

MACIEJ BILEK¹, PAWEŁ STANISZEWSKI², OLIWIA BORYSZEWSKA³, JULIA KOWALSKA⁴, ANASTAZJA STRUS⁵, MAREK DRZYSTEK⁶, ALICJA DOŁKIN-LEWKO⁷, RAFAŁ WOJTAN⁸, ZBIGNIEW CZERNIAKOWSKI⁹

¹Katedra Agroekologii i Użytkowania Lasu, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-601 Rzeszów, e-mail: mbilek@ur.edu.pl, ORCID: 0000-0003-2232-5511; ²Katedra Użytkowania Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: pawel_staniszewski@sggw.edu.pl, ORCID: 0000-0002-3041-5739; ³Wydział Leśny SGGW, j.w., e-mail: s227180@sggw.edu.pl; ⁴Wydział Leśny SGGW, j.w., e-mail: s221764@sggw.edu.pl; ⁵Wydział Leśny SGGW, j.w., e-mail: s219929@sggw.edu.pl; ⁶Wydział Technologiczno-Przyrodniczy Uniwersytetu Rzeszowskiego, j.w. e-mail: md123593@stud.ur.edu.pl; ⁷Samodzielny Zakład Botaniki Leśnej, SGGW, j.w.; e-mail: alicja_dolkin@sggw.edu.pl, ORCID: 0000-0003-0676-6384; ⁸Katedra Urządzania Lasu, Dendrometrii i Ekonomiki Leśnictwa, SGGW, j.w.; e-mail: rafal_wojtan@sggw.edu.pl, ORCID: 0000-0001-8037-8166; ⁹Katedra Agroekologii i Użytkowania Lasu, Uniwersytet Rzeszowski j.w., e-mail: zczerniakowski@ur.edu.pl, ORCID: 0000-0002-9483-0448.

WSTĘPNE REKOMENDACJE DLA ZBIORU OWOCÓW BORÓWKI CZERNICY (VACCINIUM MYRTILLUS L.) Z PRZEZNACZENIEM NA SUROWIEC GARBNIKOWY W KONTEKŚCIE POTRZEB I WYZWAŃ ZRÓWNOWAŻONEJ GOSPODARKI LEŚNEJ

Abstrakt: Środowisko leśne jest znanym i cenionym źródłem niedrzewnych surowców, m.in. grzybów, owoców i leśnych roślin leczniczych. Surowce te zbierane są powszechnie, a ich pozyskiwanie jest istotnym elementem rozwoju regionalnego. W przypadku surowców farmaceutycznych dodatkowym uwarunkowaniem jest konieczność spełnienia ściśle określonych wymogów jakościowych. Ponadto, ich użytkowanie musi być realizowane w zgodzie z zasadami prowadzenia trwałej i zrównoważonej gospodarki leśnej. Możliwe jest to w ramach sformalizowanej współpracy gospodarki leśnej z firmami farmaceutycznymi. W Polsce jednym z najważniejszych surowców runa leśnego jest borówka czernica (*Vaccinium myrtillus* L.), której owoce – poza walorami kulinarnymi – są surowcem farmaceutycznym. Celem badań było określenie zawartości garbników w owocach borówki czernicy pozyskanych z czterech różnych typów siedliskowych lasu, w których gatunek ten występuje powszechnie lub często: boru świeżego (Bśw), boru mieszanego świeżego (BMśw), boru mieszanego bagiennego (BMb) i lasu mieszanego świeżego (LMśw) i odniesienie uzyskanych wyników do wymogów farmakopealnych stawianych surowcowi „Bilberry fruit, dried”. Materiał badawczy pobrano z Nadleśnictwa Szczebra (pn-wsch Polska). Ocenę zawartości garbników wykonano według metodyki analitycznej rekomendowanej przez obowiązującą „Farmakopeę Europejską 11”. Wyniki odniesiono do monografii farmakopealnej „Owoc borówki czernicy, suszony”. Ponadto, biorąc pod uwagę

wykorzystanie suszonego owocu borówki czernicy nie tylko w przemyśle farmaceutycznym, ale także spożywczym, dokonano oceny zawartości antocyjanów. Wykazano, że w przypadku analizowanych zmiennych stwierdzono występowanie istotnych statystycznie różnic przeciętnych ich wartości w zależności od typu siedliskowego lasu. Najwyższe wartości zawartości garbników stwierdzono w owocach z boru mieszanego bagiennego (1,0%), niższe – z boru świeżego i boru mieszanego świeżego (0,8%), najniższe zaś – z lasu mieszanego świeżego (0,7%). Odmienne charakter miało zróżnicowanie zawartości antocyjanów: las mieszany świeży 1,48%, bór świeży 1,47%, bór mieszany bagienny 1,20%, bór mieszany świeży 0,83%. Wyniki wstępnych badań oraz udział procentowy rozpatrywanych typów siedliskowych lasu w Polsce wskazują, że jako siedlisko najodpowiedniejsze do pozyskania owoców borówki czernicy na potrzeby przemysłu farmaceutycznego powinniśmy rekomendować bór mieszany świeży. Z kolei zbiór surowca najbogatszego w antocyjany, może być realizowany w siedlisku boru świeżego i lasu mieszanego świeżego i te siedliskowe typy lasu powinny zostać wskazane jako optymalne w umowach kontraktacyjnych z firmami przemysłu spożywczego, planującymi produkcję środków spożywczych.

Słowa kluczowe: leśne surowce niedrzewne, borówka, roślinne produkty lecznicze, Farmakopea Europejska, garbniki, zrównoważony rozwój, użytkowanie lasu

PRELIMINARY RECOMMENDATIONS FOR EUROPEAN BILBERRY (VACCINIUM MYRTILLUS L.) HARVESTING AS A TANNIN RAW MATERIAL IN THE CONTEXT THE NEEDS AND CHALLENGES OF SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT

Abstract: The forest environment is a well-known and valuable source of non-wood forest products, including mushrooms, fruits, and medicinal plants. These raw materials are widely harvested, and can be considered as a crucial element of regional development. When collecting medicinal plants, it is extremely important to meet strictly defined pharmacopoeial quality requirements, and, at same time, collecting must be carried out in accordance with the principles of sustainable forest management. This is possible within the framework of formalised cooperation between forest managers and pharmaceutical companies. In Poland, one of the most important forest floor resources is the bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). The fruit of this plant, in addition to culinary value, is also a herbal raw material. This study aimed to determine the tannin content in bilberry fruit obtained from four different forest site types where this species occurs commonly or frequently: fresh coniferous forest (Bśw), fresh mixed coniferous forest (BMśw), boggy mixed coniferous forest (BMb), and fresh mixed broadleaved forest (LMśw). The research material was collected from the Szczebra Forest District (northeastern Poland). Tannin content was assessed according to the analytical methodology recommended by the current "European Pharmacopoeia 11". The results were referred to the pharmacopoeial monograph "Bilberry fruit, dried". Furthermore, considering the use of dried bilberry fruit not only in the pharmaceutical but also in the food industry, the anthocyanin content has been assessed. For the analysed variables, statistically significant differences in average values were found depending on the forest site type. The highest tannin content was found in the fruits from boggy mixed coniferous forest (1.0%), lower tannin content was detected in the fruits from fresh coniferous forest and fresh mixed coniferous forest (0.8%), and the lowest turned out to be characteristic in the fruits from fresh mixed broadleaved forest (0.7%). Meanwhile anthocyanin content was as follows: fresh mixed broadleaved forest 1.48%, fresh coniferous forest dominated 1.47% boggy mixed coniferous forest 1.20%, and fresh mixed coniferous forest 0.83%. Taking into account the

results of our preliminary research and, at the same time, the percentage share of the considered forest site types in Poland we would like to recommend a fresh mixed coniferous forest as the most suitable habitat for bilberry fruit harvesting for the needs of pharmaceutical industry. In turn, the collection of raw material richest in anthocyanins can be carried out in fresh coniferous forest and fresh mixed broadleaved forest, and these forest site types should be specified as optimal when food companies plan to obtain bilberry fruit for food production.

Keywords: non-wood forest products, bilberry, herbal medicinal products, European Pharmacopoeia, tannins, sustainable development, forest utilisation

I. WSTĘP

Środowisko leśne jest powszechnie znanym i cenionym źródłem surowców niedrzewnych, m.in. grzybów oraz owoców runa leśnego. Wykorzystywane mogą być one zarówno do realizowania potrzeb indywidualnych, jak i w różnych gałęziach gospodarki narodowej [Głowacki 1999, Bilek i Staniszewski 2020].

Współpraca z gospodarką leśną jest również ważna dla przemysłu farmaceutycznego, zapewnia bowiem dostęp do surowców zielarskich, które nie mogą być pozyskiwane z plantacji [Staniszewski 2010a, 2010b]. Co istotne, zbiór roślin leczniczych ze środowiska leśnego usankcjonowany jest w obowiązującej „Farmakopei Europejskiej 11.0” [European... 2022] oraz systemie GACP [GACP 2025], które dopuszczają stosowanie roślin leczniczych pochodzących zarówno z upraw, jak i ze stanu naturalnego. Warto przy tym podkreślić, że surowiec pozyskiwany w środowisku leśnym posiada istotną przewagę nad tym z plantacji: pochodzi z najczystszej dostępnej ekosystemu i spełnia surowe wymogi bezpieczeństwa zdrowotnego, nie będąc zanieczyszczonym pozostałościami środków ochrony roślin, czy metalami ciężkimi [Bilek i in. 2019, Staniszewski i in. 2019].

Jednym z najważniejszych leśnych surowców niedrzewnych, a z pewnością najważniejszym spośród roślin runa, jest borówka czernica (*Vaccinium myrtillus* L.). W Polsce występuje niemal na całym obszarze kraju [Szafer i Zarzycki 1977], w bardzo licznych typach siedliskowych lasu. Pomimo podjętych prób nie jest możliwa uprawa borówki czernicy, a środowisko leśne pozostaje bezkonkurencyjnym źródłem surowców od niej pozyskiwanych [Staniszewski i in. 2019]. W naszym kraju owoce borówki czernicy zbierane są nie tylko na potrzeby własne (a zatem w zgodzie z prawem), ale także na cele przemysłowe, w tym z przeznaczeniem na tzw. handel przydrożny i lokalny rynek. W ten sposób ze środowiska leśnego pozyskiwane są nielegalnie trudne do oszacowania ilości surowca, które – jako nieewidencjonowane – nie przynoszą zysków gospodarce leśnej [Nowacka i Staniszewski 2017, Staniszewski 2018]. Tymczasem sformalizowane niedrzewne użytkowanie lasu, realizujące ideę zrównoważonego rozwoju, wpisane jest w cele polityki „Zielonego Ładu” Unii Europejskiej [Communication...2023a, Communication... 2023b, Bilek i in. 2025] oraz w szereg aktów prawnych regulujących zasady funkcjonowania polskiej gospodarki leśnej, poczynając od Ustawy o lasach [1991], a kończąc na Zasadach użytkowania lasu [2019].

Zakres zastosowań owoców borówki czernicy jest bardzo szeroki i obejmuje zarówno aspekt żywnościowy, jak i leczniczy. Świeże owoce – poza niezaprzeczalnymi walorami smakowymi – charakteryzują się wysokim potencjałem antyoksydacyjnym, będącym konsekwencją obecności antocyjanów [Baraniak i Kania 2015, Bilek i in. 2020, Drozd i Anuszevska 2013]. Substancje te są powszechnie znane i cenione w dietoprofilaktyce chorób nowotworowych, układu sercowo-naczyniowego oraz schorzeń

neurodegeneracyjnych i wieku podeszłego [Szajdek i Borowska 2004, Wawrzyniak i in. 2011, Zalega i Szostak-Węgierek 2013].

Natomiast suszone owoce można traktować jako wartościowy surowiec garbnikowy, którego kryteria oceny jakości przedstawiono w „Farmakopei Europejskiej 11” (monografia „Bilberry fruit, dried”, pol. „Owoc borówki czernicy, suszony”) [European... 2022]. Europejska Agencja Leków (EMA, European Medicines Agency) odwarom z surowca tego przypisała dwa wskazania terapeutyczne w podaniu doustnym: „objawowe leczenie łagodnej biegunki” oraz „objawowe leczenie niewielkich stanów zapalnych jamy ustnej”. Na tle wskazań innych produktów leczniczych, zarówno roślinnych jak i syntetycznych, należy uznać je za bardzo istotne, pozwalają bowiem realizować terapię nie tylko u dzieci powyżej 12 roku życia i osób dorosłych, ale także u kobiet w ciąży i karmiących bez ryzyka wystąpienia wad rozwojowych [Bilek 2023].

O ile jednak w Polsce brak jest zarejestrowanych roślinnych produktów leczniczych zawierających w swym składzie wyciągi ze świeżego owocu borówki czernicy, o tyle owoc suszony (w postaci ziół do zaparzania) wprowadzany jest do obrotu przez kilka podmiotów odpowiedzialnych, dużych firm z branży farmaceutycznej [Rejestr... 2025]. Sformalizowany zbiór owoców borówki czernicy z przeznaczeniem na surowiec suszony znajduje zatem racjonalne uzasadnienie i może zyskać bardzo istotne znaczenie ekonomiczne dla gospodarzy lasu – firmy dostarczające na rynek farmaceutyczny suszony owoc borówki czernicy to bowiem potencjalni partnerzy z którymi Lasy Państwowe mogą podpisywać tzw. umowy kontraktacyjne [Ekiert i in. 2019].

Perspektywa podpisywania umów kontraktacyjnych pomiędzy przedstawicielami gospodarki leśnej i firmami farmaceutycznymi wiąże się jednak z koniecznością ustalenia szczegółowych rekomendacji dotyczących zbioru owoców borówki czernicy jako surowca garbnikowego. Niezbędne są zarówno badania pod kątem składu chemicznego determinującego właściwości lecznicze i bezpieczeństwo stosowania, ale także opracowanie zasad pozyskiwania surowca, w tym określenie miejsc zbioru, m.in. typów siedliskowych lasu, z których pozyskane owoce spełnią wymagania jakościowe.

Celem badań było określenie zawartości garbników w owocach borówki czernicy pozyskanych z czterech różnych typów siedliskowych lasu, w których gatunek ten występuje powszechnie lub często: boru świeżego (Bśw), boru mieszanego świeżego (BMśw), boru mieszanego bagiennego (BMb) i lasu mieszanego świeżego (LMśw) i odniesienie uzyskanych wyników do wymogów farmakopealnych stawianych surowcowi *Myrtilli fructus siccus* (monografia „Bilberry fruit, dried”, pol. „Owoc borówki czernicy, suszony”).

II. MATERIAŁ I METODY

Zbiór owoców borówki czernicy przeprowadzono 10 i 11 lipca 2025 roku na terenie położonego w Puszczy Augustowskiej Nadleśnictwa Szczebra, w czterech różnych siedliskowych typach lasu: borze świeżym (oddział 176a), borze mieszanym świeżym (238g), borze mieszanym bagiennym (227b) i lesie mieszanym świeżym (97g). Około 300 g owoców zebrano równomiernie z całej powierzchni badanych drzewostanów. Pozyskiwano wyłącznie owoce dojrzałe i nieuszkodzone. Natychmiast po zbiorze rozpoczęto suszenie w temperaturze nieprzekraczającej 40°C. Następnie próbki zostały dostarczone do laboratorium Katedry Agroekologii i Użytkowania Lasu, Uniwersytetu Rzeszowskiego, gdzie przeprowadzono badania laboratoryjne.

Badania instrumentalne

Ocenę zawartości garbników wykonano według metodyki analitycznej rekomendowanej przez obowiązującą „Farmakopeę Europejską 11” (monografia ogólna 2.8.14. „Tannins in

herbal drugs” oraz monografia szczegółowa „Bilberry fruit, dried” 07/2021:1588). Zgodnie z „Farmakopeą Europejską” wyniki oznaczania zawartości garbników podano w przeliczeniu na pirogalol z dokładnością do 0,1%.

Biorąc pod uwagę wykorzystanie suszonego owocu borówki czernicy nie tylko w przemyśle farmaceutycznym, ale także spożywczym, dokonano dodatkowo oceny zawartości antocyjanów. Badaniom poddano wysuszony, zmielony i przesiany przez sito 0,355 mm owoc borówki czernicy, stosując metodykę analityczną wskazaną przez „Farmakopeę Europejską” dla owocu świeżego (monografia szczegółowa „Bilberry fruit, fresh” 01/2019:1602). Wyniki podano zgodnie z „Farmakopeą Europejską” w przeliczeniu na chlorek 3-O-glukozydu cyjanidyny z dokładnością do 0,01%.

Metodyka analizy danych

Zawartość garbników i antocyjanów w owocach borówki czernicy zebranych w drzewostanach rosnących na różnych siedliskach (TSL) oceniono z wykorzystaniem jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w modyfikacji Welch’a. Metodę tę zastosowano po weryfikacji założeń dotyczących zgodności rozkładu odchyleń resztowych analizowanego modelu z rozkładem normalnym oraz jednorodności wariancji w grupach. Założenie o normalności rozkładu reszt zweryfikowano testem Shapiro-Wilk’a, natomiast jednorodność wariancji oceniono za pomocą testu Levene’a. W przypadku uzyskania istotnego wyniku ANOVA, wykonywano analizy post-hoc w celu identyfikacji par grup różniących się istotnie statystycznie pod względem wartości zmiennej zależnej. W tym celu zastosowano test HSD Tukey’a [Kutner 2005].

Analizy przeprowadzono w programie Statistica [StatSoft... 2013].

III. WYNIKI

Najwyższe wartości zawartości garbników (zgodnie z „Farmakopeą Europejską” zaokrąglone do 0,1%) stwierdzono w owocach z boru mieszanego bagiennego (1,0%), niższe – z boru świeżego i boru mieszanego świeżego (0,8%), najniższe zaś – z lasu mieszanego świeżego (0,7%). Odmienny charakter miało zróżnicowanie zawartości antocyjanów: tu dominował las mieszany świeży i bór świeży (odpowiednio: 1,48% i 1,47%), nieco niższą wartość stwierdzono w przypadku boru mieszanego bagiennego (1,20%), najniższą zaś – boru mieszanego świeżego (0,83%).

Przeprowadzona analiza (tab. 1) wykazała, że w przypadku analizowanych zmiennych stwierdzono występowanie istotnych statystycznie różnic przeciętnych ich wartości w zależności od typu siedliskowego lasu.

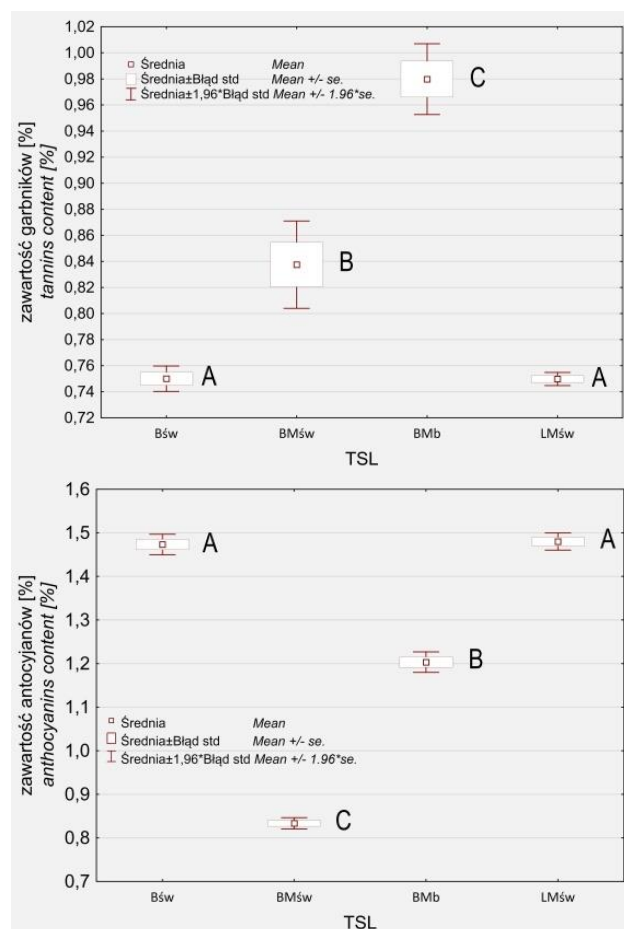
Tabela 1 – Table 1

Analiza wariancji / Analysis of variance

Zmienna Variable	Analiza wariancji. Zaznaczone efekty są istotne z $p < 0,05$ Analysis of variance. Significant effects are marked with $p < 0.05$	
	F Welcha F Welch	p Welcha p Welch
zaw. garbników [%] tannins cont. [%]	<u>72,068</u>	<u>0,000791</u>
zaw. antocyjanów [%] anthocyanins cont. [%]	<u>1032,052</u>	<u>0,000001</u>

Chociaż ze względu na dość małą liczbę obserwacji w grupach uzyskane wyniki powinny być interpretowane z ostrożnością, to jednak absolutna wielkość różnic pozwala uznać, że obserwowane różnice są znaczące.

Na ryc. 1. przedstawiono porównanie średnich wartości oraz zmienności badanych cech w czterech wariantach siedlisk, zaznaczając grupy jednorodne.



Ryc. 1. Wpływ typu siedliskowego lasu (TSL) na zawartość garbników i antocyjanów w owocach borówki czernicy (grupy jednorodne: A, B, C)

Fig. 1. The influence of forest site type (TSL) on the tannins and anthocyanins content of in bilberry fruits (homogeneous groups: A, B, C)

Po przeprowadzeniu Testu HSD Tukey'a okazało się, że zarówno zawartości garbników jak i antocyjanów w owocach z boru świeżego i lasu mieszanego świeżego nie różnią się istotnie, natomiast w przypadku pozostałych par zmiennych stwierdzono statystycznie istotne różnice.

IV. DYSKUSJA

Uzyskane w niniejszych badaniach wyniki odniesiono do normy precyzowanej przez „Farmakopeę Europejską 11” w monografii „Bilberry fruit, dried” (pol. „Owoc borówki czernicy, suszony”). Tylko jedna próbka (zbiór w lesie mieszanym świeżym) nie spełniła normy zawartości garbników wynoszącej nie mniej niż 0,8% (wynik: 0,7%). Równocześnie

jasne stały się intencję Komisji Farmakopei Europejskiej, która w lipcu 2021 obniżyła farmakopealną normę zawartości garbników w suszonym owocu borówki czernicy z 1,0 do 0,8% w przeliczeniu na pirogalol. O ile dawna norma pozostawałaby nadal obowiązująca, farmakopealne wymogi dotyczące zawartości garbników spełniłaby zaledwie jedna badana przez nas próbka – pochodząca z boru mieszanego bagiennego (wynik 1,0%), a zatem z siedliskowego typu lasu w którym masowy zbiór byłby znacznie utrudniony. Natomiast próbki z bory świeżego (0,8%), boru mieszanego świeżego (0,8%) oraz lasu mieszanego świeżego (0,7%) nie spełniłyby normy farmakopealnej [European... 2022]. Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, jako optymalne miejsce zbioru owoców borówki z przeznaczeniem na produkcję roślinnych produktów leczniczych proponujemy zatem siedliskowy typ lasu – bór mieszany świeży. Borówka czernica na tym siedlisku, najpowszechniejszym w lasach Polski (ok. 25% udziału), występuje powszechnie, często łąnowo, co może zapewnić dużą wydajność zbioru. Ponadto, ze względu na skład gatunkowy – zarówno drzewostanu jak i podszytu – takie lasy są zwykle łatwo dostępne i atrakcyjne dla zbieraczy [Siedliskowe... 2004].

Należy jednak zaznaczyć, że suszony owoc borówki czernicy wykorzystywany jest nie tylko w przemyśle farmaceutycznym, a niska zawartość garbników nie dyskwalifikuje go z użycia w innych gałęziach przemysłu. W badaniach naszych wykazaliśmy, że próbki cechujące się najniższą zawartością garbników, tj. z boru świeżego i lasu mieszanego świeżego, charakteryzowały się równocześnie najwyższą zawartością antocyjanów, wynoszącą odpowiednio 1,47% oraz 1,48%. I to właśnie te dwa siedliskowe typy lasu należy zasugerować przedstawicielom Lasów Państwowych jako optymalne do zakontraktowania w przypadku zbioru na cele spożywcze. Suszony owoc borówki czernicy służy bowiem do produkcji suplementów diety i tzw. „herbatek ziołowych”, a uzyskane przez nas wyniki wskazują, że surowiec zebrany w siedliskach boru świeżego i lasu mieszanego świeżego może wzbogacać ich skład o najwyższą zawartość antocyjanów. Równocześnie cechuje się najniższą zawartością garbników, które w środkach spożywczych traktowane są jako substancje antyodżywcze [Dieta roślinna], w wyższych stężeniach wywołujące działania niepożądane ze strony przewodu pokarmowego [Report... 2017].

Uzyskane wyniki mają znaczenie nie tylko z punktu widzenia wymogów przemysłu farmaceutycznego, ale także badań podstawowych i wymagają szczegółowego wyjaśnienia z punktu widzenia fizjologii roślin. W naszych badaniach najwyższy udział garbników, wynoszący 1%, stwierdziliśmy na siedlisku boru mieszanego bagiennego; pozostałe wyniki istotnie odbiegały od tej wartości. Zwraca uwagę fakt, że pozostałe siedliska, jakkolwiek zróżnicowane troficznie, były jednorodne pod względem wilgotności, czyli świeże – a zatem znacząco mniej wilgotne od boru mieszanego bagiennego. Wydaje się zatem, że wilgotność siedliska w większym stopniu niż żyzność może wpływać na zawartość garbników w owocach.

Wyjaśnienie tego fenomenu jest bardzo złożone. Owoce borówki czernicy charakteryzują się wysoką koncentracją metabolitów wtórnych, zwłaszcza antocyjanów, flawonoli, kwasów fenolowych oraz proantocyjanidyn [Pires i in. 2020]. Choć zawartość fenoli w owocach uzależniona jest od czynników genetycznych [Uleberg i in. 2012], liczne badania wskazują, że czynniki środowiskowe, w szczególności stres siedliskowy, dostępność składników pokarmowych, warunki świetlne, wodne i termiczne, odgrywają kluczową rolę w modulowaniu ich poziomu [Åkerström i in. 2010, Vaneková i in. 2020]. Różnice między owocami borówki rosnącej w borze bagiennym i na siedliskach świeżych można precyzyjnie wyjaśnić, analizując zarówno fizjologię owoców, jak i ekologię roślin [Roston i in. 2011].

Bory bagiennie, rozwijające się na torfowych, słabo zmineralizowanych glebach o bardzo niskiej dostępności azotu i fosforu, tworzą środowisko wyjątkowo ubogie w składniki pokarmowe dostępne dla roślin [Silfverberg i Moilanen 2008, Salmon i in. 2021]. O ile

ograniczenia te hamują przede wszystkim wzrost wegetatywny i reprodukcyjny rośliny, o tyle fotosynteza, zwłaszcza na stanowiskach o rozluźnionym zwarcie drzewostanu, może nadal przebiegać intensywnie. Prowadzi to do wysokiego stosunku węgla do azotu w tkankach roślin, również w owocach [Hirose i Werger 1987, Aerts i Chapin 1999].

Zgodnie z założeniami hipotezy *carbon–nutrient balance*, przy niedoborze azotu roślina nie może inwestować asymilatów w syntezę białek niezbędnych do dynamicznego przyrostu miąższu, nasion czy struktury roślinnej [Bryant i in. 1983, Chen i in. 2022]. Nadwyżki węgla są więc kierowane w biosyntezę metabolitów wtórnych, w tym proantocyjanidyn odkładanych w roślinie [Narvekar i Tharayil 2021]. Co istotne, owoce jagodowe powstające przy silnym ograniczeniu zasobów azotowych mają zwykle mniejszą masę świeżą [Zhang i in. 2023], ale wyższe stężenie fenoli w przeliczeniu na jednostkę masy, co jest typowym efektem stresu zasobowego u tych roślin [Reganold i in. 2010].

Istnieją mechanistyczne podstawy i liczne badania stresu wodnego, wskazujące, że niedotlenienie korzeni prowadzi do wzrostu produkcji reaktywnych form tlenu (ROS), a rośliny mogą reagować aktywacją układów antyoksydacyjnych, w tym biosyntezą fenoli. To oznacza, że w warunkach bagiennych stres oksydacyjny może być silnym stymulatorem produkcji metabolitów fenolowych [Jassey i in. 2015, Pan i in. 2021]. Owoce, jako tkanka wrażliwa na reaktywne formy tlenu powstające podczas dojrzewania, naturalnie odpowiadają zwiększoną akumulacją związków działających ochronnie [Koskimäki i in. 2009].

Garbnikom przypisuje się szczególnie silne właściwości antyoksydacyjne i zabezpieczające struktury komórkowe [Schofield i in. 2001, Amarowicz 2007]. Dlatego owoce borówki dojrzewające w środowisku charakteryzującym się większymi wahaniami temperatury, dużą wilgotnością i utrudnionym transportem tlenu z korzeni do części nadziemnych często kumulują więcej fenoli [Schluter 1999, Zoratti i in. 2015, Manninen i in. 2025]. Jest to mechanizm adaptacyjny mający na celu stabilizację metabolizmu komórkowego w warunkach stresu [Jaakola i in. 2002].

W borach bagiennych zwarcie koron sosny jest często przerzedzone, co powoduje, że owoce borówki są mocniej eksponowane na światło słoneczne oraz większe dawki promieniowania UV-B [Zoratti i in. 2015, Majasalmi i Rautiainen 2020]. Ponadto, w przypadku naszych badań powierzchnia boru mieszanego bagiennego była wąska i usytuowana nad samym jeziorem, co dodatkowo zwiększało insolację. Intensywność światła i promieniowania UV jest jednym z najsilniejszych czynników zwiększających syntezę polifenoli w owocach rodzaju *Vaccinium* [Zoratti i in. 2015, Li i in. 2023]. Mechanizm ten polega na aktywacji szlaku fenylopropanoidowego i przyspieszonej polimeryzacji katechin do proantocyjanidyn [Riihinen i in. 2008]. W efekcie owoce z siedlisk bagiennych są bogatsze w garbniki odpowiadające za cierpki posmak [Karppinen i in. 2016].

Na siedliskach torfowiskowych gleba jest chłodniejsza, a cykl dobowych temperatur wykazuje większe wahania [Słowińska i in. 2022]. Takie warunki spowalniają dojrzewanie owoców i prowadzą do dłuższego okresu ich ekspozycji na czynniki stresowe, w tym UV, chłód i reaktywne formy tlenu, co jest zgodne z obserwacjami, że czynniki środowiskowe wydłużające rozwój jagód wpływają na ich metabolizm wtórny oraz nasilają odpowiedź fenolową [Zoratti i in. 2015, Karppinen i in. 2016]. Wydłużenie fazy dojrzewania sprzyja kumulacji metabolitów wtórnych, ponieważ roślina przez dłuższy czas inwestuje w syntezę fenoli, zanim owoce osiągną pełną dojrzałość [Nguyen 2024]. Owoce borówki rozwijające się na siedliskach o niskiej zasobności mineralnej mogą wykazywać wyższą zawartość suchej masy, co przekłada się na większe stężenie związków fenolowych, w tym garbników [Herms i Mattson 1992, Routray i Orsat 2011].

Garbnikom przypisuje się funkcje przeciwwgrzybicze i antybakteryjne [Scalbert 1991], dlatego zwiększona ich zawartość w owocach borówki rosnącej w borze bagiennym jest zgodna z teorią obrony indukowanej i konstytutywnej [Karban i Baldwin 2007, Barbehenn i Constabel 2011]. Rośliny, które rosną w środowisku, gdzie każdy owoc ma wysoką wartość reprodukcyjną, inwestują proporcjonalnie więcej w ochronę chemiczną niż osobniki z siedlisk świeżych [Obeso 2002]. Wszystkie wymienione mechanizmy działają synergicznie, co w rezultacie sprawia, że owoce borówki rosnącej w borze mieszanym bagiennym mają wyraźnie wyższą zawartość garbników niż owoce z boru świeżego.

Odmienny charakter zmian zawartości antocyjanów w naszych badaniach można wytłumaczyć faktem, że synteza garbników i antocyjanów jest regulowana przez odmienne czynniki środowiskowe; ponadto pełnią one różne funkcje biologiczne. Dlatego ich zawartość w owocach nie musi wynikać z warunków siedliskowych w identyczny sposób. Najwyższa zawartość garbników była w borze mieszanym bagiennym, co jest typowe dla roślin rosnących w warunkach związanych ze stresami środowiskowymi. W takich warunkach roślina dysponuje relatywną nadwyżką asymilatów w stosunku do możliwości budowy białek i tkanek, co jest zgodne z hipotezą *carbon–nutrient balance*. Z tego względu owoce borówki z boru bagiennego kumulują wyraźnie większą ilość garbników niż owoce z siedlisk świeżych. Natomiast antocyjany wykazują odmienny wzorzec przestrzenny. Synteza zależy bardziej od dojrzałości owoców, zasobności siedliska, warunków termicznych oraz lokalnej ekspozycji na światło. W przeciwieństwie do garbników, których stężenia wzrastają pod wpływem długotrwałego stresu, zawartość antocyjanów silnie reaguje na tempo dojrzewania owoców i naświetlenie. Owoce rosnące na borze bagiennym, choć bogate w garbniki, często dojrzewają wolniej, co może powodować, że w momencie zbioru nie osiągają jeszcze maksymalnej koncentracji antocyjanów. Najniższą zawartość antocyjanów w borze mieszanym świeżym może wynikać z tego że to siedlisko o dość mocno zacienionym runie, gdzie zwarcie koron drzew oraz podszyt silniej ograniczają dopływ światła, redukując ekspozycję owoców na promieniowanie UV i światło niezbędne do intensywnej syntezy barwników. Jednocześnie poziom stresu środowiskowego jest tam umiarkowany, a taka kombinacja czynników nie sprzyja produkcji antocyjanów [Rosłon i in. 2011]. Można domniemywać, że wysoka zawartość garbników w borze bagiennym wynika z przewlekłego stresu i ograniczeń zasobowych, natomiast przestrzenne zróżnicowanie antocyjanów odzwierciedla przede wszystkim dostęp światła i tempo dojrzewania owoców. Obie grupy związków odpowiadają więc na odmienne bodźce środowiskowe, co tłumaczy brak równoległych trendów oraz najniższą zawartość antocyjanów na siedlisku boru mieszanego świeżego.

Powyższa próba interpretacji uzyskanych przez nas wyników pokazuje złożoność czynników modyfikujących skład chemiczny roślin, a w konsekwencji – jakość surowców zielarskich. Głównym wszakże celem naszych badań było zaproponowanie wstępnych rekomendacji dotyczących zbioru owoców borówki czernicy z przeznaczeniem na surowiec garbnikowy. Opracowanie takich założeń należy współcześnie bezwzględnie rozpatrywać w powiązaniu z zasadami prowadzenia trwałej i zrównoważonej gospodarki leśnej. Te z kolei, wynikając bezpośrednio z priorytetów polityki leśnej Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów w Europie (MCPFE, aktualnie: Forest Europe) [Zaleski 2017], przekładają się między innymi na wymagania stawiane gospodarce leśnej przez systemy certyfikacji, np. PEFC. Obowiązująca Krajowa norma PEFC [Krajowa... 2024] bardzo dokładnie precyzuje takie wymagania. Czytamy tam m.in.: „W ramach gospodarki leśnej należy zachowywać i w miarę możliwości zwiększać zasoby leśne oraz dążyć do zróżnicowania produkcji towarów i usług w perspektywie długoterminowej”, co oczywiście należy rozumieć jako

ważny krok w kierunku zwiększenia udziału nieдрzewnej produkcji leśnej w profilu działalności Lasów Państwowych. Ta zmiana paradygmatu gospodarki leśnej musi być prędzej czy później dostrzeżona przez administrację Lasów Państwowych; wszak w ramach audytu pojawią się konkretne pytania, wymagające jednoznacznych odpowiedzi, np.: „Czy organizacja certyfikowana prowadzi działania zmierzające do zróżnicowania oferowanych produktów i usług wykraczających poza surowiec drzewny? Czy organizacja certyfikowana kontroluje komercyjne użytkowanie nieдрzewnych zasobów leśnych? Czy organizacja certyfikowana ma podpisane umowy na pozyskiwanie nieдрzewnych produktów leśnych do celów przemysłowych?” [Krajowa... 2024]. Wydaje się, że w tym kontekście wyniki naszych wstępnych (ale także – przyszłych!) badań mogą być cenną wskazówką ułatwiającą sporządzanie umów kontraktacyjnych pomiędzy przedstawicielami gospodarki leśnej i firmami farmaceutycznymi – czyli porozumień uwzględniających jakość surowca, jego dostępność, procedury pozyskiwania itp. Są to bowiem konieczne uwarunkowania prowadzenia nowoczesnego i zrównoważonego nieдрzewnego użytkowania lasu.

V. PODSUMOWANIE

Wyniki naszych wstępnych badań wskazują, że siedliskowym typem lasu w którym można zbierać owoc borówki czernicy o najwyższej zawartości garbników jest bór mieszany bagienny (zawartość garbników 1,0%). Należy jednak zaznaczyć, że w kontekście udziału typów siedliskowych lasu w Polsce nie należy wiązać z siedliskiem tym perspektyw zbioru na masową skalę. Jako siedlisko najodpowiedniejsze do pozyskania owoców borówki czernicy na potrzeby przemysłu farmaceutycznego rekomendujemy zatem bór mieszany świeży, ze względu na powszechność jego występowania (ok. 25% wszystkich lasów w Polsce) oraz uzyskane wyniki, przekraczające farmakopealną normę 0,8% zawartości garbników. Ten siedliskowy typ lasu powinien być zatem wskazywany przez przedstawicieli Lasów Państwowych przy podpisywaniu umów kontraktacyjnych z firmami farmaceutycznymi planującymi pozyskiwać surowiec z przeznaczeniem do produkcji roślinnych produktów leczniczych. Z kolei zbiór surowca najbogatszego w antocyjany, a równocześnie najuboższego w garbniki realizowany może być w siedlisku boru świeżego (1,47%) i lasu mieszanego świeżego (1,48%) i te siedliskowe typy lasu powinny zostać wskazane jako optymalne w umowach kontraktacyjnych z firmami przemysłu spożywczego, planującymi produkcję środków spożywczych.

Równocześnie należy podkreślić, że badania niniejsze jako czynnik zmienny uwzględniły wyłącznie siedliskowy typ lasu i przeprowadzone zostały na owocach borówki czernicy zebranych w jednym terminie. Nie uwzględniliśmy natomiast potencjalnej zmienności zawartości garbników w czasie, która – podobnie jak w przypadku innych surowców leczniczych – może okazać się znaczna. Zagadnienie to musi zostać podjęte w kolejnych pracach badawczych, prowadząc do opracowania wyczerpujących rekomendacji dla przedstawicieli gospodarki leśnej, podpisujących umowy kontraktacyjne z firmami farmaceutycznymi.

BIBLIOGRAFIA

1. Aerts R., Chapin F. S. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. In *Advances in ecological research*. Vol. 30. 1-67. Academic Press.
2. Åkerström A., Jaakola L., Bång U., Jäderlund A. 2010. Effects of latitude-related factors and geographical origin on anthocyanidin concentrations in fruits of *Vaccinium myrtillus* L. (bilberries). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58 (22). 11939-11945.

3. Amarowicz R. 2007. Tannins: the new natural antioxidants? *European Journal of Lipid Science and Technology*. 109 (6). 549-551.
4. Baraniak J., Kania M. 2015. Borówka, winorośl i granatowiec – znane rośliny o aktywności przeciwutleniającej. *Postępy Fitoterapii*. 16 (1). 50-55.
5. Barbehenn R. V., Constabel C. P. 2011. Tannins in plant–herbivore interactions. *Phytochemistry*. 72 (13). 1551-1565.
6. Bilek M. 2023. Roślinne produkty lecznicze. *Aptekarz Polski*. 203 (7). 39-50.
7. Bilek M., Dudek T., Czerniakowski Z., Staniszewski P. 2020. Owoc borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) jako farmakopealny surowiec antocyjanowy. *Sylwan* 164 (9). 783-792.
8. Bilek M., Ekiert R., Staniszewski P. 2019. Środowisko leśne źródłem surowców leczniczych. *Las Polski*. 20. 30-31.
9. Bilek M., Staniszewski P. 2020. Jak pozyskiwać leśne surowce niedrzewne? Zalecenia w świetle „Zasad użytkowania lasu” oraz norm i wytycznych przemysłu spożywczego i farmaceutycznego. *Las Polski*. 12. 26-29.
10. Bilek M., Staniszewski P., Okta J., Kopeć S., Czerniakowski Z. 2025. Roślinne produkty lecznicze w koncepcji zrównoważonego rozwoju gospodarki leśnej. *Polish Journal for Sustainable Development*. 29 (1). 7-18. DOI: 10.15584/pjsd.2025.29.1.1
11. Bryant J. P., Chapin III F. S., Klein, D. R. 1983. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory. *Oikos*. 357-368.
12. Chen Y., Chu C., H, F., Fang S. 2022. A mechanistic model for nitrogen-limited plant growth. *Annals of Botany*. 129 (5). 583–592.
13. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 2023.a. A Green Deal Industrial Plan for the Net-Zero Age. COM/2023/62 final. [Downloaded from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52023DC0062>].
14. Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions 2023.b. A long-term Vision for the EU's Rural Areas - Towards stronger, connected, resilient and prosperous rural areas by 2040 COM/2021/345 final. [Downloaded from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0345>].
15. Dieta roślinna. [dok. elektr.: https://ncez.pzh.gov.pl/wp-content/uploads/2024/06/zalecenia_dietetycy_dieta-roslinna.pdf, data wejścia 10.12.2025].
16. Drozd J., Anuszevska E. 2013. Czarna jagoda – perspektywy nowych zastosowań w profilaktyce i wspomaganiu leczenia chorób cywilizacyjnych. *Przegląd Medyczny Uniwersytetu Rzeszowskiego i Narodowego Instytutu Leków w Warszawie*. 2. 226-235.
17. Ekiert R., Bilek M., Staniszewski P. 2019. Na czym polega współpraca z firmą zielarską? *Las Polski*. 22. 20-21.
18. Supplement 10.5. European Pharmacopoeia 2020. Tenth edition. Council of Europe, European Directorate for the Quality of Medicines and Healthcare, Strasbourg.
19. European Pharmacopoeia 2022. Eleventh edition. Council of Europe, European Directorate for the Quality of Medicines and Healthcare, Strasbourg.
20. Głowacki S. 1999. Przemysłowe wykorzystanie leśnych surowców ubocznych. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*. 5. 17-19.
21. Guideline on good agricultural and collection practice (GACP) for starting materials of herbal origin. 2006. [dok. elektr.: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/guideline-good-agricultural-collection-practice-gacp-starting-materials-herbal-origin-revision-1_en.pdf, data wejścia 10.12.2025].

22. Herms D. A., Mattson W. J. 1992. The dilemma of plants: to grow or defend. *The Quarterly Review of Biology*. 67 (3). 283-335.
23. Hirose T., Werger, M. J. A. 1987. Maximizing daily canopy photosynthesis with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. *Oecologia*. 72 (4). 520-526.
24. Jaakola L., Määtä K., Pirttilä A. M., Törrönen R., Kärenlampi S., Hohtola A. 2002. Expression of genes involved in anthocyanin biosynthesis in relation to anthocyanin, proanthocyanidin, and flavonol levels during bilberry fruit development. *Plant Physiology*. 130 (2). 729-739.
25. Jassey V. E., Signarbieux C., Hättenschwiler S., Bragazza L., Buttler A., Delarue F., Robroek B. J. 2015. An unexpected role for mixotrophs in the response of peatland carbon cycling to climate warming. *Scientific Reports*. 5 (1). 16931.
26. Karban R., Baldwin I. T. 2007. Induced responses to herbivory. University of Chicago Press.
27. Karpunen K., Zoratti L., Nguyenquynh N., Häggman H., Jaakola L. 2016. On the developmental and environmental regulation of secondary metabolism in *Vaccinium* spp. berries. *Frontiers in Plant Science*. 7. 655.
28. Koskimäki J. J., Hokkanen J., Jaakola L., Suorsa M., Tolonen A., Mattila S., ... Hohtola A. 2009. Flavonoid biosynthesis and degradation play a role in early defence responses of bilberry (*Vaccinium myrtillus*) against biotic stress. *European Journal of Plant Pathology*. 125 (4). 629-640.
29. Krajowa norma PEFC. PEFC PLver2:2024. Luty 2024. Zrównowazona gospodarka leśna – wymagania. [dok. elektr.: <https://cdn.pefc.org/pefc.pl/media/2025-06/822902b8-ffb1-47be-9650-ea1144e75546/bcf9c980-3ca2-5cc4-a3f0-b7ea56f38998.pdf>]
30. Kutner et. al. 2005. *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill.
31. Li X., Ren Q., Zhao W., Liao C., Wang Q., Ding T., Wang M. 2023. Interaction between UV-B and plant anthocyanins. *Functional Plant Biology*. 50 (8). 599-611.
32. Majasalmi T., Rautiainen M. 2020. The impact of tree canopy structure on understory variation in a boreal forest. *Forest Ecology and Management*. 466. 118100.
33. Manninen O. H., Martz,F., Sorvari J., Merilä P. 2025. Fruit quality of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in boreal forests: Effects of forest stand, understorey, and soil characteristics. *Forest Ecology and Management*. 596. 123077.
34. Narvekar A. S., Tharayil N. 2021. Nitrogen fertilization influences the quantity, composition, and tissue association of foliar phenolics in strawberries. *Frontiers in Plant Science*. 12. 613839.
35. Nguyen N. 2024. Towards a comprehensive understanding of the fruit development and ripening process of wild bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.).
36. Nowacka W. Ł., Staniszewski P. 2017. Handel przydrożny surowcami ubocznymi pochodzącymi z lasu – zagrożenia dla sprzedawców i kupujących. [w]: *Ergonomia w produkcji, przetwarzaniu i dystrybucji surowców biologicznych*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2017.
37. Obeso J. R. 2002. The costs of reproduction in plants. *New Phytologist*. 155 (3). 321-348.
38. Pan J., Sharif R., Xu X., Chen X. 2021. Mechanisms of waterlogging tolerance in plants: Research progress and prospects. *Frontiers in Plant Science*. 11. 627331.
39. Pires, T. C., Caleja, C., Santos-Buelga, C., Barros, L., & Ferreira, I. C. 2020. *Vaccinium myrtillus* L. fruits as a novel source of phenolic compounds with health benefits and industrial applications—a review. *Current Pharmaceutical Design*. 26 (16). 1917-1928.
40. Report on Salix. 2017.[various species including *S. purpurea* L., *S. daphnoides* Vill., *S. fragilis* L.], cortex. [dok. elektr.: <https://www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-report/final->

- assessment-report-salix-various-species-including-s-purpurea-l-s-daphnoides-vill-s-fragilis-l-cortex_en.pdf*, data wejścia 10.12.2025].
41. Reganold, J. P., Andrews, P. K., Reeve, J. R., Carpenter-Boggs, L., Schadt, C. W., Alldredge, J. R., ... & Zhou, J. 2010. Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems. *PLOS One*. 5 (9). e12346.
 42. Rejestr produktów leczniczych. [dok. elektr.: <https://www.gov.pl/web/urpl/rejestr-produktow-leczniczych3>, data wejścia 10.12.2025].
 43. Riihinen, K., Jaakola, L., Kärenlampi, S., & Hohtola, A. 2008. Organ-specific distribution of phenolic compounds in bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and 'Northblue' blueberry (*Vaccinium corymbosum* × *V. angustifolium*). *Food Chemistry*. 110 (1). 156-160.
 44. Rosłon W., Osińska E., Pióro-Jabrucka E., Grabowska A. 2011. Morphological and chemical variability of wild populations of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). *Polish Journal of Environmental Studies*. 20 (1). 237-243.
 45. Routray W., Orsat V. 2011. Blueberries and their anthocyanins: factors affecting biosynthesis and properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 10 (6). 303-320.
 46. Salmon V. G., Brice D. J., Bridgham S., Childs J., Graham J., Griffiths N. A., Hanson P. J. 2021. Nitrogen and phosphorus cycling in an ombrotrophic peatland: a benchmark for assessing change. *Plant and Soil*. 466 (1). 649-674.
 47. Scalbert A. 1991. Antimicrobial properties of tannins. *Phytochemistry*. 30 (12) 3875-3883.
 48. Schluter U. 1999. Long-term anoxia tolerance in leaves of three wetland species (*Acorus calamus* L., *Iris pseudacorus* L., *Vaccinium macrocarpon* Ait.). University of St. Andrews.
 49. Schofield P., Mbugua D. M., Pell A. N. 2001. Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 91 (1-2). 21-40.
 50. Siedliskowe podstawy hodowli lasu. 2024. Załącznik do Zasad hodowli lasu. Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu.
 51. Silfverberg K., Moilanen M. 2008. Long-term nutrient status of PK fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. *Suo*. 59 (3). 71-88.
 52. Słowińska S., Słowiński M., Marcisz K., Lamentowicz M. 2022. Long-term microclimate study of a peatland in Central Europe to understand microrefugia. *International Journal of Biometeorology*. 66 (4). 817-832.
 53. Staniszewski P. 2018. Perspektywy nieдрzewnego użytkowania lasu. *Postępy Techniki w Leśnictwie*. 143. 7-18.
 54. Staniszewski P. 2010a. Pozyskiwanie leśnych roślin leczniczych. *Panacea*. 30(1). 16-17.
 55. Staniszewski P. 2010b. Pozyskiwanie leśnych roślin leczniczych. *Panacea*. 31(2). 22-23.
 56. Staniszewski P., Kopeć S., Woźnicka M., Janeczko E., Bilek M. 2019. The forest that heals – forest environment as a source of herbal medicinal raw materials. Public recreation and landscape protection – with sense hand in hand. Conference proceeding. May 13-15. 2019. Křtiny. [w] Jitka Fialová (red.). ISBN 978-80-7509-659-3. Mendel University in Brno 2019. 393-298.
 57. StatSoft Inc. 2013. STATISTICA (data analysis software system). version 13. www.statsoft.com.
 58. Szafer W., Zarzycki K. 1977. Szata roślinna Polski. T. I–II. Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1977.
 59. Szajdek A., Borowska J. 2004. Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka Technologia Jakość*. 41 (4). 5-28.
 60. Uleberg E., Rohloff J., Jaakola L., Tröst K., Junttila O., Häggman H., Martinussen I. 2012. Effects of temperature and photoperiod on yield and chemical composition of northern and

- southern clones of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60 (42). 10406-10414.
61. Ustawa o lasach. Pub. L. No. Dz.U. z 2023 r. poz. 1356 (1991).
 62. Vaneková Z., Vanek M., Škvarenina J., Nagy M. 2020. The influence of local habitat and microclimate on the levels of secondary metabolites in Slovak bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruits. Plants. 9 (4). 436.
 63. Wawrzyniak A., Krotki M., Stoparczyk B. 2011. Właściwości antyoksydacyjne owoców i warzyw. Medycyna Rodzinna. 14 (1). 19-23.
 64. Zalega J., Szostak-Węgierek D. 2013. Żywnienie w profilaktyce nowotworów. Część I. Polifenole roślinne, karotenoidy, błonnik pokarmowy. Problemy Higieny i Epidemiologii. 94 (1). 41-49.
 65. Zaleski J. 2017. Priorytety polityki leśnej Ministerialnego Procesu Ochrony Lasów w Europie. Sylwan. 161 (2). 124-130.
 66. Zasady użytkowania lasu. Pub. L. No. Załącznik nr 1 do Zarządzenia DGLP nr 66 z dnia 7 listopada 2019 r. Państwowe Gospodarstwo Leśne.
 67. Zhang X., Li S., An X., Song Z., Zhu Y., Tan Y., Wang D. 2023. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium formula fertilization on the yield and berry quality of blueberry. PLOS One. 18 (3). e0283137.
 68. Zoratti L., Jaakola L., Häggman H., Giongo L. 2015. Modification of sunlight radiation through colored photo-selective nets affects anthocyanin profile in *Vaccinium* spp. berries. PLOS One. 10 (8). e0135935.