

SZCZEPAN KOPEĆ, PAWEŁ STANISZEWSKI, MACIEJ BILEK

Założenia metodyczne badań nad użytkowaniem soku brzożowego

Methodological assumptions of research on the birch sap use

ABSTRACT

Kopeć S., Staniszewski P., Bilek M. 2021. Założenia metodyczne badań nad użytkowaniem soku brzożowego. Sylwan 165 (1): 61-72. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2020111>.

Silver birch (*Betula pendula* Roth.) sap is one of the prospective non-wood forest products of Central Europe, with a wide range of practical uses, especially in the food industry. Therefore, its collection and use requires reliable scientific basis starting from determining the intensity of the leak, through the variability of quality parameters, to the principles of commercial harvesting. A literature review shows that the knowledge about the use of birch sap is extensive but incomplete. So far, very detailed studies on the use value and chemical composition of sap have been carried out, however, they have not taken into account typical forest conditions, including regionalization, habitat conditions, and tree parameters. The aim of the study was to develop the methodological assumptions of comprehensive research on the use of birch sap. The novelty of this approach is the need to consider many factors influencing not only the efficiency of the sap leak, but also its quality, understood both as nutritional and health-promoting values, as well as a potential toxicological risk, and therefore factors determining suitability for processing in the food industry. It was proposed to conduct research over a period of several years in various regions of the country and in separate natural and forest regions, in which the birch resource base is the largest, including the three selected forest habitat types. The study of the variability of the leak intensity and the physical and chemical properties of the sap will be carried out with continuous collection, every 24 hours, for the entire period of the sap flow. The proposed scope of research and the described assumptions as well as methodological conditions constitute a new value, as they will allow for a comprehensive understanding of this valuable raw material, solving a scientific problem, and also constituting the basis for developing the principles of birch sap utilization – regulations necessary, if this raw material is to be obtained on a large scale.

KEY WORDS

non-wood forest products, silver birch sap utilization, birch sap physical and chemical parameters

ADDRESSES

Szczepan Kopeć ⁽¹⁾ – e-mail: szczepan_kopec@sggw.edu.pl

Paweł Staniszewski ⁽¹⁾ – e-mail: pawel_staniszewski@sggw.edu.pl

Maciej Bilek ⁽²⁾ – e-mail: mbilek@ur.edu.pl

⁽¹⁾ Katedra Użytkowania Lasu, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽²⁾ Zakład Agrokologii i Użytkowania Lasu, Uniwersytet Rzeszowski; ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-601 Rzeszów

Wstęp

Niedrzewne użytkowanie lasu, rozumiane jako korzystanie z leśnych dóbr i pożytków niebędących drewnem, odgrywa znaczącą rolę w trwałym i zrównoważonym rozwoju, szczególnie regionalnym [Barszcz 2006; Barszcz, Suder 2009; Staniszewski 2013, 2016; Staniszewski, Kalinowski 2013]. Problem regulacji użytkowania lasu – także niedrzewnego – jest elementem promującym zrównoważony rozwój leśnictwa, zwłaszcza w kontekście adaptacji do zmian klimatycznych [Borecki i in. 2018]. Ponadto poszukiwanie innych poza drewnem źródeł dochodu z gospodarki leśnej, jak również nawiązywanie współpracy z potencjalnymi partnerami handlowymi z obszaru przemysłu spożywczego i farmaceutycznego jest jednym z priorytetów wymienianych przez Unię Europejską w „Nowej strategii leśnej” oraz postulatem licznych publikacji [Zrównowazona... 2012; Komunikat... 2013; Bilek i in. 2019]. Surowcem, który w powyższym kontekście zasługuje na szczególną uwagę, jest sok brzożowy, w warunkach polskich pozyskiwany głównie z brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.). Wielu badaczy podkreśla, że jest on jednym z najbardziej perspektywicznych niedrzewnych surowców leśnych środkowej Europy, o szerokich możliwościach praktycznego wykorzystania, m.in. w przemyśle spożywczym i kosmetycznym [Zyryanova i in. 2010; Beck i in. 2016; Enescu 2017]. Badania przeprowadzone w Estonii w latach 70. XX wieku wykazały, że zysk osiągnięty z pozyskiwania soku brzożowego był sześciokrotnie większy niż zysk ze sprzedaży drewna brzożowego na tym samym terenie [Silm 1977]. Grochowski [1990] podaje, że wartość soku brzożowego zbieranego w dwóch drzewostanach przez 10 lat ponad 18-krotnie przekracza wartość surowca drzewnego pozyskanego z tego terenu.

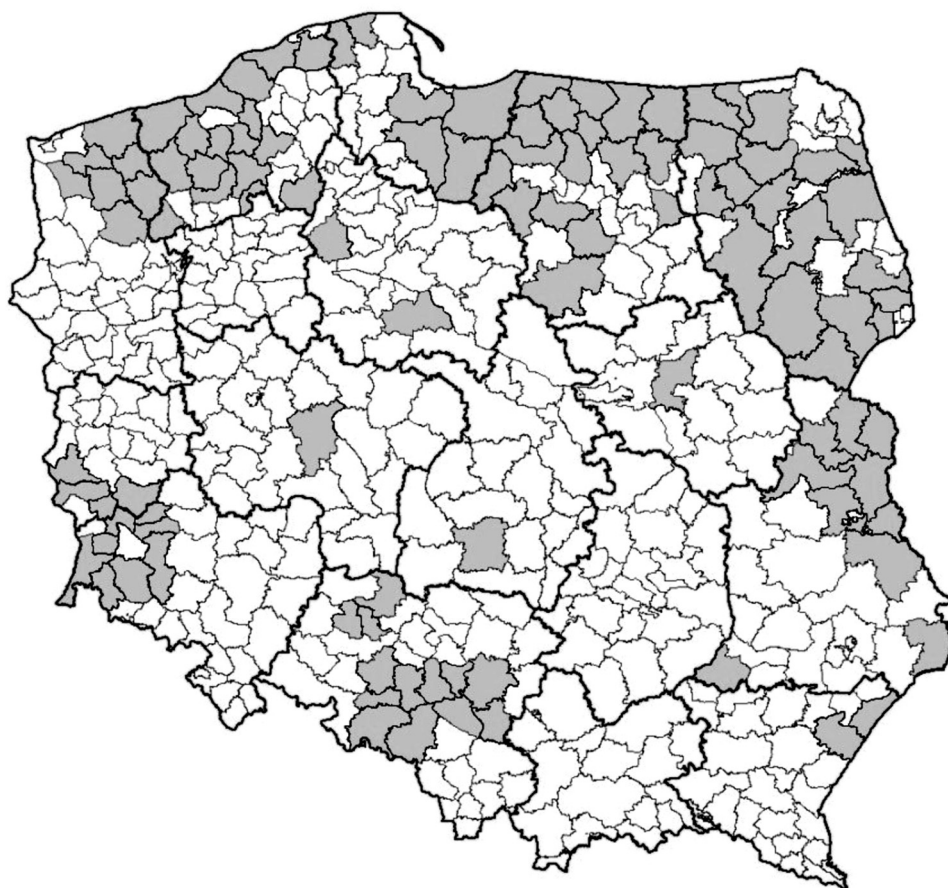
Sok brzożowy, zwany też oskołą, w średniowieczu był szeroko znany w Europie i na innych kontynentach. Używano go do bezpośredniego spożycia (świeży lub sfermentowany), a także do celów leczniczych i kosmetycznych [Haberland 1926; Manninen 1931; Berg 1933; Kostron 1974; Gunda 1987]. Szczególnie intensywne jego wykorzystanie obserwowano w krajach skandynawskich, w Rosji, na Ukrainie, Litwie i Łotwie, w Estonii, Słowacji, Czechach i na Bałkanach. Liczne prace etnograficzne opisują dawne ludowe zastosowania lecznicze i żywieniowe soku brzożowego [Svanberg i in. 2012; Papp i in. 2014; Sõukand i in. 2015].

Sok brzożowy użytkowano także w Polsce. Wiele źródeł etnograficznych opisuje, że był szeroko użytkowany w XIX wieku (głównie z *Betula pendula*, rzadziej z *Betula pubescens*). Pozyskiwany był przez złamanie gałęzi lub wywiercenie otworu w pniu, a następnie wykonanie małego koryta lub rurki z drewna, przez które sok spływał do pojemników. Grochowski [1990] opisuje, że Białostockie Przedsiębiorstwo Produkcji Leśnej „Las” pozyskiwało 30-50 ton soku brzożowego rocznie, z którego wytwarzało pasteryzowany napój wzbogacony dodatkami smakowymi. Dla porównania na terenie Ukrainy pozyskiwano około 3 tys. ton oskoły rocznie [Orłow 1974]. Stosowanie soku brzożowego było najlepiej znane we wschodniej części kraju. Stosunkowo rzadko poddawano go przetwarzaniu, jednak był czasem gotowany z mąką żytnią i mlekiem [Dekowski 1973] oraz odparowywany do konsystencji syropu i używany do słodzenia żywności [Chętnik 1936]. W XX wieku znaczenie i pozyskiwanie soku brzożowego w Polsce zmalało [Łuczaj 2011]. Dopiero w ostatnich latach, wraz z modą na zdrowe, naturalne produkty pochodzące z nieskażonych źródeł, zainteresowanie nim zaczęło rosnąć, zwłaszcza w obliczu potwierdzonych właściwości prozdrowotnych i wysokiej wartości żywieniowej [Bilek i in. 2016c].

W Polsce największy potencjał w zakresie pozyskiwania soku wykazuje brzoza brodawkowata (*Betula pendula* Roth.). Brzoza jest trzecim (po sośnie i dębie) najczęściej występującym gatunkiem lasotwórczym w Polsce [Rocznik... 2019]. Ogółem zajmuje około 667 tys. ha, co stanowi 7,2% powierzchni lasów w Polsce. Najwięcej drzewostanów brzożowych występuje w północno-

-wschodniej, północnej i południowo-zachodniej Polsce (ryc.). Według Wielkoobszarowej... [2020] w lasach Skarbu Państwa brzoza stanowi 7,1% powierzchni, a w lasach prywatnych 10%. W PGL LP najczęściej występującymi typami siedliskowymi lasu są nizinne bory (20,4%), bory mieszane (28,4%), lasy mieszane (24,5%) i lasy (14,1%). Brzoza najczęściej występuje na siedliskach: Lśw – 22,45%, LMśw – 20,64%, LMw – 13,02% i BMśw – 9,02%.

Przesłanką do podjęcia niniejszej pracy jest założenie, że sok brzozowy w Polsce jest surowcem perspektywnym. Jego zorganizowane pozyskiwanie i użytkowanie wymaga zatem rzetelnych podstaw naukowych – poczynając od określenia intensywności wycieku, poprzez zmienność parametrów jakościowych, aż po zasady pozyskiwania. Celem pracy było opracowanie założeń metodycznych kompleksowych badań dotyczących użytkowania soku brzozowego. Nowością tego podejścia jest konieczność uwzględnienia wielu czynników wpływających nie tylko na wydajność wycieku soku, ale także na jego jakość – rozumianą zarówno jako walory żywieniowe, prozdrowotne, jak i potencjalne zagrożenie toksykologiczne, a zatem czynniki determinujące przydatność do przetwórstwa w przemyśle spożywczym.



Ryc.

Rozmieszczenie drzewostanów z brzozą jako gatunkiem panującym w nadleśnictwach na powierzchni powyżej 1000 ha [Lachowicz i in. 2019]

Distribution of stands with birch as a dominant species in forest districts in area over 1000 ha [Lachowicz et al. 2019]

Badania z zakresu właściwości i użytkowania soku brzozonego

Fizjologia wycieku soków drzewnych jest opisana w literaturze jako wytwarzanie „soku płaczu” lub „wiosennego płaczu”, co polega na wydzielaniu się soku z ksylemu z pędów roślin uciętych nad powierzchnią gleby w okresie wczesnowiosennym. W tym czasie u drzew liściastych bez ulistnienia, przy dużej dostępności wody i wysokiej wilgotności względnej powietrza, transpiracja ulega ograniczeniu. Woda dostarczana jest z korzeni do reszty rośliny pod ciśnieniem nawet do 0,7-0,8 MPa. Wiosną proces ten pozwala na dostarczenie wody i substancji pokarmowych do pąków roślin drzewiastych [Kopcewicz, Lewak 2002; Kaczmarczyk 2015].

Kostroń [1974] i Grochowski [1990] stwierdzają, że prawidłowo prowadzone pozyskiwanie soku nie wpływa negatywnie na wzrost drzew. Orłow [1974] podaje, że po 5 latach od pozyskiwania soku brzozy znajdowały się w normalnym stanie: liście rozwijały się jednocześnie na drzewach użytkowanych i nieużytkowanych, nie stwierdzono żadnych schorzeń, a obrządzanie nasion było dobre. Po trzecim roku skaleczenia drzewa zarastały tkanką kalusową i pokrywały się korą, pozostawiając niewielką bliznę.

Po pozyskiwaniu najczęściej zalecany zabieg był wypełnianie otworów wiórami brzożowymi i zalepianie ich pastą ogrodniczą lub pastą z żywicy sosnowej i popiołu drzewnego [Grochowski 1990]. Kostroń [1974] również podaje sposób z pastą ogrodniczą i wiórami brzożowymi. Bilek i in. [2016b] zalecają, by w wywierconych otworach umieszczać zanurzone w paście ogrodniczej drewniane kołki o średnicy i długości odpowiadającej nawierceni, co pozwoli na zminimalizowanie ryzyka zakażenia drzewa. Clatterbuck [2006] sugeruje, aby wokół miejsca nawiercenia pozbyć się za pomocą ostrego narzędzia kory wraz z tkankami, aż do drewna, tworząc nacięcie o soczewkowatym kształcie, dzięki czemu drzewo w szybszy i bezpieczniejszy sposób zaleczy powstałe uszkodzenie. Podkreśla również, że stosowanie smoły i farb może mieć szkodliwe skutki (sprzyjanie rozwojowi grzybów, zakłócanie powstawania tkanki kalusowej, źródło pokarmu dla patogenów).

Ważny jest również wybór miejsca, w którym wykonane zostaną otwory, oraz ich liczba w jednym drzewie. Według Grochowskiego [1990] im wyżej położone jest nacięcie, tym słodszy jest wyciekający z niego sok. Nawiercenie w pniu powinno być wykonane na wysokości 30-40 cm, średnica otworu powinna wynosić od 5 do 20 mm, a głębokość 2-3 cm (nie licząc grubości kory). Kostroń [1974] podaje, że optymalnym sposobem jest wywiercenie otworu o średnicy 8 mm i głębokości 6 cm na wysokości 50 cm. Zalecane średnice otworów to m.in.: 9,5-11,1 mm [Panischin i in. 1962], 9-11 mm [Dinulescu 1968], 5-10 mm [Koroljak, Tomčuk 1971]. Większość badaczy zaleca lokalizację otworów na wysokości 50-100 cm.

Amerykańskie badania innych gatunków wykazały, że z otworów nawierconych w klonie (*Acer* spp.) na głębokość 3 cali (7,62 cm) wyciekało o 25% więcej soku niż z tych o głębokości 2 cali (5,08 cm), a z otworów o głębokości 10 cm $\frac{1}{3}$ – ilości soku wypływała z wewnętrznych 5 cm [Moore i in. 1951]. Nowak [1966] podaje, że optymalna głębokość nawiercenia powinna się wahać w granicach 2-5 cm, a Dinulescu [1968] wskazuje na otwory o głębokości 6-8 cm.

Według Kostrońa [1974] na intensywność wycieku soku mają wpływ siedlisko oraz jakość i stan zdrowotny drzewostanu, wyrażany za pomocą wielkości korony oraz przeciętnej grubości drzew. Ten sam autor twierdzi, że na ilość wyciekającego soku wpływ mają także stosunki wodne w glebie, wiek drzew oraz ich ekspozycja. Stwierdza on ponadto, że im bardziej zasobna jest gleba, a drzewa są lepsze jakościowo, tym większa jest korona, system korzeniowy oraz przeciętna grubość drzewa, czego następstwem jest większa produkcja soku. Nie jest to jednak jednoznacznie potwierdzone. Ponadto na bardziej suchych glebach ilość soku jest mniejsza, wzrasta natomiast

zawartość cukrów [Kostroń 1974]. Grochowski [1990] stwierdza, że na siedliskach wilgotnych wyciek soku brzożowego jest obfitszy, z kolei na siedliskach suchszych jego ilość jest mniejsza, lecz o wyższej zawartości cukrów. Według Kostrońa [1974] największą produkcję soku obserwuje się w zdrowych, młodszych i 30-40-letnich drzewostanach brzożowych. Badania przeprowadzone w 2017 roku dotyczące wydajności wypływu soku brzożowego w zależności od klasy wieku drzewostanu wyraźnie sugerują, że pomiędzy drzewostanami, które znacząco różniły się od siebie wiekiem (34 oraz 84 lata), nie ma istotnie statystycznie różnic w wydajności wypływu soku, natomiast dobowa wydajność soku jest cechą o dużej zmienności [Osiak 2017]. Według Kostrońa [1974] produkcja soku jest uzależniona od przeciętnej grubości drzew: przeciętny dobowy wyciek z jednego drzewa o grubości do 15 cm wyniósł 2,34 l, od 16 do 20 cm – 2,52 l, od 21 do 25 cm – 3,14 l, a od 26 do 30 cm – 3,55 l. Osiak [2016] w 65-letnim drzewostanie nie potwierdził wpływu grubości drzew na intensywność wypływu soku, wskazując jednocześnie na jej związek z wysokością drzew.

Kolejnym analizowanym czynnikiem była ekspozycja drzewostanu. Według Kostrońa [1974] największą produkcję soku brzożowego odnotowano na łagodnych stokach północnych, najmniejszą – na południowych. Kaczmarczyk [2015] i Zajączkowska i in. [2019] stwierdzają natomiast, że z drzew rosnących na granicy lasu lub przestrzeni otwartej można pozyskać więcej soku niż z rosnących wewnątrz drzewostanu.

Zaobserwowano różnice dotyczące wypływu soku brzożowego w zależności od strony świata, od której został wykonany nawiert, oraz ilości otworów w pniu. Wyniki nie są jednoznaczne, chociaż w większości przypadków największą produkcję rejestruje się z otworów od strony północnej [Dinulescu 1968; Kostroń 1974; Misiurski 2018]. Według Janistyna [1962] również zawartość związków chemicznych jest zmienna w zależności od strony świata.

Kostroń [1974] i Teliszewskij [1970] informują o normach określających dopuszczalną liczbę otworów w jednym drzewie: od 1 do 3 otworów w zależności od pierśnicy drzewa. Wraz ze wzrostem liczby otworów zwiększa się łączna wydajność soku z pnia, lecz zmniejsza się wyciek z pojedynczych otworów [Grochowski 1990].

Aspektem wartym uwagi jest także różnica w wydajności wypływu soku pomiędzy drzewami bardzo do siebie podobnymi, tzn. rosnącymi w odległości kilku metrów od siebie (na tym samym siedlisku) oraz o bardzo zbliżonych pierśnicach. Doświadczenia różnych autorów wskazują, że różnice te mogą być nawet kilkukrotne. Osiak [2016] podaje, że z brzozy o pierśnicy 26,9 cm uzyskano 5,8 l soku, a z sąsiedniego drzewa o pierśnicy 28,2 cm tylko 1,9 l w ciągu doby.

Okres, w którym można pozyskiwać sok brzożowy, jest zróżnicowany. Kostroń [1974] wskazuje, że pozyskiwanie należy rozpocząć wczesną wiosną, podczas szybkiego topnienia śniegu oraz chłodnych nocy i ciepłych dni, aż do rozwinięcia się liści. Czas wycieku to około 16-24 dni, czasem dłużej, a wpływ na to mają warunki klimatyczne. Grochowski [1990] stwierdza, że sezon wydzielania soku przez brzożę zaczyna się w połowie kwietnia, a przy niekorzystnych warunkach klimatycznych w pierwszych dniach maja. Niezależnie od miejsca trwa 17-24 dni, niekiedy nawet do 29 dni. Wydajność wypływu soku jest największa w początkowym okresie jego zbioru. Po okresie około 3 tygodni od ruszenia soków wypływ zmniejsza się nawet kilkukrotnie [Osiak 2016]. Największy wypływ soku brzożowego występuje po 2-3 tygodniach od rozpoczęcia płynięcia soków w pniu drzew [Kaczmarczyk 2015]. W pierwszym okresie poboru soku jego ilość wzrasta wraz z temperaturą, natomiast w drugim wraz z jej wzrostem ilość soku maleje [Kostroń 1974]. Potwierdza to także Grochowski [1990], twierdząc, że w ciągu dwóch pierwszych tercji sezonu pozyskiwania wzrost temperatury korzystnie wpływa na wydajność soku, natomiast w ostatniej – negatywnie. Koroljak i Tomčuk [1971] stwierdzają, że najwięcej soku drzewa produkują

w godzinach 12-18, a najmniej w godzinach 0-6. Kostroń [1974] podaje, że wyciek w ciągu dnia był o około 25% wyższy niż w nocy. Dodaje on także, że na początku marca produkcja soku wzrastała, z wyjątkiem dwóch dni, kiedy temperatura w nocy osiągała -8°C , w dzień $-0,9^{\circ}\text{C}$, a wyciek został przerwany. Bilek i in. [2019] stwierdzają, że na objętość pozyskanego soku nie ma istotnego wpływu temperatura w dniu wycieku ani w nocy bezpośrednio poprzedzającej wyciek. Odnotowują jednak wyjątek od tej reguły, czyli niemal całkowite zahamowanie płynięcia soku brzozonego ze wszystkich drzew po nocnym przymrozku. Wykazano jednak związek intensywności wycieku z warunkami termicznymi, jakie występują do kilkudziesięciu godzin wcześniej.

Głównymi składnikami soków drzewnych (poza wodą, stanowiącą zwykle ponad 95% ich masy) są cukry, przede wszystkim glukoza, fruktoza i rzadko sacharoza [Bilek i in. 2015b]. Zawartość cukrów w soku brzożowym jest zmienna, a dostępne źródła podają różne wartości: Polska – 1,174 g/100 ml [Bilek i in. 2016c], Łotwa – 1,043 g/100 ml, Litwa – 1,07 g/100 ml [Viškelis, Rubinskienė 2011], Finlandia – 0,93 g/100 ml [Kallio i in. 1985], Alaska – 0,7 g/100 ml [Cameron 2001]. Rodzimny sok można więc uznać za bardzo wartościowy surowiec do produkcji syropu brzożowego.

Za korzystne właściwości żywieniowe soków drzewnych odpowiedzialne są przede wszystkim składniki mineralne [Bilek i in. 2016c]. Badania przeprowadzone na terenie Podkarpacia wykazują różną zawartość składników mineralnych i elektrolitów w soku brzożowym (tab. 1). Według Bilka i in. [2015a] sok brzożowy stanowi znikome źródło chlorków, analogiczna sytuacja dotyczy zawartości magnezu i wapnia, zaś zawartość sodu wynosi poniżej 1 mg/l, co jest korzystne ze względu na negatywny wpływ zbyt dużych ilości tego pierwiastka na organizm człowieka [Gertig, Przysławski 2007]. Zawartość potasu w soku brzożowym również jest niewielka, natomiast cynku i miedzi, a zwłaszcza manganu – wysoka, sytuując ten surowiec pośród najbogatszych znanych źródeł żywieniowych tych trzech składników mineralnych [Ekmekcioglu 2000; Gertig, Przysławski 2007; Bilek i in. 2016f]. Sok brzożowy może więc być stosowany nie tylko jako wartościowy środek spożywczy, ale także w leczeniu niedoborów miedzi, cynku i manganu [Bilek i in. 2016d]. Stwierdzono jednak, że zawartość związków mineralnych zmienia się znacznie – zarówno w czasie, jak i pomiędzy poszczególnymi badanymi osobnikami oraz ich stanowiskami. Wykazano kilku-, kilkunasto- i kilkudziesięciokrotne różnice w stężeniu składników mineralnych dla sąsiadujących ze sobą drzew [Bilek i in. 2016f, 2017f]. Utrudnia to uzyskanie stabilnych korzyści żywieniowych, a w przypadku poboru soku brzożowego z jednego tylko osobnika może

Tabela 1.

Zawartość wybranych składników mineralnych i elektrolitów w soku brzożowym oraz realizacja norm żywieniowych [Bilek i in. 2015a]

Content of selected minerals and electrolytes in birch sap and the daily dietary reference values [Bilek et al. 2015a]

	Zawartość Content [mg/l]	Wskazania żywieniowe [mg/dzień] Daily dietary reference values [mg/day]
Cl ⁻	2,84-3,21	2300**
Mg ²⁺	2,16-3,54	320-420*
Ca ²⁺	5,52-17,28	1000*
Na ⁺	0,56-0,59	1500**
K ⁺	10,56-23,76	4700**
Zn ²⁺	0,88-1,85	8-11*
Cu ²⁺	0,15-0,39	0,9*

* zalecane spożycie dzienne; recommended dietary allowances

** wystarczające spożycie; adequate intake

to uniemożliwiać. Nie przeprowadzono jednak w tym zakresie badań w całym okresie wycieku soku i przy ciągłym jego pozyskiwaniu.

Badania Bilka [2017b] dowodzą, że sok brzożowy ma niski potencjał antyoksydacyjny. Wskazują jednocześnie, że najbardziej sprzyja zdrowiu sok brzożowy z dodatkami funkcjonalnymi, np. ekstraktów ziołowych lub soków owocowych. Znacznie zwiększają one aktywność przeciwutleniającą soku brzożowego i jednocześnie poprawiają jego właściwości sensoryczne [Ivanišová i in. 2009; Bilek i in. 2016g].

Zanieczyszczenie środowiska jest czynnikiem, który w zasadniczy i trwały sposób determinuje bezpieczeństwo zdrowotne spożywania soku brzożowego [Bilek i in. 2016c]. W tabeli 2 przedstawiono zawartość w soku brzożowym z terenu Podkarpacia anionów nieorganicznych, tj. siarczanów (VI), azotanów (V) i fosforanów (V). Ich obecność może wskazywać na nadmierną antropopresję, m.in. na zanieczyszczenie terenu ściekami bytowo-gospodarczymi i nawozami sztucznymi. Nadmierna zawartość siarczanów (VI) w produktach spożywczych może być szkodliwa dla organizmu człowieka ze względu na efekt drażnienia przewodu pokarmowego, jednak w soku brzożowym nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnej zawartości tego anionu nieorganicznego normowanej dla wody pitnej [Bilek i in. 2015a]. W aspekcie potencjalnego zagrożenia nie należy rozpatrywać też zawartości fosforanów (V) oraz azotanów (V) (najczęściej zanieczyszczenia roślinnych surowców spożywczych), których w soku brzożowym w ogóle nie odnotowano [Bilek i in. 2016f]. Kolejne badania przeprowadzone na terenie Podkarpacia dotyczyły soku pozyskiwanego z terenów rolniczych usytuowanych w obszarze chronionego krajobrazu. Pomimo braku sąsiedztwa z ośrodkami przemysłowymi i uczęszczanymi drogami stwierdzono w badanym surowcu zarówno obecność WWA (wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych), jak i pozostałości środków ochrony roślin. Należy więc szczególnie ostrożnie podchodzić do pozyskiwania soku z drzewostanów na gruntach porolnych i sąsiadujących ze źródłami niskiej emisji [Bilek i in. 2017a].

Najczęściej badanymi toksynami środowiskowymi w pracach poświęconych sokowi brzożowemu były jednak metale ciężkie. Wykazano m.in. zawartość niklu w soku z terenu Łotwy [Kuka i in. 2013], chromu w soku z Litwy [Viškelis, Rubinskienė 2011], a ołowiu i kadmu w soku z Korei Południowej [Kim i in. 2009]. Wyniki te potwierdzono w badaniach prowadzonych zarówno na Podkarpaciu [Bilek i in. 2017d], jak i w środkowo-wschodniej części Polski [Stanisławski i in. 2020]. O ile dla stężeń wapnia, cynku czy potasu obserwowano wyraźne tendencje spadkowe lub wzrostowe w profilu czasu [Bilek i in. 2017e], to w przypadku metali ciężkich takich zależności nie odnotowano, charakterystyczny był natomiast jednorazowy kilku-, a nawet kilkudziesięciokrotny wzrost stężenia dla pojedynczych osobników w wybranych dniach w stosunku do pomiarów wykonanych w dniu poprzednim lub kolejnym [Bilek i in. 2017d]. Duża zmienność zawartości metali ciężkich i brak wyraźnych tendencji w ich stężeniach w czasie wskazują na konieczność regularnego monitorowania składu soku brzożowego pozyskiwanego

Tabela 2.

Zawartość wybranych anionów nieorganicznych w soku brzożowym [Bilek i in. 2015a]
Content of selected inorganic anions in birch sap [Bilek et al. 2015a]

	Zawartość Content [mg/l]	Dopuszczalna zawartość wg norm bezpieczeństwa żywności Acceptable content according to food safety standards [mg/l]
SO ₄ ²⁻	2,16-3,54	250
NO ₃	0,49	50
PO ₄ ³⁻	42,01-58,01	5

jako surowiec dla przemysłu spożywczego [Bilek i in. 2016e, 2017c]. Należy przy tym podkreślić, że w badaniach Bilka [2017c-e] prowadzonych na Podkarpaciu dopuszczalna zawartość metali ciężkich w soku brzożowym była przekroczona sporadycznie. Niebezpieczeństwo dotyczy zatem teoretycznie tylko zagęszczonego soku lub syropu brzożowego. Do uzyskania 1 l syropu potrzeba nawet powyżej 100 l soku brzożowego, zawartość składników mineralnych w otrzymanym produkcie będzie zatem bardzo wysoka. Analogiczna sytuacja dotyczy stężenia metali ciężkich. Niebezpieczeństwo to można ograniczyć, prowadząc badania wyjściowego surowca i starannie typując miejsca poboru [Bilek i in. 2016a].

Wskazane jest pozyskiwanie soku z lasu, nie zaś z gruntów porolnych lub aktualnie użytkowanych rolniczo. Ze względu na bardzo dużą zmienność w stężeniu zarówno składników mineralnych jak i metali ciężkich w profilu czasu i pomiędzy osobnikami, należałoby pobierać sok z jak największej liczby drzew, by uzyskać pewne korzyści żywieniowe przy znikomym ryzyku toksykologicznym.

Uwarunkowania prawne pozyskiwania soku brzożowego

W Polsce jednym z głównych aktów prawnych regulujących leśnictwo, a w tym pozyskiwanie soku brzożowego, jest Ustawa... [1991]. W myśl art. 6.1 gospodarka leśna to pozyskiwanie, z wyjątkiem skupu, drewna, żywicy, choinek, karpiny, kory, igliwia, zwierzyny oraz płodów runa leśnego, a także sprzedaż tych produktów oraz realizacja pozaprodukcyjnych funkcji lasu. Art. 7.1 wyraźnie wskazuje, że trwałą i zrównoważoną gospodarkę leśną prowadzi się z uwzględnieniem takich celów jak np. produkcja (na zasadzie racjonalnej gospodarki) drewna oraz surowców i produktów ubocznego użytkowania lasu. W art. 8.1 zapisano, że gospodarkę leśną prowadzi się, przestrzegając zasad powszechnej ochrony lasów, trwałości ich utrzymania, ciągłości i zrównoważonego wykorzystania wszystkich funkcji lasów oraz powiększania zasobów leśnych. Według art. 13.1 właściciele lasów są obowiązani do trwałego utrzymywania lasów i zapewnienia ciągłości ich użytkowania oraz do pozyskiwania surowców i produktów ubocznego użytkowania lasu w sposób zapewniający możliwość ich biologicznego odtwarzania, a także ochronę runa leśnego. W myśl art. 26.1 lasy będące własnością Skarbu Państwa (z wyjątkiem zastrzeżeń) są udostępnione dla ludności. W art. 30.1 wyraźnie zakazuje się niszczenia lub uszkodzenia drzew, krzewów lub innych roślin. Jednak w ustępie 2 tego artykułu widnieje zapis, że przepis ten nie dotyczy czynności związanych z gospodarką leśną. Kolejnym zapisem odnoszącym się do pozyskiwania soku brzożowego są przepisy o ochronie przyrody [Ustawa... 2004]. W art. 15.1 znajduje się zapis, że w parkach narodowych oraz w rezerwach przyrody zabrania się m.in. pozyskiwania, niszczenia lub umyślnego uszkodzenia roślin oraz grzybów. Natomiast w kodeksie wykroczeń [Ustawa... 1971] wyraźnie określa się w art. 153.1, że kto w nienależącym do niego lesie pozyskuje żywicę lub sok brzożowy, obrywa szyszki, zdziera korę, nacina drzewo lub w inny sposób je uszkodza, podlega karze grzywny do 250 złotych albo karze nagany. W obliczu powyższych regulacji wydaje się oczywiste, że pozyskiwanie soku brzożowego w lasach stanowiących własność Skarbu Państwa możliwe jest jedynie w sposób zorganizowany, w ramach gospodarki leśnej, natomiast obserwowane ostatnio pozyskiwanie soku na własne potrzeby nie powinno być promowane i akceptowane.

Perspektywy i warunki metodyczne badań nad użytkowaniem soku brzożowego

Wiedza dotycząca użytkowania soku brzożowego jest rozległa, natomiast złożone uwarunkowania zmienności zarówno parametrów jakościowych, jak i intensywności wycieku wymagają głąb-

szego poznania. Prowadzono bardzo szczegółowe badania dotyczące wartości użytkowej i składu chemicznego soku, nie uwzględniały one jednak uwarunkowań typowo leśnych, między innymi położenia geograficznego, regionalizacji przyrodniczo-leśnej, warunków siedliskowych, a także parametrów drzew (wieku, pierśnicy, jakości korony). Opracowanie zasad profesjonalnego i komercyjnego pozyskiwania rodzimego surowca wymaga kompleksowego oraz holistycznego podejścia, poprzez zastosowanie odpowiednich metod badawczych uwzględniających jak największą liczbę czynników zmienności. Poniżej zaproponowano zalecenia metodyczne, które pozwolą na przeprowadzenie kompleksowych badań użytkowania soku brzożowego w Polsce.

Po pierwsze, istnieje konieczność uwzględnienia regionalizacji głównych baz surowcowych brzozy oraz warunków siedliskowych. Doświadczenia należy wykonywać przez okres kilku lat w różnych częściach kraju oraz odrębnych krainach przyrodniczo-leśnych. Powinna to być Polska północna, północno-wschodnia, wschodnia oraz południowo-zachodnia, gdyż tam baza surowcowa brzozy jest największa. Proponuje się prowadzenie badań przede wszystkim na siedliskach boru mieszanego świeżego (BMśw), lasu mieszanego świeżego (LMśw) i lasu świeżego (Lśw), gdzie brzoza brodawkowata występuje najczęściej. Badania nad brzozą omszoną (*Betula pubescens* Ehrh.) można ograniczyć, ponieważ siedliska podmokłe i bagniste, na których ona występuje, nie są potencjalnie atrakcyjne pod względem pozyskiwania soku brzożowego. W każdym z drzewostanów należy stale rejestrować wilgotność i temperaturę powietrza, co pozwoli na zbadanie wpływu tych czynników na wydajność wypływu oskoły. Badania powinny obejmować cały okres wycieku soku (zwykle 3-4 tygodnie), nie zaś jak do tej pory okresy tygodniowe lub dwutygodniowe. Chociaż pozyskiwanie soku możliwe jest teoretycznie z młodych drzew, doświadczenia przeprowadzać należy przede wszystkim w drzewostanach bliskorębnych (w wieku 70-90 lat), gdzie brzoza jest gatunkiem panującym lub współpanującym, oraz niebędących enklawami śródpolnymi lub nadmiernie nasłonecznionymi. Potencjalnie można pozyskiwać sok brzożowy z młodszych drzewostanów i przez dłuższy czas, jednak duża liczba nawiertów może negatywnie wpłynąć na jakość surowca i zdrowotność drzew. Wybór drzew do badań w poszczególnych drzewostanach powinien być dokonany w oparciu o przyjęte metody stosowane w badaniach drzew i drzewostanów, np. z uwzględnieniem pierśnicy określonej na podstawie pierśnicowego pola przekroju drzewostanu. Pobór oskoły należy prowadzić metodą ciągłą na drzewach o zróżnicowanej pierśnicy, wysokości oraz udziałach koron, co pozwoli zbadać różnice w wydajności wypływu w zależności od tych czynników. Otwór o średnicy od 5-20 mm oraz głębokości 30-80 mm powinien być wywiercony pod nieznacznym kątem w dół. Wysokość, na której powinien się on znajdować, to 50-100 cm. Sok brzożowy należy pobierać za pomocą przewodu z tworzywa sztucznego certyfikowanego do kontaktu z żywnością, umieszczonego szczelnie w nawiercie, odprowadzającego sok do naczyń wykonanych z plastiku mających atest do kontaktu z żywnością (metalowe elementy mogą negatywnie wpływać na rzetelną ocenę składu chemicznego soku). Ze względu na niską trwałość soku brzożowego i jego bardzo szybkie mętnienie mikrobiologiczne [Bilek i in. 2016g] naczynia oraz węże powinny być regularnie odkażane za pomocą alkoholu etylowego o stężeniu 70% i następnie starannie przepłukiwane. Proponuje się pomiar objętości soku co 24 godziny, wraz z poborem próbek do badań fizycznych i chemicznych właściwości soku. Próbki przeznaczone do badań laboratoryjnych powinny zostać niezwłocznie zamrożone.

W zakresie badań fizycznych i chemicznych proponuje się przede wszystkim wykorzystanie powszechnie stosowanych technik analitycznych służących ocenie jakości surowców dla przemysłu spożywczego, tj. określenie zawartości suchej masy oraz ekstraktu refraktometrycznego. Parametry te pozwalają na przybliżoną ocenę zawartości procentowej cukrów. Dodatkowo zaleca się zbadanie odczynu oraz sumarycznej zawartości substancji o charakterze zjonizowanym, np.

przy pomocy konduktometru – parametry te będą miarą zawartości m.in. składników mineralnych, anionów organicznych i nieorganicznych. Połączenie badań właściwości fizycznych soku brzozonego i szacowania składu chemicznego za pomocą bardziej złożonych technik instrumentalnych pozwoli na określenie parametrów żywieniowych soku oraz na ocenę stopnia jego bezpieczeństwa zdrowotnego. Zaleca się także badanie stopnia zmętnienia soku w zależności od warunków zbioru, przechowywania i transportu, mętność jest bowiem wskaźnikiem jego trwałości i przydatności do spożycia.

Podsumowanie

Obserwowany wzrost zapotrzebowania na produkty określone jako ekologiczne pozwala uznać sok brzozonego za perspektywiczny surowiec dla przemysłu spożywczego. Wprowadzenie na rynek rodzimego surowca musi jednak uwzględniać konsekwencje środowiskowe jego przemysłowego pozyskiwania, a także parametry jakościowe soku. Duża niestabilność tych parametrów i wydajności wpływu soku brzozonego wymaga poznania czynników warunkujących stwierdzone zmiany.

Dotychczas prowadzone badania przynoszą odpowiedzi na wiele szczegółowych pytań dotyczących parametrów jakościowych soku brzozonego, nie umożliwiają jednak całościowego spojrzenia na problem jego użytkowania. Konsekwencją zaproponowanych powyżej rozwiązań, poza przedstawieniem systemu prowadzenia badań, jest przede wszystkim otwarcie na korzystanie z baz surowcowych w różnych krainach przyrodniczo-leśnych. Opisany zakres badań oraz założenia i warunki metodyczne stanowią nową wartość. Umożliwią kompleksowe poznanie tego cennego surowca, rozwiązując problem naukowy, a także stanowiąc podstawę do opracowania zasad zrównoważonego użytkowania soku brzozonego – regulacji niezbędnych, jeśli surowiec ten ma być pozyskiwany w Polsce na szeroką skalę i spełniać wymogi przemysłu spożywczego.

Literatura

- Barszcz A. 2006. The influence of harvesting of non-wood forest products on the economic situation of households in Poland. *EJPAU* 9 (2).
- Barszcz A., Suder A. 2009. Diversity in the socio-economic role of the main non-wood forest products for the inhabitants of small villages and large towns in Poland. *Fol. For. Pol. ser. A* 51 (1): 77-84.
- Beck P. S. A., Caudullo G., de Rigo D., Tinner W. 2016. *Betula pendula*, *Betula pubescens* and other birches in Europe: distribution, habitat, usage and threats. W: San-Miguel-Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. [red]. *European Atlas of Forest Tree Species*. Publication Office of the European Union Editors.
- Berg G. 1933. *Nordskandinaviskt – nordeuropeiskt* 16: 118-139.
- Bilek M., Kuźniar P., Cieślak E. 2016a. Kadm w pitnym soku brzozonego z terenu rolniczego. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 19 (3): 31-35.
- Bilek M., Kuźniar P., Stawarczyk K., Cieślak E. 2016b. Zawartość manganu w sokach drzewnych z terenu Podkarpacia. *Post Fitoter.* 17 (4): 255-261.
- Bilek M., Olszewski M., Gostkowski M., Cieślak E. 2016c. The usefulness of birch saps from the area of Podkarpacie to produce birch syrup. *Biotechnology and Food Science* 80: 11-18.
- Bilek M., Pytko J., Sosnowski S. 2016d. Badania trwałości soków drzewnych brzozonych. *Polish Journal of Sustainable Development* 20: 7-14.
- Bilek M., Sadowska-Rociek A., Stawarczyk K. 2017a. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i pozostałości środków ochrony roślin w sokach brzozonych z terenu rolniczego. *Medycyna Środowiskowa* 20 (1): 17-26.
- Bilek M., Siembida A., Gostkowski M., Stawarczyk K., Cieślak E. 2017b. Antioxidative capacity of birch saps. *Biotechnology and Food Science* 1: 3-10.
- Bilek M., Siembida A., Gostkowski M., Stawarczyk K., Cieślak E. 2017c. Variability of the minerals content as a factor limiting health properties of birch saps. *Journal of Elementology* 22 (3): 957-967.
- Bilek M., Siembida A., Gostkowski M., Stawarczyk K., Cieślak E. 2017d. Variability of minerals content as a factor limiting health properties of birch saps. *Journal of Elementology*. 22 (3): 957-967.
- Bilek M., Sosnowski S., Tomusiak R., Oktaba J., Staniszewski P. 2019. Zmienność dobowej wydajności i wybranych parametrów fizycznych soku brzozonego. *Sylwan* 163 (6): 443-451. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylwan.2018165>.
- Bilek M., Stawarczyk K., Gostkowski M., Olszewski M., Kędzióra K. M., Cieślak E. 2016e. Mineral content of tree saps from Subcarpathian region. *Journal of Elementology* 21 (3): 669-79.

- Bilek M., Stawarczyk K., Kuźniar P., Olszewski M., Kędziora K. M., Cieslik E. 2016f. Evaluation of the content of inorganic anions in tree saps. *Journal of Elementology* 4: 1277-1288.
- Bilek M., Stawarczyk K., Łuczaj Ł., Cieslik E. 2015a. Content of selected minerals and inorganic anions in tree saps from Podkarpacie region. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość* 100: 138-147.
- Bilek M., Stawarczyk K., Siembida A., Strzemiński M., Olszewski M., Cieslik E. 2015b. Zawartość cukrów w sokach drzewnych z terenu Podkarpacia. *Żywność. Nauka, Technologia, Jakość* 6 (103): 53-63.
- Bilek M., Szwerc W., Kocjan R. 2017e. Zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Ni) jako potencjalny czynnik ograniczający możliwości wykorzystania soku brzożowego. *Postępy Fitoterapii* 3: 183-189.
- Bilek M., Szwerc W., Kuźniar P., Stawarczyk K., Kocjan R. 2017f. Time-related variability of the mineral content in birch tree sap. *Journal of Elementology* 22 (2): 497-515.
- Bilek M., Vietoris V., Ilko V. 2016g. Shelf life extension and sensory evaluation of birch tree sap using chemical preservatives. *Potravinárstvo* 10 (1): 499-505
- Borecki T., Łopiński Ł., Kędziora W., Orzechowski M., Wójcik R., Stępień E. 2018. The Concept of Regulating Forest Management in a Region Subject to High Environmental Pressure. *Forests* 9: 539.
- Cameron M. 2001. Establishing an Alaskan birch syrup industry: Birch Syrup – It's the Un-maple! W: Davidson-Hunt I., Duchesne L. C., Zasada J. C. [red.]. *Forest communities in the third millennium: linking research, business, and policy toward a sustainable non-timber forest product sector*. Ontario. 135-139.
- Chętnik A. 1936. Pożywienie Kurpiów. Jadło i napoje zwykle, obrzędowe i głodowe. *Prace Komisji Etnograficznej* 16: 1-134.
- Clatterbuck W. K. 2006. Tree Wounds: Response of Trees and What You Can Do. The University of Tennessee Agricultural Extension Service. SP683-13.5M-10/06. R12-4910-065-009-07. 07-0073.
- Dekowski J. P. 1973. Rośliny dziko rosnące w tradycyjnym pożywieniu chłopów kozienickich. W: Kowalska-Lewicka A. [red.]. *Pożywienie ludności wiejskiej*. Kraków. 247-256.
- Dinulescu A. 1968. Despre recolatarea serei de mesteacan si carpeu. *Revista Padurilor* 83 (2): 90-95.
- Ekmekcioglu C. 2000. Intestinal bioavailability of minerals and trace elements from milk and beverages in humans. *Nahrung* 6 (44): 390-397.
- Enescu C. M. 2017. Collection and use of birch sap, a less known non-wood forest product in Romania. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development* 17 (1): 191-194.
- Gertig H., Przysławski J. 2007. *Bromatologia. Zarys nauki o żywności*. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Grochowski W. 1990. *Ubozna produkcja leśna*. PWN, Warszawa.
- Gunda B. N. 1987. *Magyar Néprajzi Lexikon*. Budapest. 4: 62.
- Haberland A. 1926. Die volkstümliche Kultur Europas. W: Buschan G. [red.]. *Illustrierte völkerkunde*. Stuttgart. Strecker und Schröder. 2.
- Ivanišová E., Fikselová M., Vietoris V., Mellen M. 2009. Antioxidant effects of herbal extracts and their food application. *Potravinárstvo* 3: 34-37.
- Janistyn H. 1962. Beitrag zur Kenntnis der Inhaltsstoffe des Birkensaftes. *Pfärum und Kosmetik*.
- Kaczmarezyk K. 2015. Wpływ soku drzewnego z pni brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth.) w aspekcie struktury anatomicznej drewna. Praca magisterska. SGGW w Warszawie.
- Kallio H., Ahtonen S., Raulo J., Linko R. R. 1985. Identification of the sugars and acids in birch sap. *Journal of Food Science* 1 (50): 266-269.
- Kim J. H., Lee W. J., Cho Y. W. 2009. Storage-life and palatability extension of *Betula platyphylla* sap using lactic acid bacteria fermentation. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 38 (6): 787-94.
- Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. 2013. Nowa strategia leśna UE na rzecz lasów i sektora leśno-drzewnego. Komisja Europejska.
- Kopcewicz J. N., Lewak S. 2002. *Fizjologia roślin*. PWN, Warszawa.
- Koroljak L. S., Tomčuk R. I. 1971. Intensivnost sokowyddelenia brezy. *Lesnoje chozjajstvo* 5.
- Kostroń L. 1974. Pozyskiwanie i wykorzystywanie wiosennych soków z drzew leśnych. *Sylvan* 118 (3): 44-51.
- Kuka M., Čakste I., Geršebeka E. 2013. Determination of bioactive compounds and mineral substances in Latvian birch and maple saps. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B* 4/5 (685/686): 437-41.
- Lachowicz H., Wróblewska H., Wojtan R., Sajdak M. 2019. The effect of tree age on the chemical composition of the wood of silver birch (*Betula pendula* Roth.). *Wood Science and Technology*. Springer, Berlin.
- Łuczaj Ł. 2011. Wild food plants used in Poland from the mid-19th century to the present. *Etnobiologia Polska* 1: 57-125.
- Manninen I. 1931. Überreste der Sammlerstufe und die Notnahrung aus dem Pflanzenreich bei den nordeurasischen, vorzugsweise den finnischen Völkern. *Eurasia Septentrionalis Antiqua* 6: 30-48.
- Misiurski J. 2018. Intensywność wycieku soku z pni brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* R.) w zależności od strony świata. Praca magisterska. SGGW w Warszawie.
- Moore H. R., Anderson W. R., Baker R. H. 1951. Ohio Maple Syrup. *Research Bulletin* 718.
- Nowak G. 1966. Cosmetic and medicinal properties of the birch. *American Perfumer and Cosmetics* 81: 37-39.
- Orłow I. I. 1974. Bierzowij i klenowij soki. *Lesnaja promyslennost*. Moskwa.

- Osiak P. 2016. Wydajność wypływu soku brzożowego w zależności od pierśnicy drzewa. Praca inżynierska. SGGW w Warszawie.
- Osiak P. 2017. Wydajność wypływu soku brzożowego w zależności od klasy wieku drzewostanu. Praca magisterska. SGGW w Warszawie.
- Panischin A. J., Harrar E. S., Bethel J. S., Baker W. J. 1962. Forest Products. Second Edition. The American Forestry Series. Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- Papp N., Czégényi D., Hegedűs A., Morschhauser T., Quave C. L., Cianfaglione K., Pieroni A. 2014. The uses of *Betula pendula* Roth among Hungarian Csángós and Székelys in Transylvania. Romania. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 83 (2): 113-122.
- Rocznik statystyczny leśnictwa 2019. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. 2017. Dz. U., poz. 2294.
- Silm E. 1977. Kasemahla varumise kogemustest Tartu Metsamajandis (Master thesis). Tartu. Eesti Põllumajanduse Akadeemia.
- Sóukand R., Pieroni A., Biró M., Dénes A., Dogan Y., Hajdari A., Kalle R., Reade B., Mustafa B., Nedelcheva A., Quave C. L., Łuczaj Ł. 2015. An ethnobotanical perspective on traditional fermented plant foods and beverages in Eastern Europe. Journal of Ethnopharmacology 170: 284-296.
- Staniszewski P. 2013. Uwarunkowania budowy systemu niedrzewnego użytkowania lasu. Rozprawy Naukowe i Monografie, seria 425. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Staniszewski P. 2016. Niedrzewne pożytki leśne w rozwoju obszarów wiejskich. Studia i Materiały CEPL 49B: 44-53.
- Staniszewski P., Bilek M., Szwerc W., Gostkowski M., Osiak P., Żurek N., Kocjan R. 2020. Zawartość wybranych metali ciężkich w soku brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) oraz dobową objętość pozyskanego soku w zależności od pierśnicy drzew. Sylwan 164 (5): 432-440. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2020022>.
- Staniszewski P., Kalinowski M. 2013. Współczesne uwarunkowania, problemy i perspektywy użytkowania niedrzewnych zasobów leśnych. Postępy Techniki w Leśnictwie 124: 7-11.
- Svanberg I., Sóukand R., Łuczaj Ł., Kalle R., Zyryanova O., Dénes A., Papp N., Nedelcheva A., Šeškauskaitė D., Kołodziejaska-Degórska I., Kolosova V. 2012. Uses of tree saps in northern and eastern parts of Europe. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 81 (4): 343-357.
- Teliszewskij D. 1970. Sbor i ispolzovanie berezovogo soka. Lesnoje chozjajstvo 6: 80-82.
- Ustawa Kodeks wykroczeń z dnia 20 maja 1971 roku. 1971. Dz. U. Nr 12, poz. 114.
- Ustawa o lasach z dnia 28 września 1991 r. 1991. Dz. U. Nr 101, poz. 444.
- Ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 roku. 2004. Dz. U. Nr 92, poz. 880.
- Viškelis P., Rubinskienė M. 2011. Bertš sulos cheminė sudėtis. Sodininkystė Ir Daržininkystė 30 (1): 75-81.
- Wielkoobszarowa inwentaryzacja stanu lasów. Wyniki III cyklu (2015-2019). 2020. Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej, Sękocin Stary.
- Zajączkowska U., Kaczmarczyk K., Liana J. 2019. Birch sap exudation: influence of tree position in a forest stand on birch sap production, trunk wood anatomy and radial bending strength. Silva Fenn. 53 (2): 1-17.
- Zrównoważona gospodarka leśna – wymagania. 2012. PEFC Polska.
- Zyryanova O. A., Terazawa M., Koike T., Zyryanov V. I. 2010. White birch trees as resource species of Russia: their distribution, ecophysiological features, multiple utilizations. Eurasian Journal of Forest Research 13 (1): 25-40.