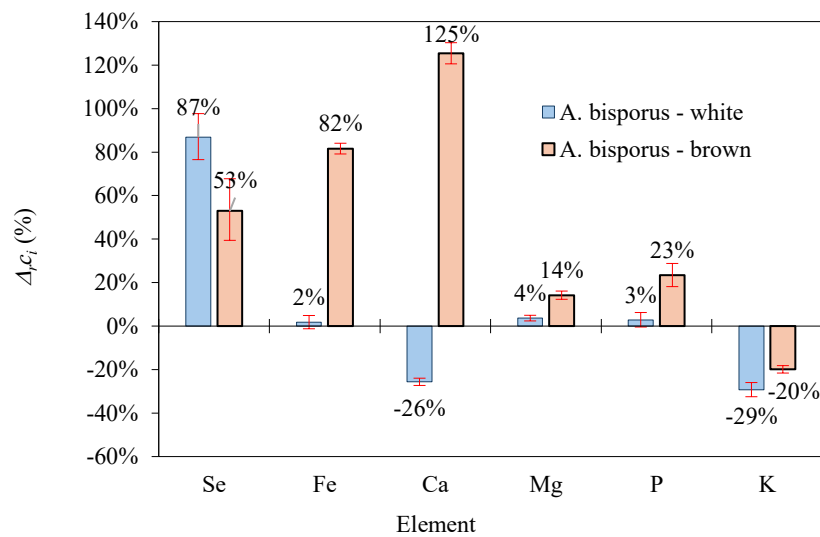


Figure 3. Relative increase indices of mineral concentrations in fruit bodies cultivated on experimental (humus) casing vs. peat-based casing (second flush)



In the first flush, the application of humus casing (OH) generally led to a reduction in the concentrations of most analyzed elements relative to peat-based casing (OT).

The most pronounced effect concerned calcium (Ca), for which a strong relative decrease (-76%) was observed, with a very narrow confidence interval (-76% to -75%), clearly excluding random variation. The magnitude of the change in Ca content between the white and brown strains may suggest a substantial modification in the mechanisms of Ca uptake or distribution in the compared cases.

A significant reduction in concentration was also observed for selenium (Se: -23%), potassium (K: -23%), and magnesium (Mg: -7%). In each of these cases, the confidence intervals did not include zero, indicating an effect exceeding random variability.

For iron (Fe: -2%) and phosphorus (P: -2%), the confidence intervals included zero, indicating no statistically distinguishable change relative to peat casing.

In summary, the first flush in the white strain was characterized by a predominance of reduction effects, particularly pronounced for Ca and K in fruit bodies cultivated on humus casing compared to peat-based casing.

In contrast to the white strain, the brown strain in the first flush exhibited a predominance of positive effects. This pattern could potentially serve as an indicative marker of mushrooms cultivated under organic conditions using humus casing; however, this issue requires further analysis of absolute elemental concentrations depending on casing type, based on a broader experimental dataset.

A clear increase in concentration was observed for Ca ($+40\%$), Fe ($+34\%$), Mg ($+11\%$), and P ($+10\%$). In all cases, the confidence intervals were entirely positive and did not include zero, indicating a systematic and statistically significant increase in the concentrations of these elements under humus casing conditions.

For Se (-5% , CI: -21% to 13%), the confidence interval included zero, indicating the absence of a conclusive effect. Potassium showed a moderate but statistically significant decrease (-11%).

Particularly noteworthy was the opposite response of calcium between the two strains, which may suggest strain-specific differences in the regulation of ion homeostasis.

In the second flush, a marked shift in the response profile was observed. For the white strain, a pronounced increase in selenium concentration was recorded ($+87\%$). Moderate but statistically significant increases were observed for Mg ($+4\%$) and P ($+3\%$), although in the case of P the effect was borderline. For Fe ($+2\%$), the confidence interval of the index included zero, indicating statistically indistinguishable accumulation properties of the white strain under peat and humus casing conditions.

At the same time, a clear decrease in Ca (-26%) and K (-29%) persisted, suggesting a sustained modification of macronutrient balance under humus casing conditions.

The brown strain in the second flush exhibited the strongest positive effects observed in the entire study. Calcium concentration increased by +125%, Fe by +82%, Se by +53%, Mg by +14%, and P by +23%.

All these effects were unequivocally positive and clearly exceeded the range of random variability, demonstrating high statistical significance. Potassium remained the only element with a consistently negative change (–20%).

From a general perspective, several recurrent patterns can be identified. Potassium content showed a stable decrease in both strains and in both flushes, representing the most consistent trend across the entire dataset. In contrast, calcium content exhibited a strong strain-dependent response, characterized by a sustained decrease in the white strain and a marked increase in the brown strain.

The second flush was characterized by an intensification of positive effects, particularly in the brown strain, which may indicate the influence of temporal factors, changes in nutrient availability within the substrate, or cumulative effects.

Cases in which the confidence intervals included zero (Fe and P in the first flush for the white strain; Se in the first flush for the brown strain; Fe in the second flush for the white strain; and borderline P in the second flush for the white strain) should be interpreted as effects indistinguishable from random variability.

Overall, the application of humus casing resulted in clear, strain-dependent modifications of mineral accumulation patterns.

The obtained results indicate that the use of humus casing (OH) as an alternative to conventional peat-based casing (OT) does not lead to deterioration of raw material quality with respect to the analyzed mineral composition. The observed changes were selective in nature and dependent on both mushroom strain and flush (harvest), suggesting a complex interaction between casing type and mycelial physiology.

In particular, a distinctly favourable effect of OH application was observed in the brown strain. In both flushes, an increase in the concentration of most analyzed elements was recorded, with the effect markedly intensified in the second flush. This was especially evident for calcium, iron, and selenium, for which the relative increases were high and clearly exceeded the range of random variability. Such a strong and repeatable response suggests that humus casing may enhance the bioavailability of selected mineral components or modify their uptake and translocation mechanisms within the fruit body.

In the case of the white strain, the response was more heterogeneous. In the first flush, reduction effects predominated, particularly for calcium and potassium; however, in the second flush a clear improvement was observed, including a pronounced increase in selenium concentration and moderate but positive changes for magnesium and phosphorus.

It is noteworthy that the second flush was characterized by a general intensification of positive effects, which may indicate dynamic changes in nutrient availability over the course of the production cycle.

It is possible that the physicochemical properties of the humus casing – such as higher biological activity or a different ion-buffering capacity – reveal their full potential during the later stages of fruiting.

It is also important to note that some of the observed differences were indistinguishable from random variability, further confirming the absence of a systematic negative effect associated with the use of OH. This indicates that, within the analyzed scope, no unequivocal evidence of reduced mineral quality of the fruit bodies under humus casing conditions was identified.

From an overall perspective, humus casing exhibits properties comparable to peat-based casing and, in the case of the brown strain, distinctly favourable effects.

The obtained results suggest that OH not only does not represent an inferior solution, but under certain genotypic and technological configurations may offer additional benefits associated with enhanced accumulation of selected mineral components.

From both practical and environmental standpoints, this aspect acquires particular significance. As noted in the introduction, peat is a non-renewable resource on a technological timescale, and its extraction exerts pressure on peatland ecosystems. In this context, the development of alternative casing materials, such as compost-based humus casing, aligns with the concept of sustainable intensification of horticultural production.

The results of the present study provide a rationale for continued research and development aimed at optimizing the composition and technological parameters of OH.

It may be anticipated that further investigations – encompassing a greater number of production cycles, detailed analysis of physicochemical casing properties, and assessment of interactions with microclimatic parameters – will enable a more comprehensive understanding of the mechanisms underlying the observed differences. In particular, further exploration of calcium homeostasis and potential ionic antagonisms, which may differentiate strain-specific responses, appears especially warranted.

In summary, humus casing emerges as a material with tangible application potential, whose properties are not inferior to those of traditional peat-based casing and may, under certain conditions, surpass them. The obtained results constitute a solid basis for further research and technological refinement toward practical implementation and market introduction.

SUMMARY

The conducted study aimed to verify the feasibility of applying compost-based humus casing as an alternative to conventional peat-based casing in *A. bisporus* cultivation technology.

Both production aspects, expressed in terms of yield performance, and raw material quality, assessed on the basis of mineral composition of fruit bodies from two mushroom strains (white and brown) across two successive flushes, were analyzed.

The obtained results indicate that the application of humus casing leads to yield performance at least equivalent to that achieved with peat-based casing.

In the case of the white strain, a statistically significant increase in yield was observed in the first flush, whereas for the brown strain, differences in yield remained within the range of natural process variability, providing grounds to consider humus casing equivalent in terms of productivity.

Analysis of mineral composition demonstrated that the effect of casing type on mineral accumulation is selective and dependent on both mushroom strain and flush.

Particularly favourable effects of humus casing application were observed in the brown strain, for which clear increases in the concentrations of most analyzed elements – including calcium, iron, and selenium – were recorded in both flushes, especially in the second flush.

In the white strain, the response was more heterogeneous; however, even in this case, no unequivocal evidence of reduced mineral quality of the fruit bodies under humus casing conditions was identified.

The results of the second flush, characterized by a general intensification of positive effects, suggest that the properties of humus casing may become more fully expressed in the later stages of the production cycle. This phenomenon may be associated with dynamic changes in mineral availability and the biological activity of the cultivation substrate.

These observations support the rationale for further investigations encompassing a greater number of production cycles, as well as detailed analyses of the physiological and environmental mechanisms determining mushroom responses to alternative casing materials.

Overall, the obtained results confirm that compost-based humus casing constitutes a material with properties superior or comparable to those of traditional peat-based casing and, under certain conditions – particularly in the cultivation of brown mushrooms – may exhibit distinctly advantageous characteristics.

In the context of the finite availability of peat, increasing regulatory pressure, and rising environmental requirements, the findings of the present study provide an important premises for the implementation of peat-free technologies in mushroom production.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express their sincere gratitude to Mr. Piotr Pasoń, owner of the Grzybek – mushroom farm (Opole, Poland), for enabling the experiment to be conducted under commercial production conditions and for his technical assistance. We also extend our thanks to the MCBR UO (International Research and Development Center of the University of Opole, Poland) for performing the chemical and laboratory analyses.

REFERENCES

- Czermiński J.B., Iwasiewicz A., Paszek Z., Sikorski A., 1989. Statistical methods in applied chemistry. Elsevier, Amsterdam. [https://doi.org/10.1016/0039-9140\(92\)80061-H](https://doi.org/10.1016/0039-9140(92)80061-H)
- European Commission, 2019. The European Green Deal. Brussels. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640> [accessed: 10.02.2026].
- Geisser S., 1993. Predictive Inference. Chapman and Hall/CRC, New York, 7. <https://doi.org/10.1201/9780203742310>
- Goglio P., Ponsioen T., Carrasco J. et al., 2025. Environmental impact of peat alternatives in growing media for European mushroom production. *Sci. Total Environ.* 964, 178624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.178624>
- Hahn G.J., 1977. Prediction intervals for a normal distribution. *Technometrics* 19(2), 131–134.
- Hedges L.V., Gurevitch J., Curtis P.S., 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. *Ecology* 80(4), 1150–1156. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1999\)080\[1150:TMAORR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1999)080[1150:TMAORR]2.0.CO;2)
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM), 2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 73–74.
- Kayzer, D., 2017. Stan oraz perspektywy rozwoju branży pieczarkarskiej w Polsce. *Zesz. Stud. Nasze Studia* 8, 230–238.
- Lajeunesse M.J., 2011. On the meta-analysis of response ratios for studies with correlated multi-group designs. *Ecology* 92(11), 2049–2055. <https://doi.org/10.1890/11-0423.1>
- Peat-based casing, 2025. Afirma Sp. z o.o., <https://afirma.com.pl/peat.html> [accessed: 21.01.2026].
- Pawłowska M., Wysocka A., 2013. Laboratorium: Gleboznawstwo i rekultywacja. Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, 36 pp., https://wis.pollub.pl/fcp/NPREgARcJNScXKxEMUA9DBXpjWXdfEjNQZ18Qc21XdAV0fWRfMR0fQWp-mExhaRFBaEI5HhwxFOI2AwwPRW11CA/_users/code_iMR0nHBIXPzMKFwIoAloNWz4jWyVZ/skrypty/gleby.pdf [accessed: 26.01.2026].
- PN-ISO 11465:1999. Jakość gleby – Oznaczanie zawartości suchej masy gleby i wody w glebie w przeliczeniu na suchą masę gleby – Metoda wagowa.
- Pudełko K., 2015. Studia nad produkcją kompostu i jego wpływ na plon *Agaricus bisporus* (Lange) Imbach. *Rozprawy Naukowe* 482, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.
- Raport INHORT, 2021. Projekt POIR.01.01-00-0829/16 (BIOMEX) „Innowacyjna, mykoselektywna okrywa oraz podłoże do uprawy pieczarek”. Etap 2.5. Badania technologiczno-aplikacyjne preparatu bioaktywnego BIOMEX w warunkach uprawowych w skali 50 do 100 m². Mexeo, Kędzierzyn-Koźle. Unpublished materials.
- Riley K.F., Hobson M.P., Bence S.J., 2006. *Mathematical methods for physics and engineering*. Cambridge University Press, New York.
- Sakson N., 2023. Okrywa bez torfu – między przeszłością a przyszłością. *Biul. Prod. Piecz.* 4, 16–26.
- Sakson N., 2025. Alternatives to peat in the context of the Green Deal. *Mush. Business* 129 (February), 46–50.
- Sakson N., Hreczuch W., 2025. Wyzwania branży pieczarkarskiej w Polsce oraz jej rozwój przez badania i innowacje. *Ann. Hortic.* 34(2), 5–26. <https://doi.org/10.24326/ah.2025.5567>
- Skreczko S., Trepka W., 2016. Torf – naturalne laboratorium chemiczne. *Wszecławiat* 117(4–6), 132–137.
- Szumigaj-Tarnowska J., Uliński Z., 2023. Alternatywne zamienniki okrywy torfowej. *Biul. Prod. Piecz.* 3, 54–61.
- Walkowiak K., 2025. Polska w czołówce producentów i eksporterów pieczarek w UE. *Porad. Handl.* <https://poradnikhandlowca.com.pl/artykuly/polska-w-czolowce-producentow-i-eksporterow-pieczarek-w-ue/> [accessed: 10.02.2026].
- Patent application P.452691, 2025. Okrywa humusowa, sposób wytwarzania okrywy humusowej i zastosowanie okrywy humusowej do uprawy, Afirma, Wojnowo.
- Żebrowska M.K., Kociołek-Balawejder E., 2010. Torf – obecne i perspektywiczne kierunki wykorzystania. *Pr. Nauk. UE Wroc.* 92 (Nauki Inż. Technol. 2), 166–188.

Funding: This research was financed by the internal funds of Mexeo, 9 Energetyków St., 47-225 Kędzierzyn-Koźle, Poland and Afirma Sp. z o.o., Wojnowo, 62-095 Murowana Goślina, Poland.

Otrzymano/Received: 9.03.2026
Zaakceptowano/Accepted: 3.06.2026
Opublikowano/Published: 7.07.2026

Citation: Sakson N., Chruściel A., Pinkowski F., Wałek-Nawratek K., Frankowski P., Guziłowska-Tic J., Hreczuch W., 2026. Local plant biomass and biodegradable organic waste-derived compost as a sustainable alternative to peat in casing layers for *Agaricus bisporus* cultivation. *Ann. Hortic.* 35(1), 47–64. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5678>

DOMINIKA GAWIDZIEL¹, KATARZYNA KOZŁOWICZ², GRZEGORZ MAJ³
KAMILA E. KLIMEK⁴, MAGDALENA KAPŁAN⁵

Ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych

Quality assessment of frozen vegetable mix stored refrigerated

Abstrakt. Mrożone mieszanki warzywne zyskały w ostatnich latach na znaczeniu, co dodatkowo uwypuklił kryzys związany z pandemią COVID-19, zwiększając zapotrzebowanie na produkty o długiej trwałości przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej wartości odżywczej. Celem pracy była analiza fizykochemiczna wybranych warzyw (marchew, groszek zielony, fasola zielona cięta, kalafior, brokuł) poddanych procesowi mrożenia i przechowywania zamrażalniczego. Próby przechowywano przez okres 3 miesięcy w temperaturze -30°C . Wykazano, że czas składowania nie wpłynął znacząco na zawartość suchej masy w porównaniu z surowcem świeżym. Stwierdzono jednak, że wraz z upływem czasu następuje pogorszenie cech teksturalnych (spadek twardości) oraz zwiększenie wycieku rozmrażalniczego, co wskazuje na zmiany strukturalne zachodzące w tkankach roślinnych mimo głębokiego mrożenia.

Słowa kluczowe: mrożona mieszanka warzywna, analiza fizykochemiczna, tekstura, wyciek rozmrażalniczy

WSTĘP

W Polsce rynek produktów mrożonych z roku na rok wzrasta bardzo dynamicznie. Produkowane i sprzedawane są mieszanki warzywne, mieszanki owocowe, warzywa i owoce pakowane pojedynczo, np. szpinak, brokuł, truskawki, jagody, jak również ryby, dania gotowe czy wyroby mączne. Oferta produktów mrożonych stale się powiększa, są popularne nie tylko w Polsce, ale również za granicą. Konsumenty cenią sobie żywność, która jest łatwa i szybka w przygotowaniu a jednocześnie zdrowa [Markowska 2025a]. Wpływa na to zmiana modelu żywienia i preferencje konsumenta. W literaturze można znaleźć wiele różnych definicji zachowania konsumenta uwydatniających jego różne aspekty. Szucki [1998] definiuje, iż zachowania konsumentów dotyczą działań zmierzających do kupowania i korzystania z zakupionych produktów, łącznie z mechanizmami psychologicznymi i socjologicznymi poprzedzającymi te działania oraz następujące po nich.

Powiększa się rynek mrożonek wszystkich rodzajów, tj. warzyw na patelnię, mrożonych mieszanek warzywnych, mrożonych owoców. W okresie letnim poddawanych mrożeniu jest najwięcej warzyw i owoców ze względu na ich zbiory i sezonowość. Mrożonki są doskonałym uzupełnieniem diety

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0009-0003-5831-5363>

² Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-1922-7577>

³ Katedra Energetyki i Środków Transportu, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0001-9052-6265>

⁴ Katedra Zastosowań Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0001-6638-894X>; autor korespondencyjny: kamila.klimek@up.edu.pl

⁵ Instytut Produkcji Ogrodniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Głęboka 28, 20-612 Lublin, Polska, <https://orcid.org/0000-0002-3833-9275>



– proces zamrażania umożliwia zachowanie wartości odżywczej produktów oraz szybkość i wygodę ich wykorzystania. Mrożonki należą również do grupy żywności wygodnej ze względu na szybką obróbkę kulinarną przed ich podaniem [Adamczyk 2010].

Krótki termin przydatności do spożycia świeżych płodów rolnych wymusza stosowanie metod konserwacji, gdyż większość owoców i warzyw naturalnie odznacza się niską trwałością po zbiorach [Fang i Wakisaka 2021]. Mrożenie warzyw to jeden z wielu sposobów na ich utrwalenie. Metoda ta jest bardzo bezpieczna i najkorzystniejsza pod względem biologicznym. Proces pozwala zachować wartości odżywcze zbliżone do warzyw świeżych, zapobiega psuciu się oraz namnażaniu mikroorganizmów. Utrwalanie jest najczęściej powiązane z przetwarzaniem owoców i warzyw, co poza zabezpieczeniem przed nadmiernymi stratami składników pożądanymi daje dodatkowe korzyści, między innymi zwiększenie asortymentu produktów czy łatwiejsze przygotowanie ich do spożycia [Grabowska 2014, Krzysztofik i in. 2015, Li i in. 2017, Grover i in. 2023].

Rynek mrożonek od kilku lat ma tendencję wzrostową, co świadczy o rosnącym zainteresowaniu tymi produktami wśród polskich konsumentów. Ilościowo mrożone warzywa i owoce to największa kategoria produktów mrożonych stanowiąca ponad 30% całości rynku. Sezon na mrożone warzywa i owoce przypada na okres od listopada do kwietnia, jednak obecnie mrożonki przestają być produktem sezonowym, a stają się wygodnym rozwiązaniem całorocznym [Portalspozywczy.pl 2016]. Istotne jest również ich pochodzenie, czyli pozyskanie ich od zaufanych dostawców [Kapusta 2017]. Dzięki mrożonkom można ułatwić sobie planowanie posiłków na cały tydzień. Naprzeciw potrzebom konsumentów wychodzą zakłady przetwórstwa spożywczego, które zajmują się produkcją gotowych wyrobów mrożonych. Do tego celu potrzebne są linie technologiczne. Ich zastosowanie pozwala zdecydowanie przyspieszyć proces produkcji. Na linię produkcyjną składa się szereg maszyn i urządzeń wraz ze stanowiskami pracy dla ludzi, pogrupowanych tak, aby zachować logiczny ciąg produkcyjny „od pola do stołu” [Markowska 2025b].

Przechowywanie chłodnicze mieszanki warzyw powoduje istotne zmiany fizykochemiczne. Wydłużenie czasu przechowywania chłodniczego prowadzi do zmiany twardości warzyw oraz wystąpienia tzw. ususzek [Grabowska 2020]. A kryształki lodu powstające podczas procesu zamrażania uszkadzają komórki warzyw i generują dużą ilość wycieku podczas rozmrażania [Li 2018, Sawada i Fukuda 2018, Ruciński i Stopińska 2019].

Celem pracy była ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych przez okres 3 miesięcy. Zostały przeprowadzone badania na temat zawartości suchej masy, wycieku rozmrażalniczego oraz ocena właściwości teksturalnych.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym była mrożona mieszanka warzywna przechowywana w warunkach chłodniczych. W jej skład wchodziły następujące warzywa: marchew kostka 10 x 10 x 10 mm, groszek zielony, fasola zielona cięta, różyczki kalafiora o kalibrze 10–40 mm, różyczki brokołu o kalibrze 10–40 mm. Mieszanka warzywna została sporządzona z warzyw marki Hortex.

Próby przechowywano przez okres 3 miesięcy. Przeprowadzono 8 prób, w co najmniej 3 powtórzeniach. Do analizy próby pobierano w pierwszym (próbka zerowa), 7, 14, 21, 28, 42, 56 i 87 dniu przechowywania w warunkach chłodniczych w temperaturze -30°C .

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie, wykorzystując program Excel. Wszystkie analizy wykonano w co najmniej 3 powtórzeniach. Obliczano wartości średnie określanych parametrów oraz odchylenie standardowe. Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji przy poziomie istotności 0,05.

Zawartość suchej masy w warzywach oznaczono metodą suszarkową. Polega ona na odważeniu 5 g rozdrobnionego surowca do naczynka wagowego z dokładnością do 0,001 g. Próby suszono w suszarce laboratoryjnej FN500 o temperaturze 130°C przez 3 h. Po ostudzeniu próby ponownie ważono. Oznaczenie wykonano w 3 powtórzeniach. Procentową zawartość suchej substancji X obliczono według wzoru [Krełowska-Kułas 1993]:

$$X = \frac{(c - b)}{(a - b)} \cdot 100\%$$

gdzie:

a – masa naczynka z ważonym warzywem przed suszeniem (g)

b – masa pustego naczynka (g)

c – masa naczynka z ważonym warzywem po wysuszeniu (g).

Do oznaczenia wycieku rozmrażalniczego próby odpowiednio przygotowano. Po wyjęciu z zamrażarki zostały zważone, opisane i położone do swobodnego rozmrażania przez mniej więcej 3 h, w temperaturze pokojowej 20–22°C. Wielkość wycieku rozmrażalniczego określa się jako różnicę masy próby przed rozmrożeniem i po rozmrożeniu według wzoru [Pukszta i Palich 2007]:

$$\text{Wyciek rozmrażalniczy} = \frac{(\text{masa próby zamrożonej} - \text{masa próby rozmrożonej})}{\text{masa próby zamrożonej}} \cdot 100$$

Ocenę twardości warzyw rozmrożonych (brokuł, kalafior, marchewka, groszek, fasolka) przeprowadzono, wykonując test cięcia na urządzeniu wytrzymałościowym LFRA Texture Analyzer firmy Brookfield. Test cięcia przeprowadzono, wykorzystując nóż o kącie 30°, z zachowaniem następujących parametrów:

- siła inicjacji 0,196 N,
- szybkość przesuwu stożka 1,5 mm/s,
- deformacja 70%.

WYNIKI I DYSKUSJA

Charakterystyka zawartości suchej masy

Woda jest jednym z podstawowych składników decydujących o właściwościach fizykochemicznych żywności, np. teksturze, i bierze udział w reakcjach biochemicznych [Kumirska i in. 2010]. Warzywa cechuje wysoka zawartość wody, a co za tym idzie – niska zawartość suchej masy [Ievinsh 2023].

W tabelach 1–5 przedstawiono zawartość suchej masy w marchwi – kostce 10 x 10 x 10, groszku zielonym, fasoli ciętej zielonej, różyczkach kalafiora i brokułu o kalibrażu 10–40 zamrożonych. Oznaczenia wykonano w 3 powtórzeniach przez 87 dni.

Tabela 1 przedstawia wyniki badań nad zmianami zawartości suchej masy w mrożonej marchewce. Wartości ulegają wahaniom, widoczny jest ogólny trend wzrostowy zawartości suchej masy w czasie. W pierwszym dniu przechowywania zawartość suchej masy wynosiła 8,03%, natomiast po 87 dniach przechowywania 10,90%, co oznacza przyrost 2,87 punktu procentowego w badanym okresie. Przedstawione wyniki dowodzą, że długotrwałe przechowywanie mrożonej marchwi prowadzi do koncentracji suchej masy, co jest wynikiem postępującej straty wilgoci z produktu.

Tabela 1. Zawartość suchej masy w marchewce mrożonej w zależności od czasu przechowywania
Table 1. Dry matter content in frozen carrots depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,03	0,86	0,73
7	9,39	0,07	0,01
14	8,94	0,90	0,81
21	7,94	0,54	0,29
28	10,44	1,20	1,44
42	8,62	0,29	0,08
56	9,11	0,58	0,34
87	10,90	0,17	0,03

Analiza zawartości suchej masy w mrożonej fasoli wykazała dużą stabilność w czasie przechowywania, czego dowodzą wyniki przedstawione w tabeli 2. Zawartość suchej masy mieściła się w zakresie 8,11–10,29%. Struktura fasoli może lepiej chronić przed utratą wody w pierwszych tygodniach mrożenia. Wynik uzyskany w 14 dniu przechowywania znacząco odbiega od pozostałych prób, co może sugerować błąd pomiarowy lub niejednorodność materiału biologicznego użytego do badania. Pomijając anomalię z dnia 14, w całym okresie badań nastąpił niewielki wzrost, o około 0,94% suchej masy, co świadczy o powolnej utracie wody.

Groszek mrożony charakteryzował się największą zawartością suchej masy, osiągając średni poziom 24%, co przedstawiono w tabeli 3. W badanym okresie nie odnotowano istotnych zmian tego parametru, co świadczy o wysokiej stabilności fizykochemicznej tego produktu. Jednak duże odchylenia standardowe wskazują na niejednorodność surowca, prawdopodobnie wynikającą ze zróżnicowanej dojrzałości nasion groszku.

Tabela 2. Zawartość suchej masy w fasoli mrożonej w zależności od czasu przechowywania
Table 2. Dry matter content in frozen beans depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	9,35	1,27	1,62
7	8,67	0,91	0,82
14	16,77	1,17	1,38
21	9,07	0,45	0,20
28	9,76	0,36	0,13
42	8,11	1,34	1,79
56	10,29	0,77	0,59
87	9,73	0,71	0,51

Tabela 3. Zawartość suchej masy w groszku mrożonym w zależności od czasu przechowywania
Table 3. Dry matter content in frozen peas depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	23,99	1,21	1,47
7	23,08	4,03	16,21
14	21,84	3,46	11,95
21	25,85	3,01	9,05
28	23,57	2,67	7,10
42	23,26	1,26	1,58
56	25,94	3,30	10,87
87	24,47	3,19	10,16

Kalafior mrożony (tabela 4) charakteryzuje się dość niską zawartością suchej masy, z wartościami oscylującymi w zakresie 4,73–8,97%. Odnotowano wyraźny spadek tego parametru w czasie przechowywania, co może wskazywać na dużą podatność tkanek kalafiora na zmiany fizykochemiczne spowodowane niską temperaturą.

W przypadku brokułów mrożonych (tabela 5) zawartość suchej masy wykazała tendencję wzrostową w trakcie 87-dniowego przechowywania, zwiększając się z 7,31% do 8,64%. Zjawisko to przypisuje się postępującej sublimacji lodu z tkanki roślinnej [Wiktor i in. 2015].

Analizując wyniki przedstawione w tabelach, można zauważyć, że wraz ze wzrostem czasu przechowywania w warunkach chłodniczych zawartość suchej masy w każdym z warzyw tylko nieznacznie się różni od jej zawartości w próbie świeżej. Największą zawartością suchej masy charakteryzował się groszek mrożony, średnio 25,94%. Najmniejszą zawartością suchej masy a jednocześnie największą zawartością wody charakteryzował się kalafior. Podczas przechowywania chłodniczego w stanie zamrożonym warzyw czy owoców może występować tzw. ususzka, która powoduje ubytek wody i zwiększenie zawartości suchej masy. Do celów przetwórstwa spożywczego najbardziej stabilnym surowcem pod kątem zachowania proporcji składników wydaje się być groszek. Kalafior i brokuł wymagają najbardziej restrykcyjnych warunków przechowywania ze względu na niską suchą masę i ryzyko szybkiej utraty jakości sensorycznej.

Tabela 4. Zawartość suchej masy w kalafiorze w zależności od czasu przechowywania
Table 4. Dry matter content in cauliflower depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,97	0,25	0,06
7	6,12	0,43	0,18
14	6,16	0,28	0,08
21	5,44	1,06	1,13
28	7,23	0,34	0,12
42	4,73	0,42	0,18
56	6,55	0,23	0,06
87	8,07	0,24	0,06

Tabela 5. Zawartość suchej masy w brokole w zależności od czasu przechowywania
Table 5. Dry matter content in broccoli depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Zawartość suchej masy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	7,31	0,17	0,03
7	5,83	1,75	3,06
14	8,49	0,19	0,04
21	7,99	0,26	0,07
28	8,07	0,45	0,21
42	8,55	0,97	0,94
56	6,72	0,97	0,95
87	8,64	0,51	0,26

Wielkość wycieku rozmrażalniczego z warzyw

Zamrażanie, pomimo powszechnie uznanych zalet, oprócz wysokich nakładów energetycznych powoduje szereg trudnych do uniknięcia niekorzystnych zmian właściwości warzyw, do których należy zaliczyć m.in. stratę masy podczas rozmrażania (wyciek rozmrażalniczy), częściową utratę charakterystycznego zapachu i tworzenie obcego posmaku czy zmianę barwy powierzchni [Grover i in. 2023,

Acheampong 2025]. Wskaźnikiem odwracalności zmian spowodowanych obróbką zamrażalniczą produktów o budowie tkankowej jest wielkość wycieku rozmrażalniczego [Wu i in. 2021]. Wszystkie zmiany spowodowane są specyficznymi właściwościami produktów i niedoskonałością procesów zamrażania oraz przechowywania. Powolne zamrażanie do temperatury -8°C do -12°C sprzyja powstawaniu dużych kryształów lodu w produkcie i uszkodzeniom tkanek, co w czasie rozmrażania może skutkować utratą soków tkanki produktu [Góral i in. 2013]. Poniżej, w tabelach, przedstawiono wielkość wycieku rozmrażalniczego mieszanki warzywnej w zależności od czasu przechowywania.

Badania wycieku rozmrażalniczego z marchwi (tabela 6) wykazały rosnącą degradację struktury tkankowej surowca w miarę wydłużania czasu przechowywania. Odnotowano dwukrotny wzrost ilości wycieku swobodnego: z 20,93% do 51,52%. Tak wysoki poziom świadczy o postępującym niszczeniu ścian komórkowych przez zjawisko rekrytalizacji lodu, co bezpośrednio powoduje pogorszenie tekstury marchwi [Vicent i in. 2020].

Analiza wycieku rozmrażalniczego fasoli przedstawiona w tabeli 7 wykazała systematyczny wzrost tego parametru wraz z wydłużaniem się czasu przechowywania. Początkowa wartość wynosiła 8,2%, natomiast ostatecznie wzrosła do 24,02%. Końcowa niska wartość wariancji wskazuje na wyrównanie stopnia degradacji tkanek w całej partii surowca w końcowej fazie testu.

Tabela 6. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania marchwi

Table 6. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the carrot storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	20,93	0,85	0,73
7	27,20	0,99	0,98
14	24,44	3,11	9,66
21	31,77	1,29	1,66
28	31,42	3,80	14,43
42	41,73	0,33	0,11
56	50,81	3,40	11,58
87	51,52	3,99	15,94

Tabela 7. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania fasoli

Table 7. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the beans storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	8,2	0,6	0,36
7	9,08	0,38	0,14
14	12,79	0,65	0,42
21	17,73	2,25	5,06
28	17,44	1,37	1,88
42	19,43	2,03	4,11
56	22,05	2,16	4,67
87	24,02	0,31	0,09

Analiza wycieku rozmrażalniczego z groszku potwierdziła jego stabilność technologiczną jako surowca mrożonego. Wyciek rozmrażalniczy w pierwszym dniu wynosił 9,70%, a w 87 dniu wzrósł do 18,67%. Powolna dynamika zmian i niskie wartości wariancji w końcowej fazie przechowywania wskazują na dużą odporność tkanek na procesy rekrytalizacji lodu. Uzyskane wyniki wskazują na stały wzrost wielkości wycieku rozmrażalniczego wraz z czasem przechowywania, co przedstawiono w tabeli 8.

Tabela 8. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania groszku
 Table 8. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the peas storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	9,70	0,29	0,08
7	13,27	1,34	1,80
14	15,04	1,76	3,09
21	14,96	1,55	2,39
28	16,56	0,50	0,25
42	17,42	0,45	0,21
56	17,95	0,79	0,63
87	18,67	1,06	1,12

W przypadku kalafiora (tabela 9) odnotowano systematyczny wzrost wycieku rozmrażalniczego. W pierwszym dniu okresu przechowywania wyciek wyniósł 5,22%, a finalny 21,80%. Sucha masa kalafiora jest niska, a każda utrata wycieku rozmrażalniczego oznacza dużą stratę cennych składników rozpuszczalnych w wodzie. Niskie wartości odchylenia standardowego w końcowej fazie potwierdzają wyrównany stopień degradacji struktur tkankowych we wszystkich badanych próbkach kalafiora.

Tabela 9. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania kalafiora
 Table 9. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the cauliflower storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	5,22	1,09	1,18
7	9,51	0,41	0,17
14	13,38	1,25	1,57
21	11,98	1,59	2,53
28	12,84	1,50	2,25
42	14,53	0,86	0,75
56	20,02	0,81	0,66
87	21,80	0,52	0,27

W mrożonym brokule pierwszego dnia zaobserwowano wyciek wynoszący 14,29%, a w trakcie 87-dniowego przechowywania stale wzrastał do poziomu 27,21%. Analiza danych zestawionych w tabeli 10 wskazuje na znaczną dyspersję wyników wokół wartości średnich, o czym świadczą wysokie wartości odchylenia standardowego. Świadczy to o tym, że poszczególne różyczki reagują na mrożenie bardzo różnie, co wynika z budowy brokołu. Charakterystyczna dla brokołu luźna struktura kwiatostanu sprzyja większym uszkodzeniom mechanicznym tkanek przez lód. Zauważane wahania odchylenia standardowego wskazują na dużą wrażliwość tego surowca na warunki przechowywania i niejednorodną reakcję tkanek na proces rekrytalizacji. Gonçaves i inni [2011, 2020] w swoich badaniach udowodnili, że wyciek rozmrażalniczy stanowi jeden z najbardziej wrażliwych wskaźników pogorszenia jakości mrożonych brokułów podczas przechowywania, a jego wartość wykazuje tendencję wzrostową wraz z czasem przechowywania.

Tabela 10. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru wycieku swobodnego w zależności od czasu przechowywania brokołu

Table 10. Statistical analysis of the results of the free drip measurement depending on the broccoli storage time

Okres przechowywania (dni)	Wyciek rozmrażalniczy (%)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	14,29	0,34	0,12
7	19,72	1,34	1,79
14	20,59	0,73	0,54
21	20,81	0,84	0,71
28	22,27	1,17	1,37
42	22,29	1,33	1,77
56	27,41	0,52	0,27
87	27,21	1,41	1,99

Analizowane wyniki wykazują, iż okres przechowywania warzyw miał istotny wpływ na ilość uzyskanego wycieku rozmrażalniczego. Wraz ze zwiększającym się okresem przechowywania zwiększał się wyciek rozmrażalniczy. Największą wartość wycieku uzyskano dla każdego z produktów w 87 dniu przechowywania. Największym wyciekami spośród badanych warzyw odznacza się brokuł: 14,29%, natomiast najmniejszym fasola zielona: 8,20%. Zmiany struktury na poziomie komórkowym spowodowane formowaniem kryształów lodu podczas zamrażania doprowadziły w efekcie do odwodnienia tkanki. Im większy jest zakres tych zmian (w głównej mierze uzależniony od szybkości zamrażania), tym trudniej komórkom związać wodę podczas rozmrażania. Wielkość kryształów lodu determinowana jest przede wszystkim intensywną wymianą ciepła podczas zamrażania, a zapewnienie optymalnych warunków procesu umożliwia zmniejszenie strat masy po rozmrożeniu [Hać-Szymańczuk i in. 2019].

Ocena właściwości teksturalnych warzyw

Tekstura jest jednym z podstawowych wskaźników jakości żywności. Odbierana jest przez człowieka za pomocą bodźców mechanicznych (gryzienie), wzrokowych i słuchowych [Riantingtyas i in. 2024]. Tekstura zatem jest cechą żywności postrzeganą w wyniku dynamicznej oceny dokonywanej podczas konsumpcji. Najnowocześniejsze techniki oceny tekstury, wspomagane komputerowo, pozwalają na szybką a zarazem dokładną i wiarygodną ocenę parametrów charakterystycznych dla danego produktu [Xiao 2022]. Twardość i jędrność tkanek surowców roślinnych określa się najczęściej, wykonując test cięcia. Na podstawie uzyskanych danych empirycznych w postaci charakterystycznych zależności siła–czas lub siła–odkształcenie można przeprowadzić analizę kształtowania się wartości badanej cechy. Stąd w przeprowadzonych badaniach twardość warzyw oceniano jako siłę niezbędną do osiągnięcia określonej deformacji produktu w wyniku testu cięcia [Kubiak i Dolik 2017]. Wyniki analizy zmian twardości warzyw poddanych chłodniczemu przechowywaniu przedstawiono na poniższych wykresach i w tabelach.

Zarówno wykres słupkowy (rysunek 1), jak i tabela (tabela 11) pokazują wyraźną tendencję spadku twardości marchwi wraz z upływem czasu – o około 44%. Największą dynamikę utraty twardości zaobserwowano między 28 a 42 dniem przechowywania, co wiąże się z postępującym niszczeniem struktur komórkowych. Odnotowano systematyczny spadek twardości marchwi z poziomu 1,70 N do 0,95 N. Niskie wartości wariancji świadczą o dużej jednorodności zmian zachodzących w całej badanej partii marchwi.

Analiza twardości mrożonej fasoli (rysunek 2, tabela 12) wykazała znaczącą degradację tekstury surowca w badanym okresie. Został zauważony spadek siły potrzebnej do zgniecenia próby z poziomu 3,07 do 1,43 N. Wysokie wartości odchylenia standardowego w tym okresie wskazują na niejednorodność morfologiczną surowca pobranego do badań.

Rysunek 1. Twardość marchwi w zależności od czasu przechowywania
Figure 1. Carrot hardness depending on storage time

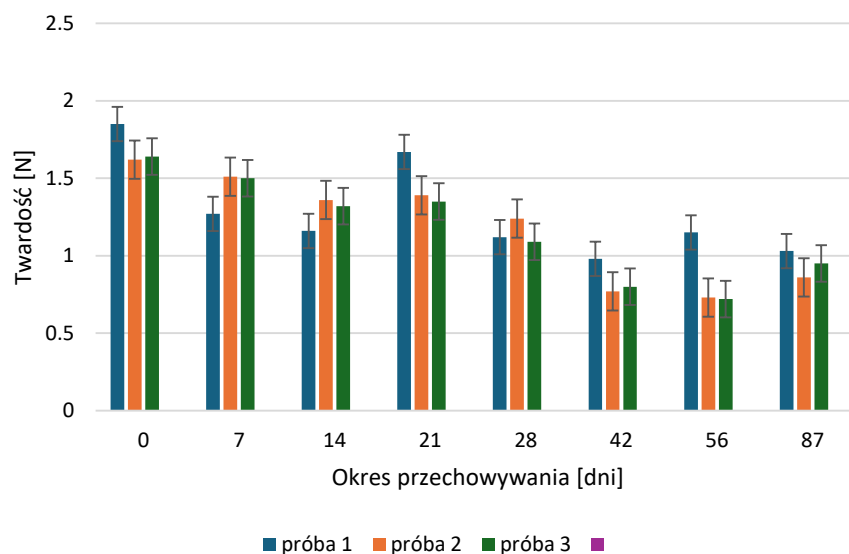


Tabela 11. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości marchwi w zależności od czasu przechowywania
Table 11. Statistical analysis of the results of carrot hardness measurement depending on the storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,70	0,13	0,02
7	1,43	0,14	0,02
14	1,28	0,11	0,01
21	1,47	0,17	0,03
28	1,15	0,08	0,01
42	0,85	0,11	0,01
56	0,87	0,25	0,06
87	0,95	0,09	0,01

Rysunek 2. Twardość fasoli w zależności od czasu przechowywania
Figure 2. Beans hardness depending on storage time

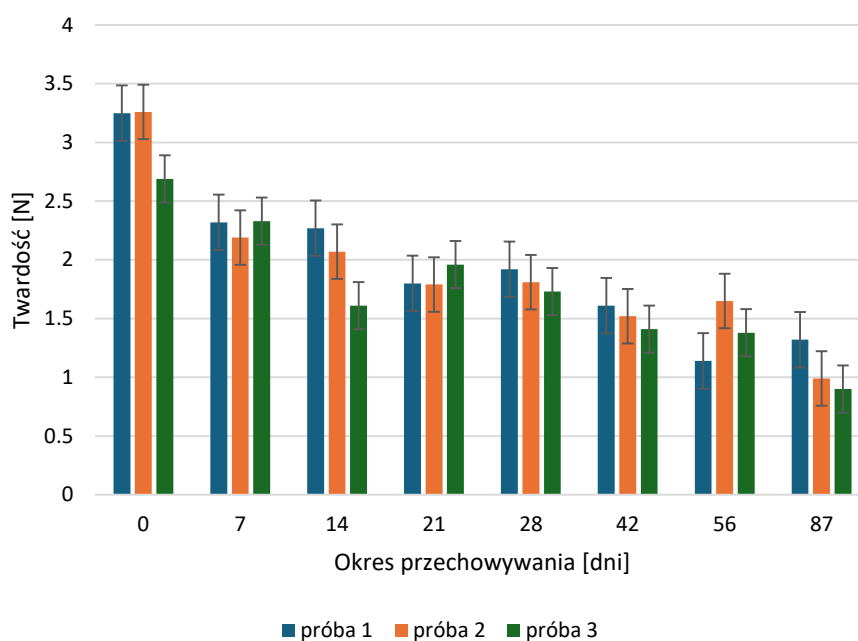


Tabela 12. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości fasoli w zależności od czasu przechowywania
Table 12. Statistical analysis of the results of bean hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	3,07	0,33	0,11
7	2,28	0,08	0,01
14	1,98	0,34	0,11
21	1,85	0,10	0,01
28	1,82	0,10	0,01
42	1,51	0,10	0,01
56	1,39	0,26	0,07
87	1,07	0,22	0,05

Analiza badań twardości groszku zielonego (rysunek 3, tabela 13) wykazała największą stabilność parametrów teksturalnych spośród analizowanych warzyw. W trakcie badania groszek stracił około 36% swojej pierwotnej twardości. Twardość w pierwszym dniu badania wyniosła 1,94 N, natomiast w ostatnim dniu 1,24 N. Odchylenie standardowe spada do skrajnie niskich wartości, co oznacza, że po 87 dniach przechowywania każda z prób groszku reaguje identycznie. Duża odporność na mięknięcie jest efektem zawartości składników stałych, tj. skrobi, która usztywnia strukturę groszku.

Rysunek 3. Twardość groszku w zależności od czasu przechowywania
Figure 3. Peas hardness depending on storage time

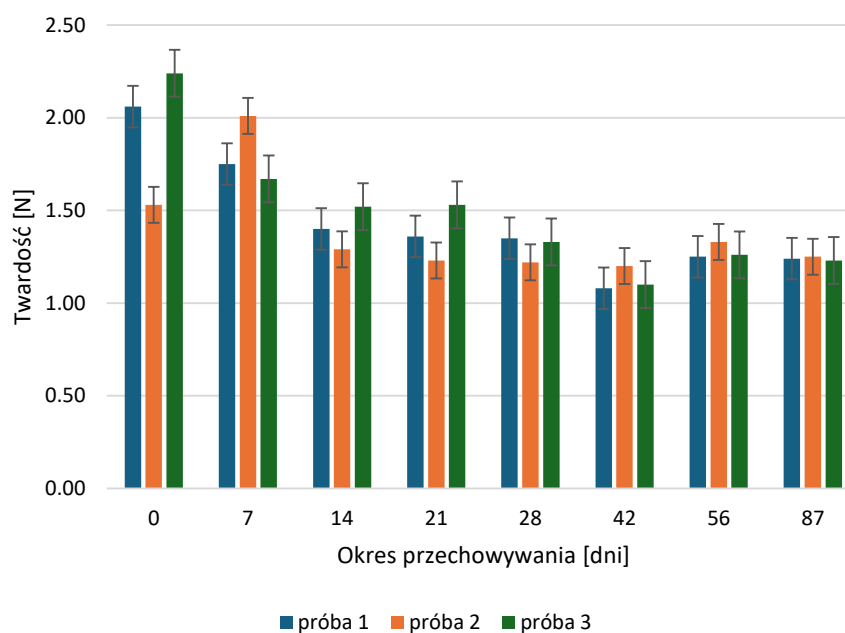


Tabela 13. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości groszku w zależności od czasu przechowywania
Table 13. Statistical analysis of the results of pea hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,94	0,37	0,14
7	1,81	0,18	0,03
14	1,40	0,12	0,01
21	1,37	0,15	0,02
28	1,30	0,07	0,00
42	1,13	0,06	0,00
56	1,28	0,04	0,00
87	1,24	0,01	0,00

Analiza twardości mrożonego kalafiora (rysunek 4, tabela 14) wykazała istotne zmiany w teksturze surowca, charakteryzujące się nieliniowym spadkiem parametrów mechanicznych. Surowiec zachował pełną stabilność twardości tylko przez pierwsze 7 dni przechowywania, po czym nastąpiła faza degradacji. Takie obniżenie poziomu twardości świadczy o głębokiej destrukcji tkanek. Końcowa stabilizacja twardości na poziomie 1,20 N przy jednoczesnym wzroście odchylenia standardowego sugeruje postępującą niejednorodność strukturalną surowca w końcowej fazie przechowywania.

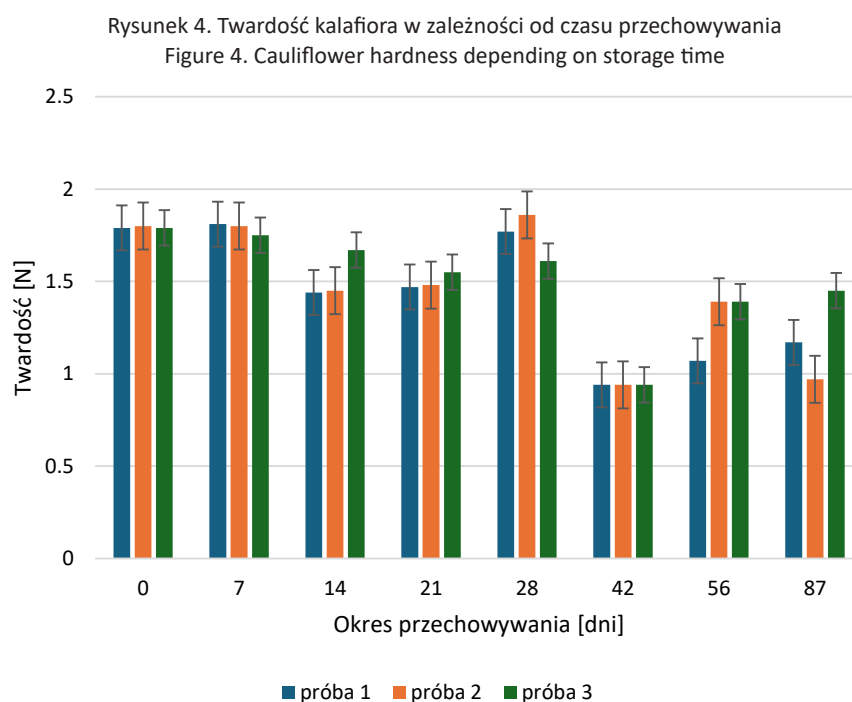


Tabela 14. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości kalafiora w zależności od czasu przechowywania
Table 14. Statistical analysis of cauliflower hardness measurement results depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,79	0,01	0,00
7	1,79	0,03	0,00
14	1,52	0,13	0,02
21	1,50	0,04	0,00
28	1,75	0,13	0,02
42	0,94	0,00	0,00
56	1,28	0,18	0,03
87	1,20	0,24	0,06

Analiza twardości mrożonego brokułu (rysunek 5, tabela 15) wykazała, że jest on surowcem o najniższej odporności mechanicznej spośród analizowanych warzyw. Twardość w pierwszym dniu badania wyniosła 1,49 N, natomiast w ostatnim 1,22 N. Jednak najniższy wynik twardości, wynoszący 0,93 N, uzyskano już w 21 dniu przechowywania, co wskazuje na szybkie niszczenie tkanek tej rośliny. Nieliniowy przebieg zmian oraz wahania wartości twardości w środkowej fazie przechowywania są wynikiem niejednorodnej budowy morfologicznej brokułu.

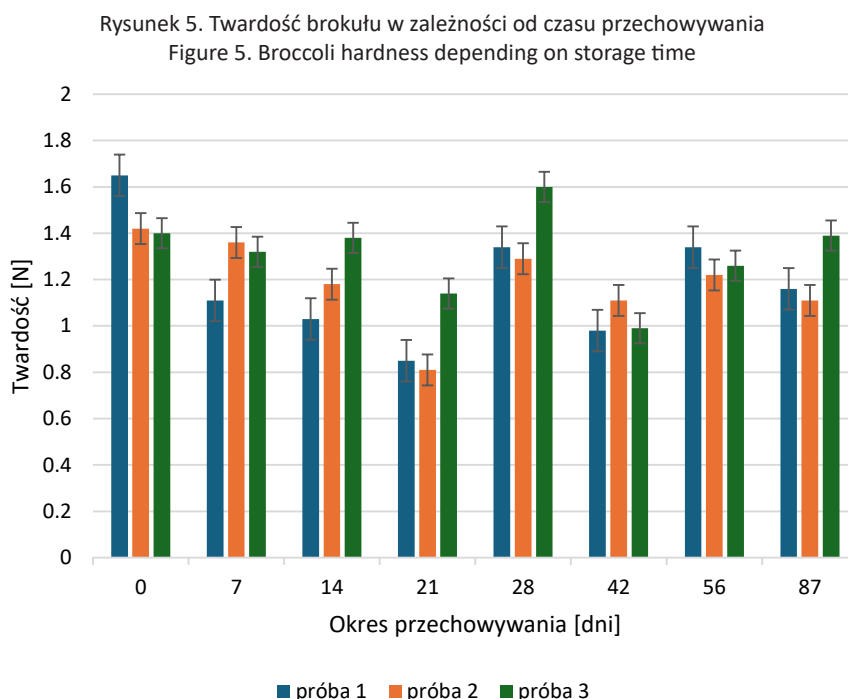


Tabela 15. Statystyczne opracowanie wyników z pomiaru twardości brokołu w zależności od czasu przechowywania
Table 15. Statistical analysis of the results of broccoli hardness measurement depending on storage time

Okres przechowywania (dni)	Twardość (N)	Odchylenie standardowe	Wariancja
0	1,49	0,14	0,02
7	1,26	0,13	0,02
14	1,20	0,18	0,03
21	0,93	0,18	0,03
28	1,41	0,17	0,03
42	1,03	0,07	0,01
56	1,27	0,06	0,00
87	1,22	0,15	0,02

Wyniki analizy tekstury pozwoliły stwierdzić, że okres przechowywania chłodniczego warzyw wpływał na ich siłę cięcia. Im dłuższy był okres przechowywania, tym warzywa charakteryzowały się mniejszą siłą cięcia. Największą twardością spośród badanych warzyw charakteryzowała się fasola – 3,07 N, najmniejszą natomiast marchew kostka – 1,70 N. Analiza wyników badań wykazuje największy spadek twardości fasoli oraz kalafiora. Twardość warzyw nie tylko zależy od metody zamrażania, ale również od ich budowy anatomicznej, dlatego w przypadku kalafiora czy fasoli mogły wystąpić niejednoznaczne wyniki siły cięcia. Ponadto spadek twardości warzyw po ich zamrożeniu związany jest ze zmianami na poziomie komórkowym, spowodowanymi formowaniem się grubokryształicznej struktury lodu podczas powolnego zamrażania i osłabieniem jędrności tkanki. W konsekwencji warzywa po rozmrożeniu tracą duże ilości wody – co można było zaobserwować na podstawie wycieku rozmrażalniczego – i zmieniają swoje pierwotne cechy.

WNIOSKI

Wraz ze wzrostem czasu przechowywania w warunkach chłodniczych zawartość suchej masy w każdym z warzyw różniła się nieznacznie od jej zawartości w próbie świeżej. Największą zawartość suchej masy stwierdzono w mrożonym groszku, średnio 25,94%. Najmniejszą zawartością suchej masy

oraz największą zawartością wody charakteryzował się kalafior. W przypadku większości badanych warzyw zawartość suchej masy nie rośnie ani nie spada w sposób ciągły wraz z upływem czasu.

Stwierdzono niekorzystny wpływ okresu przechowywania chłodniczego na wielkość wycieku rozmrażalniczego warzyw. Wraz z wydłużającym się okresem przechowywania następowało zwiększenie wycieku rozmrażalniczego. Po 87 dniach przechowywania najniższą wartością wycieku rozmrażalniczego charakteryzował się groszek zielony – 18%, podczas gdy najwyższą odnotowano w przypadku marchwi, gdzie ubytek masy sięgał aż 50%. Może to wynikać z różnic w budowie tkanek oraz w zdolności do wiązania wody przez poszczególne warzywa. Konwencjonalna metoda rozmrażania na powietrzu zastosowana w przeprowadzonym badaniu jest szeroko praktykowana z powodów ekonomicznych i użytkowych, jednak wiąże się z wydłużonym czasem rozmrażania, zwiększonym ryzykiem mikrobiologicznym oraz utratą cennych składników odżywczych

Wyniki testów cięcia przeprowadzonych przy użyciu teksturometru dowodzą wpływu okresu przechowywania na zmiany twardości warzyw, objawiające się poprzez spadek siły cięcia. Im dłuższy był okres przechowywania, tym obserwowano mniejszą siłę cięcia w przypadku poszczególnych rodzajów warzyw, co wskazuje na stopniową degradację struktury tkankowej. Zjawisko to jest najczęściej tłumaczone uszkodzeniami wywołanymi przez kryształki lodu oraz zmianami w składzie polisacharydów ściany komórkowej. Największą twardością po 87 dniach przechowywania charakteryzował się groszek i brokuł (1,24 N i 1,22 N), a najmniejszą – marchew (0,95 N).

PIŚMIENNICTWO

- Acheampong R., Osei Tutu C., Akonor P.T., Asiedu B.K., Mahama S., Owusu-Bempah J., Appiadu D., Koranteng A. F., Kumador D.K., Andoh-Odoom A.H., Saalia F.K., 2025. Effect of conventional and emerging thawing technologies on drip loss, microstructure and post-thaw quality of frozen fruits and vegetables: A review. *Appl. Food Res.* 6, 101323. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101323>
- Adamczyk G., 2010. Popularity of „convenience food”. *J. Agribusiness Rural Develop.* 4 (18), 5–13.
- Fang Y., Wakisaka M., 2021. A review on the modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with cutting-edge technologies. *Agriculture* 11(10), 992. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100992>
- Gonçalves E.M., Abreu M., Brandão T.R.S., Silva C.L.M., 2011. Degradation kinetics of colour, vitamin C and drip loss in frozen broccoli (*Brassica oleracea* L. ssp. *Italica*) during storage at isothermal and non-isothermal conditions. *Int. J. Refrig.* 34(8), 2136–2144. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.06.006>
- Gonçalves E.M., Abreu M., Pinheiro J., Brandão T.R.S., Silva C.L. M., 2020. Quality changes of carrots under different frozen storage conditions: A kinetic study. *J. Food Engin.* 172, 95–103.
- Góral D., Kluza F., Kozłowicz K., 2013. Wybrane właściwości warzyw po obróbce chłodniczej zróżnicowanymi metodami. *Acta Sci. Pol. Tech. Agr.* 12(3-4), 17–26
- Grabowska B., 2020, Ususzka w procesie przechowywania żywności – kontrola wilgotności w chłodniach i mroźniach. *Chłod. Klimat.* 7, 58–62
- Grabowska B., 2014. Mrożenia owoców i warzyw. Cześć I. Normy i przepisy. *Chłod. Klimat.* 37–38, 40–43.
- Grover Y., Negi P., Tiwari. B., 2023. Recent developments in freezing of fruits and vegetables. *J. Food Sci.* 88(12), 5089–5112. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16810>
- Hać-Szymańczuk E., Cegiłka A., Dasiewicz K., 2019. Zmiany jakościowe zachodzące w żywności pod wpływem działania niskiej temperatury. *Chłodnictwo* 54(1), 2–4.
- levinsh G., 2023. Water content of plant tissues: So simple that almost forgotten? *Plant*, 12(6), 1238. <https://doi.org/10.3390/plants12061238>
- Kapusta F., 2017. Rynek warzyw w Polsce i jego powiązania międzynarodowe. *Zesz. Nauk. SGGW Warsz. Probl. Rol. Świat.* 17(2), 93–105.
- Krełowska-Kułas M., 1993. Badanie jakości produktów spożywczych. PWE, Warszawa, 45–55, 250–265.
- Krzysztofik B., Drózd T., Sobol Z., Nawara P., Wrona P., 2015. Metody zabezpieczania i utrwalania surowców oraz produktów żywnościowych – studium przypadku. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków.*
- Kubiak M.S., Dolik K., 2017. Instrumentalny test analizy profilu tekstury. *LAB* 22(1), 23–28.
- Kumirska J., Gołębiowski M., Paszkiewicz M., Bychowska A., 2010. Analiza żywności. *Skrypt z ochrony środowiska*, 14–171.
- Li D., Zhu Z., Sun D.-W., 2018. Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 75, 46–55. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.019>
- Li L., Pegg R.B., Eitenmiller R.R., Chun J.Y., Kerrihard A.L., 2017. Selected nutrient analyses of fresh, fresh-stored, and frozen fruits and vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 59, 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.002>
- Markowska J., 2025a, Jakość mrożonych warzyw dostępnych w krajowym obrocie handlowym w kontekście bezpieczeństwa żywności i akceptacji konsumenckiej. *Przemysł Spożywczy*. DOI: 10.15199/65.2025.11.5

- Markowska J., 2025b. Wpływ dystrybucji na jakość żywności. *Przemysł Spożywczy*. 52–60. <https://doi.org/10.15199/65.2025.7.5>
- Pukszta T., Palich P., 2007. Wpływ warunków przechowywania na zmiany jakości lodów familijnych. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 57(3A), 111–114.
- Riantiningtyas R.R., Dougkas A., Kwiecien C., Carrouel F., Giboreau A., Bredie W.L.P., 2024. A review of assessment methods for measuring individual differences in oral somatosensory perception. *J. Text. Studies* 55(4), e12849. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12849>
- Ruciński A., Stopińska W., 2019. Physicochemical changes and weight loss during freezing. storage and thawing of food products – review of selected issues. *Modern Engin.* 2, 78–87.
- Sawada S., Fukuda M., 2018. The effect of the shape of intracellular ice crystals in frozen vegetables on drip loss after thawing. *Nipp. Shok. Kag. Kog. Kai.* 65 (10), <https://doi.org/10.3136/nskkk.65.463>
- Szucki T., 1998. *Encyklopedia marketingu*. Agencja Wydawnicza Placet, Warszawa.
- Vicent V., Ndoye F. T., Verboven P., Nicolaï B., Van Impe J., 2020. Modeling ice recrystallization in frozen carrot tissue during storage under dynamic temperature conditions. *J. Food Engin.* 278, 109911. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109911>
- Portalspozywczy.pl, 2026. Hortex: Rynek mrozonek jest perspektywiczny. Konsumenci kupują je 3 razy w miesiącu. <https://www.portalspozywczy.pl/owoce-warzywa/wiadomosci/hortex-rynek-mrozonek-jest-perspektywiczny-konsumenci-kupuja-je-3-razy-w-miesiacu,.136978.html> (dostęp 01.05.2026).
- Wiktor A., Fijałkowska A., Kucko I., Wojnowski M., Królikowski K., Hankus M., Witrowa-Rajchert D., 2015. Zastosowanie przewodności elektrycznej właściwej do oceny przebiegu procesu zamrażania i rozmrażania tkanki roślinnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 582, 125–135.
- Wu J., Zhang M., Bhandari B., Yang C.-H., 2021. Drip loss control technology of frozen fruits and vegetables during thawing: A review. *Int. Agrophys.* 35(3), 235–250. <https://doi.org/10.31545/intagr/142289>
- Xiao Z., Wang J., Han L., Guo S., Cui Q., 2022. Application of machine vision system in food detection. *Front. Nutr.* 9, 888245. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.888245>

Źródło finansowania badań: Nie uzyskano zewnętrznego finansowania.

Abstract. Frozen vegetable blends have gained in importance in recent years, a trend further highlighted by the COVID-19 pandemic, which has increased the demand for products with a long shelf life while maintaining high nutritional value. The aim of this study was to conduct a physicochemical analysis of selected vegetables (carrots, green peas, cut green beans, cauliflower, and broccoli) that underwent freezing and frozen storage. The samples were stored for a period of 3 months at -30°C. It was demonstrated that storage time did not significantly affect dry matter content compared to fresh produce. However, it was found that over time, textural properties deteriorated (decrease in hardness) and thaw leachate increased, indicating structural changes occurring in plant tissues despite deep-freezing.

Keywords: frozen vegetable blend, physicochemical analysis, texture, defrosting leak

Otrzymano/Received: 4.05.2026

Zaakceptowano/Accepted: 19.06.2026

Opublikowano/Published: 7.07.2026

Cytowanie: Gawdzziel D., Kozłowicz K., Maj G., Klimek K.E., Kapłan M., 2026. Ocena jakościowa mrożonej mieszanki warzywnej przechowywanej w warunkach chłodniczych. *Ann. Hortic.* 35(1), 65–78. <https://doi.org/10.24326/ah.2026.5692>