

PAWEŁ STANISZEWSKI, MACIEJ BILEK, WOJCIECH SZWERC, MICHAŁ GOSTKOWSKI,
PAWEŁ OSIĄK, JULITA POLESZAK, RYSZARD KOJCAN

Zawartość wybranych metali ciężkich w soku brzozy brodawkowej (*Betula pendula* Roth) oraz dobową objętość pozyskanego soku w zależności od pierśnicy drzew

Content of heavy metals in the silver birch (*Betula pendula* Roth) tree sap and the daily volume of sap depending on tree diameter

ABSTRACT

Staniszewski P., Bilek M., Szwerc W., Gostkowski M., Osiak P., Poleszak J., Kocjan R. 2020. Zawartość wybranych metali ciężkich w soku brzozy brodawkowej (*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>.

The aim of this study was to determine the content of selected heavy metals in birch sap, and to examine whether the tree diameter, the obtained daily sap volume and the date of collection have an impact on their content. Moreover, it was decided to check whether the tree diameter could affect the intensity of the sap leak. The study was carried out in central-eastern Poland, in the Garwolin Forest District, in a stand with a dominant share of silver birch at the age of 65, which grows on a moist mixed broadleaved forest habitat type. Sap from the selected trees was taken after 24 hours of leakage, four times at weekly intervals. In each case, the daily sap volume was measured and the content of lead, nickel, chromium and cadmium was determined. No effect of tree diameter on the content of the studied elements was found. We also proved that the tree thickness had an impact on the daily sap volume. However, a negative relationship was stated between lead and cadmium content and daily sap volume. In turn, over time, birch sap was characterized by increasing concentration of lead and cadmium, while in the case of nickel downward trend was shown for two diameter classes. The obtained results of the determination of the content of heavy metals in birch sap testify to the fact that for most of samples it is characterized by health safety. However, few exceedances of the most restrictive potable water as well as fruit juices and nectars standards are encountered, confirming the susceptibility of birch sap to heavy metal pollution. Therefore, in order to guarantee the safety of consumers, primarily it is necessary to select the collection points taking into account potential industrial and agricultural pollution and secondly – combining birch sap taken from as many trees as possible in order to average a very large variation in the content of heavy metals, both between individual trees and over time. It should also be noted that consuming birch sap taken from only one tree may pose a threat to the health safety of consumer.

KEY WORDS

non-wood forest products, silver birch sap, daily leak, heavy metals

ADDRESSES

Paweł Staniszewski ⁽¹⁾ – e-mail: pawel.staniszewski@wl.sggw.pl
Maciej Bilek ⁽²⁾ – e-mail: mbilek@ur.edu.pl

Wojciech Szwerc ⁽³⁾ – e-mail: wojciech.szwerc@onet.eu
 Michał Gostkowski ⁽⁴⁾ – e-mail: michal_gostkowski@sggw.pl
 Paweł Osiak ⁽⁵⁾ – e-mail: osiak16@gmail.com
 Julita Poleszak ⁽³⁾ e-mail: julita.poleszak@wp.pl
 Ryszard Kocjan ⁽³⁾ – e-mail: ryszrd.kocjan@umlub.pl

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

⁽²⁾ Zakład Agroekologii, Uniwersytet Rzeszowski; ul. Œwiklińskiej 1a, 36-601 Rzeszów

⁽³⁾ Zakład Chemii Analitycznej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie; ul. Chodźki 4a, 20-093 Lublin

⁽⁴⁾ Katedra Ekonometrii i Statystyki, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

⁽⁵⁾ Koło Naukowe Leśników, SGGW w Warszawie; ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa

Wstęp

Najczęściej spotykany opis soku brzożowego w polskich i światowych mediach społecznościowych oraz w coraz liczniejszych publikacjach popularno-naukowych jest jednostronny i prezentuje wyłącznie korzyści: lecznicze i żywieniowe. Ekspozowana jest jednocześnie związana z poborem soku brzożowego możliwość przebywania w środowisku leśnym i korzystania z jego dobroczynnego wpływu na psychikę [Staniszewski i in. 2016]. W ślad za licznymi opracowaniami etnograficznymi poruszającymi zagadnienie stosowania soku brzożowego w lecznictwie ludowym [Papp i in. 2014; Söukand i in. 2015; Enescu 2017] podkreśla się jego korzystny wpływ na praktycznie wszystkie funkcje i układy organizmu człowieka. Skutkiem tak bezkrytycznie jednostronnego przekazu są liczne głosy o potencjalnej roli, którą sok brzożowy mógłby odegrać w niedrzewnym użytkowaniu lasu [Zyryanova i in. 2010; Beck i in. 2016]. Także prace o charakterze analitycznym ukierunkowane są przede wszystkim na badanie zawartości w sokach drzewnych substancji o znaczeniu użytkowym i żywieniowym, głównie cukrów oraz składników mineralnych [Kim i in. 1991; Viškelis, Rubinskiene 2011; Jeong-Jeong i in. 2013; Kūka i in. 2013; Bilek i in. 2017a]. Tymczasem aspekt toksykologiczny, mogący w fundamentalny sposób ograniczać przetwórstwo, a zatem i pozyskiwanie soku brzożowego, pozostaje wciąż niedoceniony. W Polsce badania soku brzożowego, uwzględniające nie tylko jego korzystne właściwości żywieniowe, ale też i zagadnienie bezpieczeństwa zdrowotnego, zostały przeprowadzone na Podkarpaciu. Odnotowano w nich, że w kontekście norm bezpieczeństwa żywnościowego sok brzożowy nie stwarza zagrożenia zdrowotnego ze względu na zawartość anionów nieorganicznych [Bilek i in. 2016b] oraz pozostałość środków ochrony roślin i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych [Bilek i in. 2017b]. Wykazano jednakże, że jest to surowiec podatny na antropopresję, co staje się szczególnie widoczne w kontekście zawartości kadmu w soku drzew porastających grunty porolne oraz śródpolne miedze, a zatem miejsca ekspozowane na nawozy sztuczne [Bilek i in. 2016a]. W przypadku tych próbek odnotowywano sporadyczne przekroczenia normy dla zawartości kadmu w wodzie pitnej [Bilek i in. 2016a, 2017c, 2018a].

W dotychczasowej literaturze przedmiotu istnieje bardzo niewiele informacji o zawartości metali ciężkich w soku drzew występujących w środowisku leśnym, jak również w surowcu pochodzącym z regionu innego niż Podkarpacie. Tymczasem to właśnie metale ciężkie uznać należy za najniebezpieczniejsze toksyny środowiskowe, zagrażające bezpieczeństwu zdrowotnemu konsumentów, szczególnie na drodze zatruć przewlekłych, przebiegających najczęściej z efektem mutagennym i neurotoksycznym [Ociepa-Kubicka, Ociepa 2012]. Z tego powodu monitoring zawartości metali ciężkich, przede wszystkim kadmu i ołowiu, powinien stanowić podstawowe kryterium w ocenie jakości soku brzożowego i jego przydatności do przetwórstwa w przemyśle spożywczym [Bilek 2018; Bilek i in 2018a].

Celem pracy było określenie zawartości czterech metali ciężkich – kadmu, ołowiu, chromu i niklu – w soku brzożowym pochodzącym ze środkowo-wschodniej Polski oraz zbadanie, czy termin pozyskania oraz czynniki pomijane w dotychczasowych badaniach, tj. pierśnica drzewa i dobową objętość pozyskiwanego soku, mają wpływ na ich zawartość. Ponadto, w kontekście gospodarki leśnej, postanowiono sprawdzić, czy grubość drzew może mieć wpływ na intensywność wycieku soku.

Materiał i metody

POZYSKANIE SOKU BRZOŻOWEGO. Od początku marca 2015 roku monitorowano temperaturę powietrza. Próbnę nawiercenie wykonano, gdy temperatura w dzień utrzymywała się w zakresie od 8 do 10°C, w celu określenia początku wycieku soku brzożowego. Posłużono się rekomendowaną w gospodarce leśnej techniką nawiercania [Paschalis-Jakubowicz 2009], polegającą na wykonaniu na wysokości 1 m od strony południowej pnia drzewa otworu o średnicy 1 cm i głębokości 5 cm. W celu ciągłego i bezstratnego poboru soku brzożowego otwór ten łączony jest ze zbiornikiem z tworzywa sztucznego za pomocą przewodu.

Pobór próbek przeprowadzono w środkowo-wschodniej Polsce, na terenie Wysoczyzny Żelechowskiej (Nadleśnictwo Garwolin, leśnictwo Żelechów, oddział 62k). Miejscem badań był około 65-letni drzewostan o dominującym udziale brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na siedlisku lasu mieszanego wilgotnego. Drzewa próbnę reprezentujące drzewostan wyznaczono, stosując metodę Hartiga, polegającą na przyporządkowaniu ich do klas o jednakowej powierzchni przekroju i przydzieleniu do każdej klasy jednakowej liczby drzew próbnych, charakteryzujących się pierśnicą odpowiadającą wartości średniej powierzchni przekroju dla danej klasy [Graves 1906]. W przypadku drzewostanu, w którym pobierano próbki, były to wartości 19, 28 i 35 cm, odpowiednio dla klas grubości I, II i III. Wytypowano po trzy drzewa w obrębie każdej z trzech klas grubości, wyłącznie zdrowe, pozbawione widocznych wad, o dobrze rozwiniętej koronie. Sok z tych drzew pozyskiwano przez 24 godziny, powtarzając pobór czterokrotnie w tygodniowych odstępach, tj. 15, 22 i 29 marca oraz 4 kwietnia (dalej: T1, T2, T3 i T4). Po określeniu dobowej objętości soku pobierano do plastikowych jałowych naczyń próbki do badań laboratoryjnych, które zamrażano i przechowywano w temperaturze -21°C.

ANALIZY CHEMICZNE. Roztwory wzorcowe o stężeniu 3,0 ppb ($\mu\text{g/l}$) dla kadmu, 35 ppb dla chromu, 60 ppb dla niklu i 30 ppb dla ołowiu zostały sporządzone poprzez rozcieńczenie roztworu 1000 ppm (Merck, Niemcy) każdego pierwiastka roztworem kwasu azotowego o stężeniu 0,5%, który przygotowano przez rozcieńczenie kwasu azotowego o stężeniu 65% (Suprapur, Merck, Niemcy) wodą dejonizowaną o oporności 18,2 $\text{M}\Omega \times \text{cm}$, uzyskaną za pomocą dejonizatora Ultrapure Millipore Direct-Q-R 3UV (Merck, Niemcy).

Przed wykonaniem właściwej analizy poddano optymalizacji temperaturę suszenia próbek, pirolizy i atomizacji. W razie konieczności do roztworów wzorcowych oraz próbek dodano roztwór modyfikatora matrycy w postaci azotanu palladu i azotanu magnezu lub azotanu magnezu. We wszystkich przypadkach dodatek 0,1% azotanu magnezu zapewnił odpowiednią precyzję. Zoptymalizowane parametry czasowo-temperaturowe w technice GF-AAS zestawiono w tabeli 1.

Analiza ilościowa metali ciężkich została wykonana z wykorzystaniem techniki elektrotermicznej atomowej spektrometrii absorpcyjnej z użyciem wysokorozdzielczego spektrometru absorpcji atomowej ContrAA 700 z ciągłym źródłem promieniowania (HR-CS-AAS). Do analiz użyto rurki grafitowej z platformą Lvova. Krzywe kalibracyjne określono metodą rozkładu reszt. Współczynnik rozcieńczenia został dobrany automatycznie. 20 μl każdej próbki z dodatkiem 5 μl 0,1-procentowego $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, modyfikatora matrycy, dozowano bezpośrednio na platformę Lvova.

Parametry walidacyjne metody analitycznej wykorzystującej technikę GF-AAS zestawiono w tabeli 2.

ANALIZA STATYSTYCZNA. W przypadku badania zależności między pierśnicą drzewa (klasy grubości I, II lub III) a zawartością badanych metali ciężkich wykonano dla każdego pierwiastka analizę wariancji z powtarzającymi pomiarami, gdzie czynnikiem różnicującym była klasa grubości. W przypadku badania zależności między dobową wydajnością soku a zawartością badanych pierwiastków policzono dla każdego pierwiastka i wydajności współczynnik korelacji Pearsona i sprawdzono, czy jest on istotny statystycznie. W przypadku badania zależności między pierśnicą drzewa a wielkością dobowego wycieku soku wykonano analizę wariancji z powtarzającymi pomiarami.

Wyniki

Zakres dobowej objętości pozyskanego soku brzożowego wyniósł od 0,1 l (klasa grubości III, termin poboru T4) do 6,5 l (klasa grubości II, termin poboru T1), przy wartości średniej 1,87 l. Największą średnią wartość (bez uwzględnienia terminu poboru) stwierdzono w grupie drzew o średniej pierśnicy (klasa II: 2,16 l/24 h), nieznacznie niższą – w drzewach najgrubszych (klasa III: 2,12 l/24 h), natomiast najniższą – w najcieńszych (klasa I: 1,33 l/24 h). Powyższe tendencje, z uwagi na dużą zmienność badanej wartości przy rozpatrywaniu poszczególnych drzew i pomiarów, nie zostały potwierdzone statystycznie: nie stwierdzono, aby klasa grubości miała wpływ na objętość pozyskiwanego surowca (tab. 3).

W przypadku chromu w zaledwie dwóch próbkach uzyskano wynik powyżej limitu oznaczalności stosowanej metody analitycznej, tj. 0,83 µg/l (klasa grubości II, termin poboru T3) i 1,00 µg/l (klasa grubości III, termin poboru T4). W tym przypadku analiza statystyczna była niemożliwa. Z kolei dla ołowiu uzyskano dla 3 próbek wynik poniżej limitu oznaczalności. Zakres stężenia uzyskany dla pozostałych próbek był szeroki i wyniósł od 1,67 do 45,14 µg/l, z wartością średnią 9,89 µg/l. Dla kadmu wyniki poniżej granicy oznaczalności uzyskano dla 5 próbek, zaś zakres stężenia był także zróżnicowany i wyniósł od 0,27 do 14,05 µg/l, z wartością średnią 2,28 µg/l.

Tabela 1.

Zoptymalizowana temperatura [°C] suszenia, pirolizy i atomizacji w technice GF-AAS
Optimized temperature [°C] of drying (Suszenie), pyrolysis (Piroliza) and atomization (Atomizacja) in the GF-AAS technique

	Suszenie	Piroliza	Atomizacja
Pb	110	900	1900
Ni	110	1050	2300
Cr	110	1300	2300
Cd	110	700	1600

Tabela 2.

Parametry walidacyjne metody analitycznej wykorzystującej technikę GF-AAS
Validation parameters of the analytical method using the GF-AAS technique

	Długość fali [nm]	Zakres krzywej [µg/l]	Współczynnik korelacji	%RSD	LOD [µg/l]	LOQ [µg/l]
	Line	Conc. range	Correlation coefficient			
Pb	217,00	0-30,0	0,9999	0,6-1,4	0,9899	1,1280
Ni	232,00	0-60,0	0,9999	0,8-2,2	0,4250	1,3380
Cr	357,87	0-35,0	0,9999	0,5-6,4	0,1510	0,5210
Cd	228,80	0-3,0	0,9999	0,6-1,5	0,0588	0,2409

Dla niklu dla 18 próbek uzyskano wyniki poniżej granicy oznaczalności stosowanej metody analitycznej. Zakres stężenia dla pozostałych próbek wyniósł od 1,4 do 20,06 $\mu\text{g/l}$, z wartością średnią 6,76 $\mu\text{g/l}$, wskazując na analogiczną zmienność jak w przypadku dwóch innych badanych metali ciężkich. Analiza statystyczna nie dowiodła przy tym, aby na stężenie badanych metali ciężkich wpływała klasa grubości drzewa. Równocześnie zaobserwowano negatywną zależność pomiędzy zawartością ołowiu i kadmu a dobową wydajnością soku pobranego z nawierconych drzew. W przypadku niklu nie stwierdzono istotnej zależności zawartości tego pierwiastka z dobową wydajnością poboru soku (ryc.).

Uzyskane wyniki wskazały ponadto na zmienność średniego stężenia metali ciężkich w profilu czasu (tab. 3). Dla kadmu i ołowiu obserwowano tendencje wzrostowe, niezależnie od klasy grubości. Miały one jednak różne nasilenie. Dla kadmu średnie stężenie wzrastało z 0,40 \pm 0,16 do 7,60 \pm 3,46 $\mu\text{g/l}$ dla I klasy grubości, z 0,52 \pm 0,16 do 4,17 \pm 3,52 $\mu\text{g/l}$ dla klasy II i z 0,39 \pm 0,08 do 2,76 \pm 1,07 $\mu\text{g/l}$ dla klasy III. W przypadku ołowiu również stwierdzono tendencję wzrostową

Tabela 3.

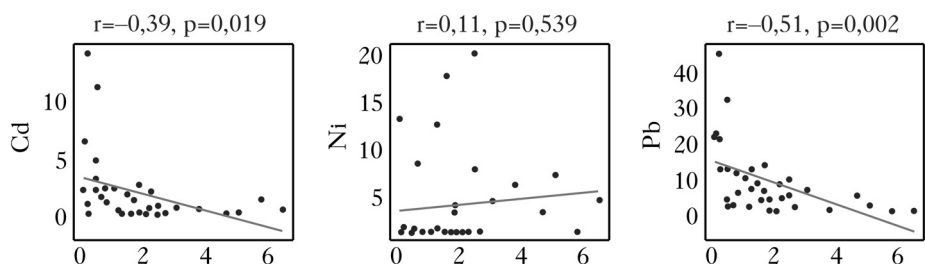
Średnia (\pm błąd standardowy) dobowa objętość soku brzożowego (V [l/24 h]) oraz stężenie [$\mu\text{g/l}$] kadmu (Cd), niklu (Ni) i ołowiu (Pb) w klasie grubości (I-III) w kolejnych terminach poboru (T1-T4)

Mean (\pm standard error) daily birch sap volume (V [l/24 h]) and concentration [$\mu\text{g/l}$] of cadmium (Cd), nickel (Ni) and lead (Pb) in diameter classes (I-III) in consecutive dates of collection (T1-T4)

			T1	T2	T3	T4
V	grupa: 0,418	I	2,27 \pm 0,44a	1,97 \pm 0,12a	0,8 \pm 0,17a	0,29 \pm 0,11a
	czas: 0,001	II	3,43 \pm 1,57a	3,33 \pm 1,24a	1,5 \pm 0,12a	0,37 \pm 0,09a
	interakcja: 0,897	III	3,73 \pm 0,58a	3,07 \pm 1,05a	1,2 \pm 0,29a	0,48 \pm 0,22a
Cd	grupa: 0,397	I	0,40 \pm 0,16a	1,54 \pm 0,64a	2,65 \pm 0,28a	7,60 \pm 3,46a
	czas: 0,004	II	0,52 \pm 0,16a	1,31 \pm 0,54a	1,14 \pm 0,43a	4,17 \pm 3,52a
	interakcja: 0,675	III	0,39 \pm 0,08a	0,30 \pm 0,04a	1,22 \pm 0,38a	2,76 \pm 1,07a
Ni	grupa: 0,676	I	7,87 \pm 5,01a	2,26 \pm 0,92a	1,34 \pm 0,01a	1,49 \pm 0,15a
	czas: 0,049	II	8,37 \pm 2,33a	2,00 \pm 0,66a	1,44 \pm 0,11a	1,49 \pm 0,08a
	interakcja: 0,101	III	3,72 \pm 1,46a	9,58 \pm 5,52a	3,74 \pm 2,38a	5,29 \pm 3,95a
Pb	grupa: 0,390	I	5,17 \pm 2,02a	5,37 \pm 1,62a	8,62 \pm 2,27a	26,82 \pm 9,56a
	czas: 0,001	II	4,66 \pm 1,83a	2,43 \pm 1,04a	9,43 \pm 1,74a	12,25 \pm 5,49a
	interakcja: 0,619	III	3,12 \pm 1,17a	5,69 \pm 2,23a	6,23 \pm 3,78a	20,12 \pm 7,51a

różne litery w tej samej kolumnie oznaczają różnice istotne przy $p < 0,05$; grupa – efekt grubości, czas – efekt terminu, interakcja – efekt grubości i terminu

different letters in the same column indicate differences significant at $p < 0,05$; grupa – diameter effect, czas – date effect, interakcja – interaction of diameter and date



Ryc.

Zależność między dobową wydajnością pobieranego soku brzożowego [l/24 h] a zawartością [$\mu\text{g/l}$] kadmu (Cd), niklu (Ni) i ołowiu (Pb)

Relationship between daily yield of silver birch sap [l/24 h] and content [$\mu\text{g/l}$] of cadmium (Cd), nickel (Ni) and lead (Pb)

dla wszystkich klas grubości, przy czym była one mniej nasilona niż w przypadku kadmu: z $5,17 \pm 2,02$ do $26,82 \pm 9,56$ $\mu\text{g/l}$ (klasa I), z $4,66 \pm 1,83$ do $12,25 \pm 5,49$ $\mu\text{g/l}$ (klasa II) i z $3,12 \pm 1,17$ do $20,12 \pm 7,51$ $\mu\text{g/l}$ (klasa III). Natomiast dla niklu uzyskane wyniki były niejednoznaczne, zaobserwowano bowiem tendencję spadkową dla klas grubości I (z $7,87 \pm 5,01$ do $1,49 \pm 0,15$ $\mu\text{g/l}$) i II (z $8,37 \pm 2,33$ do $1,49 \pm 0,08$ $\mu\text{g/l}$), z kolei dla klasy III odnotowano wahania stężenia nie wskazujące na jakkolwiek wyraźną tendencję w czasie.

Dyskusja

Uzyskane wyniki porównano z rezultatami badań prowadzonych w północnej części Podkarpacia. Zasadnicza różnica pomiędzy sokami brzoszowymi z terenu środkowo-wschodniej Polski i Płaskowyżu Kolbuszowskiego uwidoczniła się w zawartości ołowiu, stanowiącego typowe zanieczyszczenie żywności pochodzące ze źródeł przemysłowych [Staniak 2014]. W przypadku drugiej lokalizacji próbki pobierane były zarówno z obszaru chronionego krajobrazu, nieeksploatowanego na emisję przemysłową i z dala od głównych dróg [Bilek i in. 2017c], jak również z bezpośredniego sąsiedztwa miasta wojewódzkiego [Bilek i in. 2018a]. W próbkach tych nie stwierdzono stężenia ołowiu powyżej granicy oznaczalności stosowanej metody analitycznej. Tymczasem w przypadku próbek z terenu Nadleśnictwa Garwolin sytuacja taka miała miejsce w zaledwie 3 przypadkach, podczas gdy dla pozostałych 33 badanych próbek odnotowano stężenie powyżej granicy oznaczalności. Wyniosło ono od $1,67$ do $45,14$ $\mu\text{g/l}$, co nasuwa wnioski o znacznym podobieństwie soku brzoszowego z terenu Nadleśnictwa Garwolin i butelkowanych soków brzoszowych pochodzących z importu [Bilek i in. 2018b]. Obowiązujące polskie ustawodawstwo żywnościowej nie podaje najwyższych dopuszczalnych wartości stężenia metali ciężkich dla soku brzoszowego. Uzyskane wyniki oznaczania zawartości ołowiu można jednak porównać z normami dla innymi środków spożywczych. Należy stwierdzić, że dla 12 na 36 badanych próbek przekroczona zostaje najbardziej restrykcyjna norma 10 $\mu\text{g/l}$ dla wody pitnej [Rozporządzenie... 2017], zaś dla 2 na 36 badanych próbek norma 30 $\mu\text{g/kg}$ dla soków i nektarów owocowych (z owoców innych niż jagody i inne drobne owoce) [Rozporządzenie... 2015]. W żadnym natomiast przypadku nie zostają przekroczone norma 50 $\mu\text{g/kg}$ dla soków i nektarów owocowych uzyskanych z jagód i innych drobnych owoców, norma 100 $\mu\text{g/kg}$ dla warzyw i owoców (z wyłączeniem żurawin, porzeczek, jagód bzu czarnego i owoców chruściny jagodnej) oraz 300 $\mu\text{g/kg}$ dla kapustnych liściowych i warzyw liściastych (z wyłączeniem świeżych ziół) [Rozporządzenie... 2015]. O znikomym zagrożeniu toksykologicznym ze strony soku brzoszowego świadczyć może również odniesienie wyników do określonej dla ołowiu wartości tymczasowego tolerowanego tygodniowego pobrania (PTWI, provisional tolerable weekly intake), wynoszącej według WHO 25 $\mu\text{g/kg}$ masy ciała. W przypadku pobranej w Nadleśnictwie Garwolin próbki o najwyższym odnotowanym stężeniu ołowiu, tj. $45,14$ $\mu\text{g/l}$, przekroczenie PTWI nastąpiłoby przy spożyciu przez osobę dorosłą ważącą 70 kg około $5,5$ litra soku brzoszowego codziennie w ciągu jednego tygodnia [Evaluation... 2011].

W przypadku pozostałych trzech metali ciężkich, tj. chromu, niklu i kadmu, wyniki badań próbek z terenu Nadleśnictwa Garwolin były zbliżone do wyników uzyskiwanych z różnych lokalizacji z terenu Podkarpacia. Kadm, podobnie jak ołów, stanowi zanieczyszczenie żywności związane z emisją przemysłową, najczęściej jednak w środkach spożywczych pojawia się w wyniku stosowania w rolnictwie nawozów sztucznych [Cichy i in. 2014]. Na terenie Podkarpacia wykazano stężenie w zakresie od $0,80$ do $10,05$ $\mu\text{g/l}$, zależnie od stanowiska poboru (zarówno tereny polne, jak i środowisko leśne) [Bilek i in. 2016a, 2017c]. W próbkach z Nadleśnictwa Garwolin zakres stężenia wyniósł od $0,27$ do $14,05$ $\mu\text{g/l}$, przy czym zarówno próbki z terenu Podkarpacia, jak i środkowo-wschodniej Polski nie przekroczyły dopuszczalnego stężenia kadmu normowanego

dla owoców i warzyw (50 µg/kg świeżej masy), warzyw korzeniowych i bulwiastych (100 µg/kg) oraz warzyw liściastych, świeżych ziół i kapustnych liściowych (200 µg/kg) [Rozporządzenie... 2014]. Natomiast przekroczenia najbardziej restrykcyjnej normy dla wody pitnej (5 µg/l) były dla obydwu lokalizacji sporadyczne i w niniejszej partii próbek dotyczyły 3 próbek na 36 badanych [Rozporządzenie... 2017]. Także i w tym przypadku odniesienie wyników do wartości tolerowanego tygodniowego pobrania (TWI, tolerable weekly intake) kadmu, wynoszącego według EFSA 2,5 µg/kg masy ciała, wskazuje, że przekroczenie normy nastąpiłoby dopiero w sytuacji spożycia blisko 1,8 litra soku o najwyższym odnotowanym stężeniu kadmu codziennie w ciągu jednego tygodnia [Statement... 2011].

Dla Nadleśnictwa Garwolin i Podkarpacia zbliżone było również stężenie niklu, przy czym przekroczenie normy dla wody pitnej (20 µg/l) odnotowano dla jednej próbki z obydwu regionów [Rozporządzenie... 2017]. W próbkach z Nadleśnictwa Garwolin stwierdzono z kolei niższą zawartość chromu – zaledwie w przypadku dwóch próbek uzyskano wynik powyżej granicy oznaczalności (0,83 i 1,00 µg/l). Natomiast zarówno w przypadku próbek z terenu Podkarpacia [Bilek i in. 2017c], jak i butelkowanych soków brzożowych [Bilek i in. 2018b] odnotowywano stężenie znacznie wyższe, wynoszące kilka i kilkanaście µg/l, nadal jednak nieprzekraczające normy dla wody pitnej, wynoszącej 50 µg/l [Rozporządzenie... 2017].

Przekroczone w soku brzożowym z terenu Nadleśnictwa Garwolin normy dopuszczalne dla wody pitnej, przede wszystkim ołowiu (12 na 36 próbek), a w mniejszym stopniu kadmu (3 na 36 próbek) i niklu (1 na 36 próbek), nie dyskwalifikują pobranego surowca pod względem bezpieczeństwa zdrowotnego, co udowadnia odniesienie najwyższych odnotowanych wartości do normy PTWI i TWI. Mają jednak bardzo istotne znaczenie z punktu widzenia gospodarki leśnej. Sok brzożowy jest bowiem surowcem podatnym na skażenie metalami ciężkimi i w sytuacji jego pozyskania z miejsc narażonych na zanieczyszczenia przemysłowe i rolnicze może stwarzać zagrożenie zdrowotne. Stąd też procedury jego pozyskiwania na potrzeby przemysłu spożywczego muszą uwzględniać przede wszystkim bardzo wnikliwe typowanie miejsc poboru [Bilek 2018].

Odrębnym problemem podjętym w niniejszej pracy jest zależność między grubością drzew a wielkością dobowego wycieku soku. Według Kostrona [1974] drzewa o większej średnicy charakteryzują się większą wydajnością. Na podstawie niniejszych badań nie udało się tego potwierdzić: najniższe wartości uzyskano co prawda dla drzew najcieńszych, jednak analiza statystyczna nie potwierdziła istotności różnic. Może to być spowodowane dużą zmiennością wielkości wycieku między poszczególnymi drzewami, co dodatkowo potwierdza tezę, że przy przemysłowym pozyskiwaniu należy pobierać sok ze znacznej liczby drzew. Postulat ten ma też zasadnicze znaczenie z punktu widzenia bezpieczeństwa żywnościowego, bowiem łączenie soku pobranego od wielu osobników powoduje uśrednienie dużego zróżnicowania międzyosobniczego i różnic w czasie, które obserwuje się w stężeniu metali ciężkich. Natomiast spożywanie soku brzożowego pobranego z jednego tylko drzewa może wiązać się z ryzykiem zdrowotnym – ze względu na ponadnormatywną zawartość metali ciężkich.

Można również stwierdzić, że przy opracowywaniu procedur pozyskiwania soku brzożowego w kontekście jego bezpieczeństwa zdrowotnego nie ma podstaw do kierowania się przy wyborze drzew pierśnicą. Z punktu widzenia zrównoważonej gospodarki leśnej za optymalne należy uznać jednak pozyskiwanie soku z drzew przeznaczonych w ciągu najbliższych lat do usunięcia, a zatem wskazane jest stosowanie zaleceń opisanych przez Paschalis-Jakubowicza [2009], a powtórzonych w obowiązujących od stycznia 2020 roku Zasadach... [2019]. Należy podkreślić, że wyniki niniejszych badań dotyczą pozyskania ograniczonego do 4 cotygodniowych poborów soku – w kontekście badania wydajności jest to pewne uproszczenie. Biorąc pod uwagę

zaobserwowaną w ramach studium przypadku dynamiczną zmienność w czasie badanych cech [Bilek i in. 2019], podjęto już badania parametrów jakościowych oraz wydajności soku brzozonego przy poborze ciągłym, przez cały okres trwania wycieku, przy dodatkowym uwzględnieniu zróżnicowania geograficznego i siedliskowego badanych drzew i drzewostanów.

Wnioski

- ✦ Nie wykazano zależności pomiędzy stężeniem ołowiu i kadmu a klasą grubości drzew. Równocześnie stwierdzono negatywną zależność statystyczną pomiędzy zawartością ołowiu i kadmu a dobową wydajnością soku pobranego z nawierconych drzew. Z kolei dla niklu istotności takiej zależności nie stwierdzono
- ✦ W miarę upływu czasu, niezależnie do klasy grubości drzewa, sok brzozonego cechował się wzrastającym stężeniem ołowiu i kadmu, natomiast w przypadku niklu wykazano dla dwóch klas grubości tendencję spadkową.
- ✦ Nie wykazano zależności między klasą grubości drzew a dobową objętością uzyskiwanego soku.
- ✦ Wyniki oznaczania zawartości metali ciężkich w soku brzozonego świadczą o tym, że jest to surowiec cechujący się dużą zmiennością badanych parametrów, zarówno pomiędzy poszczególnymi drzewami, jak i w czasie.
- ✦ Uzyskane wyniki upoważniają do stwierdzenia, że w przypadku komercyjnego pozyskiwania soku, zarówno ze względów bezpieczeństwa zdrowotnego, jak i z powodu wydajności, wskazany jest pobór soku z jak największej liczby drzew i równoczesne wnikliwe typowanie miejsc pozyskania, uwzględniające zanieczyszczenia rolnicze i przemysłowe. Natomiast pozyskiwanie i spożywanie soku brzozonego pobieranego z jednego tylko drzewa może zagrażać bezpieczeństwu konsumenta.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania Nadleśniczemu Nadleśnictwa Garwolin (RDLP Warszawa) za pomoc w realizacji badań terenowych.

Literatura

- 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.
- Bilek M. 2018. Perspektywy i warunki wykorzystania rodzimego soku brzozonego jako surowca dla przemysłu spożywczego. Postępy Techniki w Leśnictwie 143: 41-45.
- Bilek M., Chochołek K., Szwerc W., Sosnowski S., Staniszewski P. 2018a. Bezpieczeństwo zdrowotne spożywania soku brzozonego w kontekście wzrastającej popularności surowców leśnych. Studia i Materiały CEPL 54: 75-82.
- Bilek M., Kuźniar P., Cieślik E. 2016a. Kadm w pitnym soku brzozonego z terenu rolniczego. Medycyna Środowiskowa 19 (3): 31-35.
- Bilek M., Sadowska-Rociek A., Stawarczyk K., Stawarczyk M., Cieślik E. 2017b. 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., Cieślik E. 2017a. Variability of the minerals content as a factor limiting health properties of birch saps. Journal of Elementology 22 (3): 957-967.
- Bilek M., Sosnowski S., Tomusiak R., Okta J., Staniszewski P. 2019. Zmienność dobowej wydajności i wybranych parametrów fizycznych soku brzozonego. Sylwan 163 (6): 443-451. DOI: <https://doi.org/10.26202/sylvan.2018165>.
- Bilek M., Stawarczyk S., Kuźniar P., Olszewski M., Kędziora K. M., Cieślik E. 2016b. Evaluation of the content of inorganic anions in tree saps. Journal of Elementology 21 (4): 1277-1288.
- Bilek M., Szwerc W., Kocjan R. 2017c. Zawartość metali ciężkich (Pb, Cd, Cr, Ni) jako potencjalny czynnik ograniczający możliwość wykorzystania soku brzozonego. Postępy Fitoterapii 18 (3): 183-189.
- Bilek M., Żurek N., Szwerc W., Staniszewski P., Kocjan R. 2018b. Składniki mineralne i metale ciężkie w butelkowanych sokach brzozonych. Bromatologia i Chemia Toksykologiczna 51 (4): 284-292.

- Cichy B., Jaroszek H., Paszek A., Tarnowska A. 2014. Kadm w nawozach fosforowych; aspekty ekologiczne i ekonomiczne. *Chemik* 68 (10): 837-842.
- 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.
- Evaluation of certain food additives and contaminants. 2011. WHO Technical Report Series 909.
- Graves H. S. 1906. Forest mensuration. New York John Wiley & Sons, Inc. London: Chapman & Hall, Limited. Digitized by the Internet Archive in 2010 with funding from University of British Columbia Library. <http://www.archive.org/details/forestmensurati00grav> (dostęp: 27. 01. 2020).
- Jeong-Jeong S., Jeong H. S., Woo S. H., Shin Ch. S. 2013. Consequences of ultrafiltration and ultraviolet on the quality of white birch (*Betula platyphylla* var. *japonica*) sap during storage. *Australian Journal of Crop Science* 7: 1072-1077.
- Kim C.-M., Jung D.-J., Sheo H.-J. 1991. A study on the ingredients in the sap of *Acer mono* Max. and *Betula costata* T. in Mt. Jiri area – on the components of mineral and sugar. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 20 (5): 479-82.
- Kostron L. 1974. Pozyskiwanie i wykorzystanie wiosennych soków z drzew leśnych. *Sylvan* 118 (3): 44-51.
- Kūka 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* 4/5: 437-41.
- Ociepa-Kubička A., Ociepa E. 2012. Toksyczne oddziaływanie metali ciężkich na rośliny, zwierzęta i ludzi. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 15 (2): 169-180.
- 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.
- Paschalis-Jakubowicz P. [red.]. 2009. Certyfikacja gospodarki leśnej w użytkowaniu lasu w Polsce. Sprawozdanie końcowe z tematu badawczego.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 488/2014 z dnia 12 maja 2014 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów kadmu w niektórych środkach spożywczych. 2014. Dz. Urz. UE 138/75.
- Rozporządzenie Komisji (UE) 1005/2015 z dnia 25 czerwca 2015 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 w odniesieniu do najwyższych dopuszczalnych poziomów ołowiu w niektórych środkach spożywczych. 2015. Dz. Urz. UE 161/9.
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. 2017. Dz. U., poz. 2294.
- 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: 284-96.
- Staniak S. 2014. Źródła i poziom zawartości ołowiu w żywności. *Polish Journal of Agronomy* 19: 36-45.
- Staniszewski P., Woźnicka M., Janeczko E., Janeczko K. 2016. Non-wood forest products use in the context of forest recreation and education. W: Fialová J., Pernicová D. [red.]. *Public recreation and landscape protection – with nature hand in hand. Conference proceeding. 1st-3rd May 2016, Křtiny – Brno. Mendel University in Brno.* 145-151.
- Statement on tolerable weekly intake for cadmium. 2011. *EFSA Journal* 9 (2): 1975. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.1975>.
- Viškelis P., Rubinskienė M. 2011. Beržų sulos cheminė sudėtis. *Sodininkystė Ir Daržininkystė* 30 (1): 75-81.
- Zasady użytkowania lasu. 2019. Zarządzenie DGLP nr 66 z dnia 7 listopada 2019 r.
- 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.