

Strona czasopisma: <http://analit.agh.edu.pl/>

Efektywność filtracyjna i zmienność mineralizacji wody pitnej po filtracji wkładami Brita i Wessper

Filtration efficiency and variability of drinking water mineralization after filtration with Brita and Wessper cartridges

Jakub Wiercioch

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska

ABSTRAKT: W niniejszej pracy dokonano oceny jakości popularnych wkładów (zawierających jonity i węgiel aktywny) do dzbanków filtrujących w aspekcie osiąganego poziomu mineralizacji wody pitnej. Badania przeprowadzono dla dwóch rodzajów filtrów (Brita Maxtra+, Wessper Sport), oraz wody o różnym składzie chemicznym, tj. wody wodociągowej i butelkowanej: Żywiec Zdrój i Muszynianka. Mineralizację oceniano wykonując pomiary konduktometryczne przewodności właściwej oraz aktywności jonów sodu, potasu i wapnia w testowanych próbkach wód, przed i po przefiltrowaniu. Jako metodę analizy ilościowej interesujących pierwiastków zastosowano fotometrię płomieniową.

ABSTRACT: In this study, the quality of popular cartridges (containing ion exchangers and activated carbon) for filter jugs was assessed in terms of the level of mineralization in drinking water. The research was carried out for two types of filters (Brita Maxtra +, Wessper Sport), and water of different chemical composition, i.e. tap and bottled water: Żywiec Zdrój and Muszynianka. The mineralization was assessed by conducting conductometric measurements of specific conductivity and the activity of sodium, potassium and calcium ions in the tested water samples, before and after filtering. Flame photometry was used as a method of quantitative analysis of the elements of interest.

Słowa kluczowe: woda pitna, dzbanki filtrujące, filtracja wody, konduktometria, fotometria płomieniowa

1. Wprowadzenie

1.1. Rola wody w organizmie i jej znaczenie na rynku

Organizm ludzki składa się głównie z wody, która stanowi 60-70% całkowitej masy ciała. Już niewielka utrata wody w granicach ok. 3% powoduje uczucie zmęczenia, a strata na poziomie 10% stanowi poważne zagrożenie dla życia. Dzieje się tak, gdyż woda uczestniczy w szeregu procesów zachodzących w organizmie, do których możemy zaliczyć m.in.:

- transport składników odżywczych do różnych komórek organizmu (glukozy, enzymów, mikroelementów),
- usuwanie produktów przemiany materii, w tym toksycznych,
- regulację temperatury ciała.

Przytoczone powyżej faktów, a także moda na zdrowy styl życia powodują, że woda staje się niejako produktem luksusowym oferowanym przez wielu dostawców. Mowa tutaj nie tylko o przedsiębiorstwach wodociągowych czy producentach wody butelkowanej, ale również o ofertach różnego typu urządzeń przeznaczonych do uzdatniania wody, w tym filtrów osmotycznych, węglowych oraz wypełnionych żywicą jonowymienną. Ceny tych urządzeń zaczynają się od kilku złotych, a kończą na kilkunastu tysiącach. Z racji, że społeczeństwo staje się coraz zamożniejsze, a dostęp do wiedzy dzięki powszechnemu dostępowi do Internetu jest praktycznie nieograniczony wiele osób z różnych środowisk dąży do zapewnienia sobie jak najlepszych warunków bytowych. Rynek, a właściwie reklamy producentów czerpiących zyski ze sprzedaży wody propagują modę na

zwiększenie spożycia wody, szczególnie tej „krystalicznie czystej”, ubogiej w sól i o niskiej twardości. W materiałach reklamowych nie są poruszane jednak takie tematy jak skład jonowy wody czy choćby ogólna mineralizacja. A to właśnie skład jonowy spożywanej wody jest bardzo ważnym parametrem, którym ludzie powinni się kierować rozważając możliwości dodatkowego oczyszczenia wody tuż przed spożyciem. Pozostałe parametry jak niska zawartość sodu czy czystość są zapewnione zgodnie z obowiązującymi normami określającymi maksymalną zawartość poszczególnych składników [1].

W opublikowanym przez WHO raporcie w latach 80. XX w. wskazywano, że zawartość substancji rozpuszczonych w wodzie pitnej nie powinna być niższa niż 100 mg/l, a minimalna zawartość wapnia powinna wynosić 30 mg/dm³. Zapewnienie takiej ilości minerałów przyjmowanych wraz z wodą pozwala zachować równowagę w gospodarce wapniowo-potasowej, a co za tym idzie uniknąć ryzyka zmian w tkance kostnej. Jest to jednak granica absolutnego minimum, do której niektóre wody źródłane się zbliżają [2].

Podsumowując, należy stwierdzić, że dostarczenie do organizmu wody o odpowiednim składzie chemicznym jest kluczowym elementem jego funkcjonowania, gdyż zawarta w nim woda szybko ulega wymianie. W ciągu doby 3% do 6% wody ustrojowej ulega wymianie, co po 10 dniach daje wartość stanowiącą około połowy całej wody ustrojowej. W przypadku sportowców proces wymiany wody zachodzi jeszcze szybciej, gdyż większa ilość wody jest usuwana wraz z potem przez skórę oraz drogą oddechową [3].

1.2. Rola poszczególnych składników wody pitnej

Skład i udział substancji jonowych zawartych w wodzie pitnej jest silnie zróżnicowany, dlatego wyróżnia się trzy grupy składników:

- składniki główne – makroskładniki (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}),
- składniki podrzędne – nieorganiczne związki azotu, żelazo, krzemiany, substancje organiczne,
- mikroskładniki – pierwiastki rzadkie, śladowe i promieniotwórcze.

Składniki główne stanowią w sumie ponad 90% substancji rozpuszczonych w typowych wodach naturalnych (często więcej niż 99%), z tego powodu pozostałych pierwiastków nie oznacza się, o ile nie przekraczają stężeń, które byłyby niebezpieczne dla zdrowia. Dlatego w artykule omówiono jedynie wpływ składników głównych na organizm człowieka:

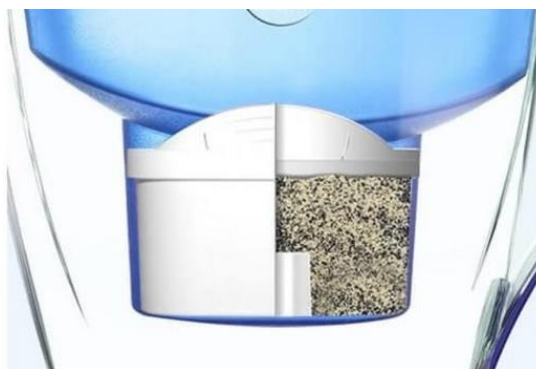
- **Wodorowęglany (HCO_3^-)** są głównym składnikiem każdej wody. Pomagają zachować właściwą równowagę kwasowo-zasadową w żołądku i jelitach, ponadto przyspieszają trawienie. Są również skuteczne w zapobieganiu objawom zatrucia alkoholowego, stąd osobom nadużywającym alkohol poleca się wody wysoko zmineralizowane.
- **Siarczany (SO_4^{2-})** nadają wodzie gorzkawy posmak. Siarka ma bardzo duże znaczenie dla poprawnego funkcjonowania komórek, a także wchodzi w skład wielu enzymów.
- **Chlorki (Cl^-)** utrzymują prawidłowe ciśnienie osmotyczne w komórkach. Jako składnik kwasów trawiennych w żołądku odgrywają istotną rolę w procesach trawiennych.
- **Sól (Na^+)** jest konieczny dla zachowania prawidłowej wymiany wody pomiędzy komórkami, a substancją międzykomórkową. Jest również bardzo ważnym regulatorem pracy mięśni, gdyż umożliwia ich skurcze.
- **Potas (K^+)** jest niezbędnym składnikiem determinującym poziom wody w komórkach i odpowiada za równowagę płynów w organizmie. Jest odpowiedzialny za przesył impulsów nerwowych oraz za skurcze mięśni. Ponadto reguluje ciśnienie osmotyczne. Niedobór tego pierwiastka skutkuje osłabieniem, spadkiem ciśnienia krwi, zaparciami oraz nerwowością.
- **Wapń (Ca^{2+})** jest głównym składnikiem kości oraz zębów. Ponadto wpływa na pracę mięśni, przesyłanie sygnałów nerwowych, odpowiada za koagulację krwi oraz reguluje pracę serca. Niedobór wapnia powoduje osteoporozę, nadmierną potliwość oraz skurcze.

- **Magnez (Mg^{2+})** odgrywa szczególną rolę w budowie kości oraz komórek, zwłaszcza komórek mięśni. Pomaga zachować równowagę systemu nerwowego i uczestniczy w aktywacji wielu enzymów. Niedobór magnezu powoduje rozdrażnienie, nerwowość oraz skurcze [1, 3, 4].

1.3. Elementy filtrów przeznaczonych do oczyszczania wody

Filtry do dzbanków filtrujących składają się z:

- **siatki polipropylenowej** umieszczonej zarówno na górze i na dole filtra. Siatka ma na celu zatrzymanie stałych zanieczyszczeń mechanicznych, które mogłyby zanieczyścić wnętrze filtra (kurz, rdza z rur, drobinki piasku itd.) oraz zapewnić jak najwyższą jakość wody na wyjściu z filtra.
- **żywicy jonowymiennej** o właściwościach kationo- i aniono-wymiennych, która ma za zadanie selektywne usunięcie niepożądanych jonów (kationów i anionów) na drodze reakcji wymiany. Zwykle producenci reklamują swoje filtry jako urządzenia usuwające metale ciężkie i jony odpowiedzialne za powstawanie kamienia kotłowego (wapń, magnez). W przemyśle w procesach zmiękczenia wody używa się soli kuchennej NaCl, z racji na szeroki dostęp do jej złóż eksploatacyjnych. W przypadku wody pitnej wprowadzany do wody sól nie jest pożądanym składnikiem, dlatego używane jest złożo, które zapewnia wymianę jonów m.in. magnezu i wapnia na jony potasu i sodu.
- **węgla aktywnego**, który dzięki rewelacyjnym właściwościom sorpcyjnym zapewnia wodzie dobry smak i zapach. Zapewnia usunięcie resztek chloru, związków organicznych i pestycydów, które prawie zawsze znajdują się w wodzie. Węgiel jest często impregnowany nanocząstkami srebra aby dodatkowo ograniczyć namnażanie bakterii w przefiltrowanej wodzie (wykazuje skuteczność do 24 h) [5].



Rysunek 1. Filtr do wody widziany w półprzekroju

Źródło: <https://a.allegroimg.com/original/11bf16/da7938c746a9bb8ee30071521eb7>

Na **Rysunku 1** przedstawiono półprzekrój typowego filtra do wody. We wnętrzu widoczna jest żywica jonowymienna w postaci beżowych ziaren i węgiel aktywny – czarne ziarna. Filtr na ogół jest umieszczony w siatce polipropylenowej, aby uniknąć przenikaniu jego składników do oczyszczanej wody.

W odpowiedzi na zarzuty, że przefiltrowana woda zawiera mniej niezbędnych człowiekowi minerałów na rynku pojawiły się filtry wzbogacone zmielonym **złożem dolomitowym**. Jest to materiał tani, łatwo dostępny o składzie chemicznym, który skutecznie mineralizuje wodę – zawiera CaO, MgO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₂, Na₂O, K₂O. Jednym z przykładów jest filtr Wessper Sport, który testowano na etapie przygotowania niniejszej publikacji [6].

2. Metodyka i wyniki pomiarów

2.1. Próbki

Badaniom poddano wodę wodociągową pochodzącą z miasta Krakowa (ujęcie Raba), a także wody butelkowane o wysokiej pozycji na rynku polskim – Żywiec Zdrój oraz Muszynianka. Zdecydowano się na taki wybór, gdyż te trzy rodzaje wód reprezentują odpowiednio wody o średniej, niskiej oraz wysokiej mineralizacji.

Dla każdej wody dokonano pomiary przed filtrowaniem, a także dla trzech kolejnych filtracji (oprócz Muszynianki). Do testów użyto filtr Brita Maxtra+ oraz filtr wzbogacony złożem dolomitowym – Wessper Sport.

Tabela 1. Zestawienie testowanych próbek wody dla filtru Brita Maxtra+, i filtru Wessper Sport

L.p.	Nazwa wody	Rodzaj próbki	Skład jonowy z etykiety [mg/l]
1.		Próbka wody pobrana z sieci wodociągowej na terenie m. Kraków.	
2.	Woda wodociągowa	Woda po jednokrotnym filtrowaniu	nie dotyczy (κ: 322 μS/cm) [7]
3.		Woda po dwukrotnym filtrowaniu	
4.		Woda po trzykrotnym filtrowaniu	
5.	Żywiec Zdrój	Woda butelkowa, po otwarciu butelki PET	SUMA: 197.00
6.		Woda po jednokrotnym filtrowaniu	HCO ₃ ⁻ : 94.00
7.		Woda po dwukrotnym filtrowaniu	Na ⁺ : 7.22
8.		Woda po trzykrotnym filtrowaniu	K ⁺ : 1.93 Ca ²⁺ : 34.07
9.	Muszynianka	Woda butelkowa, po otwarciu butelki PET	SUMA: 1954.36 HCO ₃ ⁻ : 1489.0
10.		Woda po jednokrotnym filtrowaniu	Na ⁺ : 87.8 K ⁺ : 6.4 Ca ²⁺ : 208.0

Próbki wody poddane testom zestawiono w **Tabeli 1**.

Poboru próbki wody wodociągowej dokonano w dniu analizy. Przed pobraniem próbki zlaną ok. 50 litrów wody wodociągowej, aby zapewnić jej reprezentatywność. Woda została pobrana do butelki PET o poj. 1.5 litra. Woda Żywiec Zdrój oraz Muszynianka o pojemnościach 1.5 l zostały zakupione w okolicznym sklepie spożywczym i otwarte dopiero w laboratorium.

Celem przygotowania próbek analitycznych wykorzystano filtry dzbankowe o nazwach handlowych Brita Maxtra+ i Wessper Sport. Nowe filtry przygotowano zgodnie z zaleceniami producenta, stąd wpierw zostały zanurzone w zimnej wodzie na okres ok. 5 minut, a następnie przepłukano je ok. 5 litrami wody wodociągowej. W dalszej kolejności przystąpiono do właściwego filtrowania próbek wody. Wodę wodociągową i Żywiec Zdrój filtrowano trzykrotnie, natomiast wodę Muszynianka ze względu na bardzo długi czas filtracji tylko jeden raz.

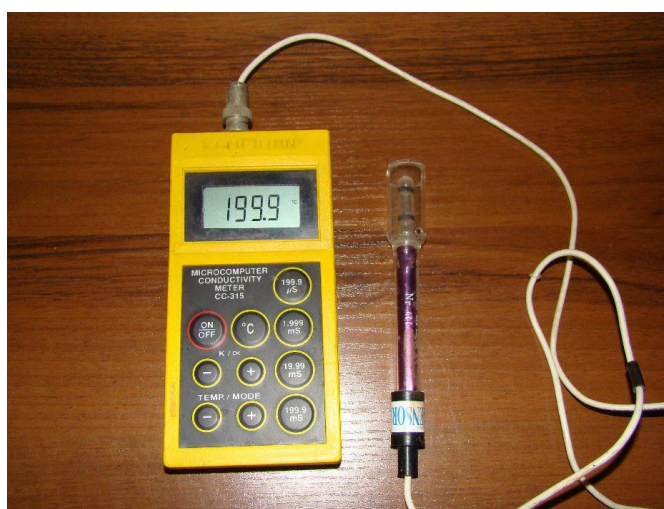
2.2. Pomiar przewodności właściwej metodą konduktometryczną

Po przygotowaniu wszystkich próbek dokonano pomiaru podstawowego parametru pozwalającego ocenić stopień mineralizacji wody, jakim jest wynik pomiaru przewodności właściwej roztworu. Z definicji wynika, że przewodność elektrolityczna roztworu wzrasta wraz ze wzrostem stężenia zdysocjowanych w nim jonów (kationów i anionów). Dla przykładu woda o niskim stężeniu

jonów wykazuje małą przewodność elektrolityczną, natomiast woda morska charakteryzująca się dużym zasoleniem i dużym stężeniem jonów, stąd bardzo dobrze przewodzi prąd elektryczny.

Zaletą metody konduktometrii bezpośredniej jest szybkie wykonywanie pomiarów oraz ich prostota. Nie jest wymagana żadna skomplikowana i kosztowna aparatura, konduktometr nie musi być często kalibrowany, za wyjątkiem wyznaczenia stałej detektora konduktometrycznego. Wadą metody jest brak selektywności, tzn. nie umożliwia oceny stężenia poszczególnych jonów, gdyż o całkowitym przewodnictwie właściwym badanego roztworu decyduje stężenie wszystkich jonów obecnych w roztworze i prędkości ich poruszania w polu elektrycznym. Ponadto, zgodnie z prawem Kohlrauscha (prawo o niezależnej wędrówce jonów) wynika, że na przewodnictwo roztworu składa się suma udziałów wnoszonych przez wszystkie obecne w nim jony.

Do przeprowadzania pomiarów przewodności właściwej wykorzystano przenośny konduktometr firmy Elmetron, model CC-315 (**Rysunek 2**), z elektrodą zanurzeniową platynową i czujnikiem temperatury. Pomiary przeprowadzono w zakresie przewodnictwa do 199.9 μS oraz do 1.999 mS.

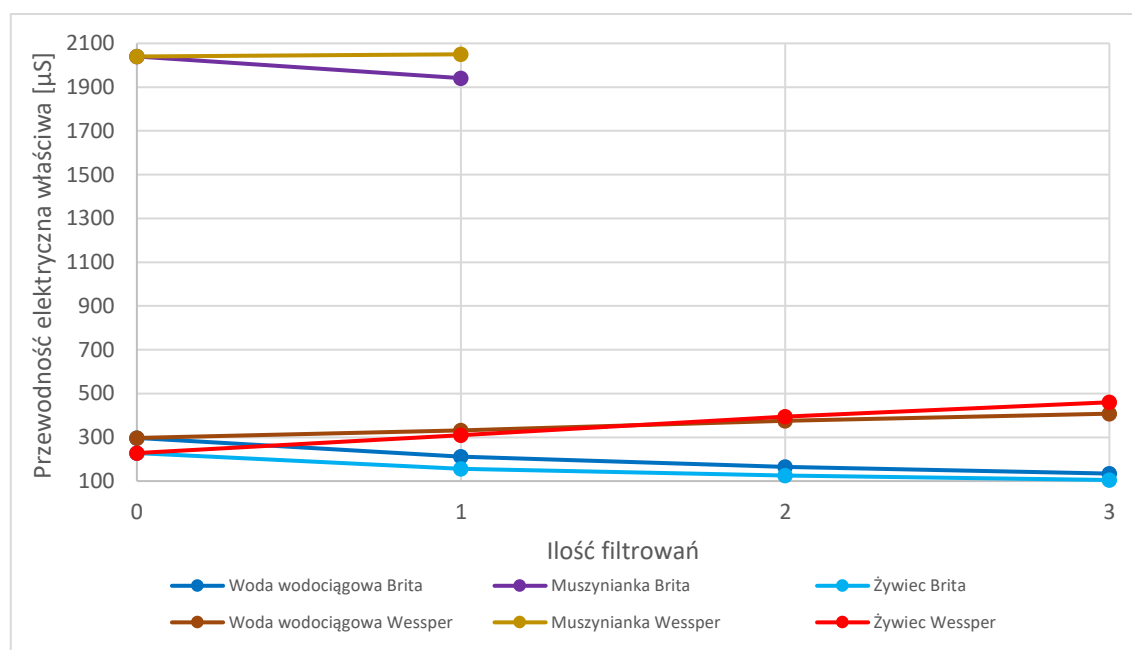


Rysunek 2. Konduktometr Elmetron CC-315 wraz z platynowym detektorem.

Rezultaty pomiarów konduktometrycznych próbek pod kątem ich przewodności właściwej zestawiono w **Tabeli 2** oraz zobrazowano graficznie na **Wykresie 1**.

Tabela 2. Zestawienie wartości przewodności właściwej próbek wód przed i po filtracji.

L. p.	Próbka	Przewodność właściwa próbek wód po filtracji z użyciem filtru	
		Brita Maxtra+ [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Przewodność właściwa próbek wód po filtracji z użyciem filtru Wessper Sport [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
1.	Woda wodociągowa, świeża		297 \pm 3
2.	Woda wodociągowa, po I filtrowaniu	212 \pm 2	332 \pm 1
3.	Woda wodociągowa, po II filtrowaniu	164 \pm 1	376 \pm 2
4.	Woda wodociągowa, po III filtrowaniu	134 \pm 1	408 \pm 1
5.	Żywiec Zdrój, świeża		228 \pm 2
6.	Żywiec Zdrój, po I filtrowaniu	155 \pm 1	310 \pm 1
7.	Żywiec Zdrój, po II filtrowaniu	126 \pm 1	394 \pm 3
8.	Żywiec Zdrój, po III filtrowaniu	105 \pm 1	460 \pm 2
9.	Muszynianka, świeża		2040 \pm 12
10.	Muszynianka, po I filtrowaniu	1941 \pm 8	2050 \pm 8

**Wykres 1.** Zmiany przewodności właściwej próbek wód poddanych 3-krotnej filtracji z zastosowaniem filtrów typu Brita Maxtra+ i Wessper Sport.

2.3. Pomiar metodą fotometrii płomieniowej

Do oznaczenia zawartości sodu, potasu i wapnia w badanych próbkach wykorzystano fotometr płomieniowy firmy BWB Technologies przedstawiony na Rysunku 3. Urządzenie jest wyposażone w palnik powietrzno-acetylenowy, który należy przed pomiarami wygrzać przez około 30 minut.



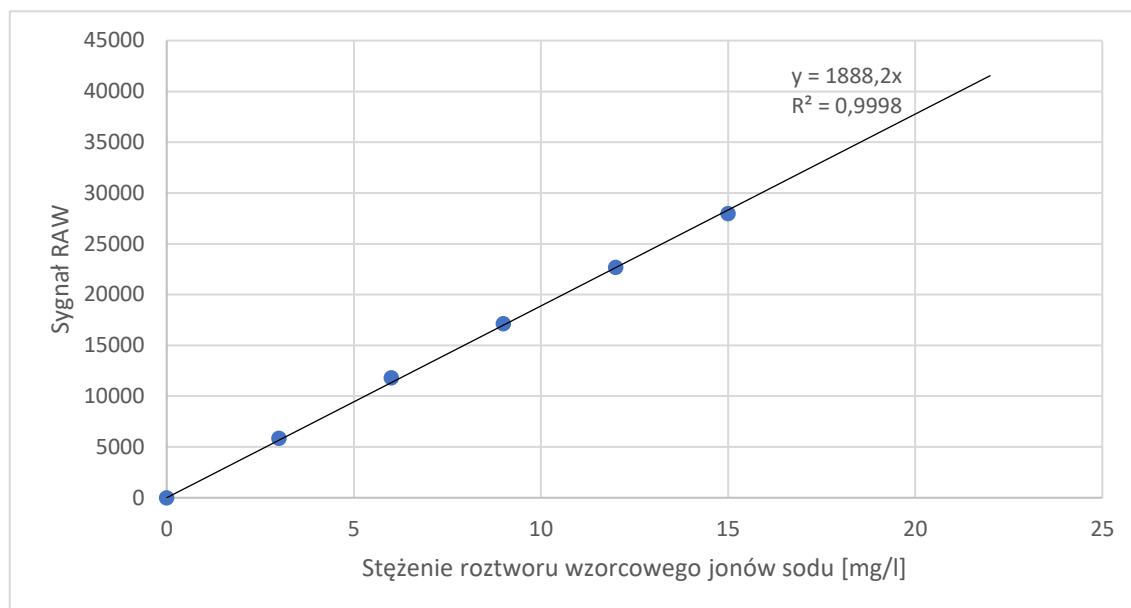
Rysunek 3. Fotometr płomieniowy firmy BWB Technologies użyty do analizy ilościowej.

Przed przystąpieniem do właściwej analizy oznaczanych próbek wód, wyznaczono zakresy liniowości i progi detekcji dla sodu, potasu i wapnia. W tym celu sporządzono po 5 roztworów wzorcowych, dla każdego z metali w oparciu o roztwory wyjściowe o stężeniu 1 mg/ml przygotowane w KChAiB, WIMiC AGH. Wybrana metoda instrumentalna pozwala na szybki pomiar dużej liczby próbek i automatyczne odczytanie wyniku na podstawie wcześniej sporządzonej kalibracji 5-cio punktowej. Co ważne, w obszarze interpolacji liniowej funkcji kalibracyjnej odczytywane wyniki cechują się bardzo dobrą precyzją i dokładnością.

2.3.1. Wyniki oznaczania sodu

Przed przystąpieniem do ilościowego oznaczania sodu, fotometr płomieniowy poddano kalibracji w oparciu o wcześniej przygotowane roztwory wzorcowe jonów sodu o stężeniu: „ślepa próba”, 3, 6, 9, 12 i 15 mg/l.

Wykres 2 ilustruje sporządzoną krzywą kalibracyjną dla jonów sodu.

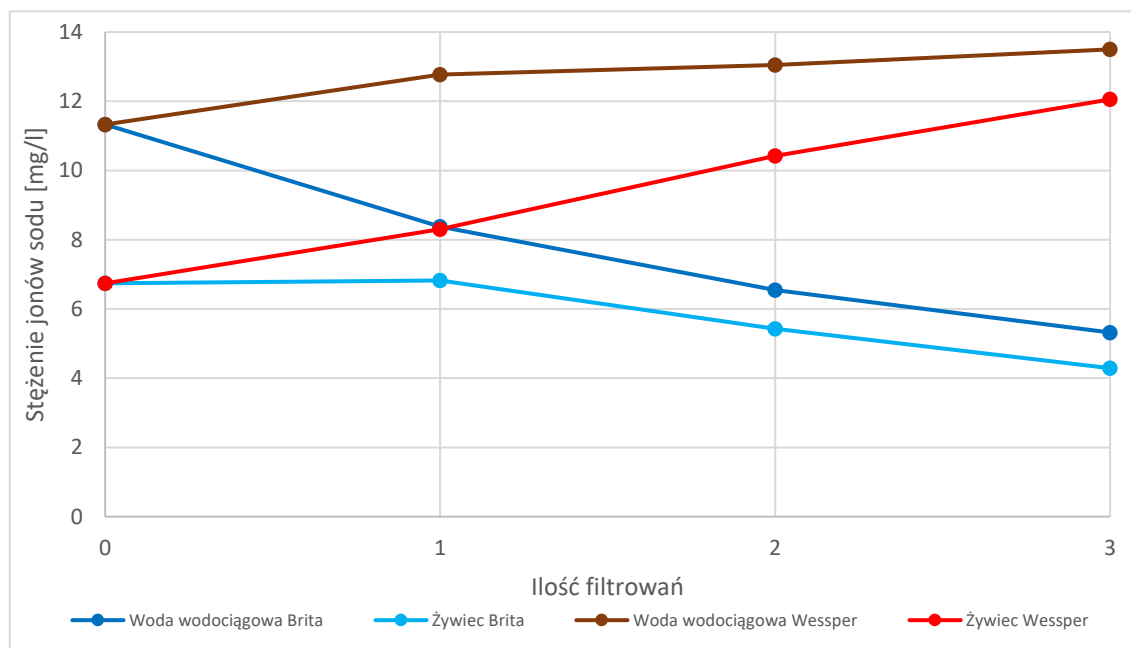


Wykres 2. Krzywa kalibracyjna sporządzona do ilościowego oznaczania jonów sodu w zakresie „ślepa próba” - 15 mg/l.

Wyniki ilościowej analizy próbek wód pod kątem stężenia jonów sodu wyznaczone w oparciu o krzywą kalibracji z **Wykresu 2** zestawiono w **Tabeli 3**. Natomiast **Wykres 3** ilustruje zmiany stężenia jonów sodu w próbkach wody wodociągowej oraz wody mineralnej Żywiec Zdrój po trzech cyklach filtracji. Wartości stężenia jonów sodu w przypadku wody mineralnej Muszynianka były tak duże, że pominięto je na **Wykresie 3** celem zapewnienia lepszej czytelności wykresów dla pozostałych wód.

Tabela 3. Zestawienie wyników oznaczania stężenia jonów sodu w badanych próbkach wód, przed i po filtracji.

L. p.	Próbka	Stężenie sodu dla filtra Brita Maxtra+ [mg/l]	Stężenie sodu dla filtra Wessper Sport [mg/l]
1.	Woda wodociągowa, świeża		11.33 ± 0.03
2.	Woda wodociągowa, po I filtrowaniu	8.38 ± 0.02	12.77 ± 0.04
3.	Woda wodociągowa, po II filtrowaniu	6.55 ± 0.01	13.05 ± 0.03
4.	Woda wodociągowa, po III filtrowaniu	5.32 ± 0.02	13.50 ± 0.03
5.	Żywiec Zdrój, świeża		6.74 ± 0.02
6.	Żywiec Zdrój, po I filtrowaniu	6.82 ± 0.02	8.31 ± 0.02
7.	Żywiec Zdrój, po II filtrowaniu	5.43 ± 0.01	10.42 ± 0.03
8.	Żywiec Zdrój, po III filtrowaniu	4.29 ± 0.02	12.06 ± 0.03
9.	Muszynianka, świeża		115.98 ± 0.06
10.	Muszynianka, po I filtrowaniu	113.27 ± 0.13	104.40 ± 0.26

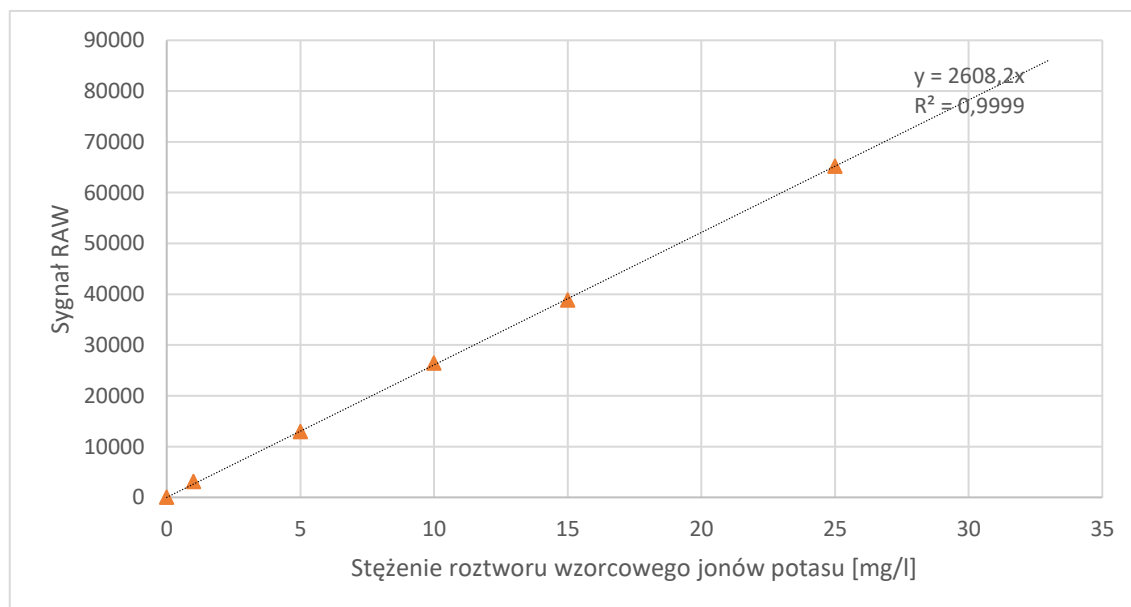


Wykres 3. Zmiany stężenie jonów sodu w próbkach wody wodociągowej i butelkowanej wody mineralnej Żywiec Zdrój, po trzech cyklach filtracji.

2.3.2. Wyniki oznaczania jonów potasu

Przed przystąpieniem do ilościowego oznaczania potasu, fotometr płomieniowy poddano kalibracji w oparciu o wcześniej przygotowane roztwory wzorcowe jonów potasu o stężeniu: „ślepa próba”, 1, 5, 10, 15 i 25 mg/l.

Wykres 4 ilustruje sporządzoną krzywą kalibracyjną dla jonów potasu.

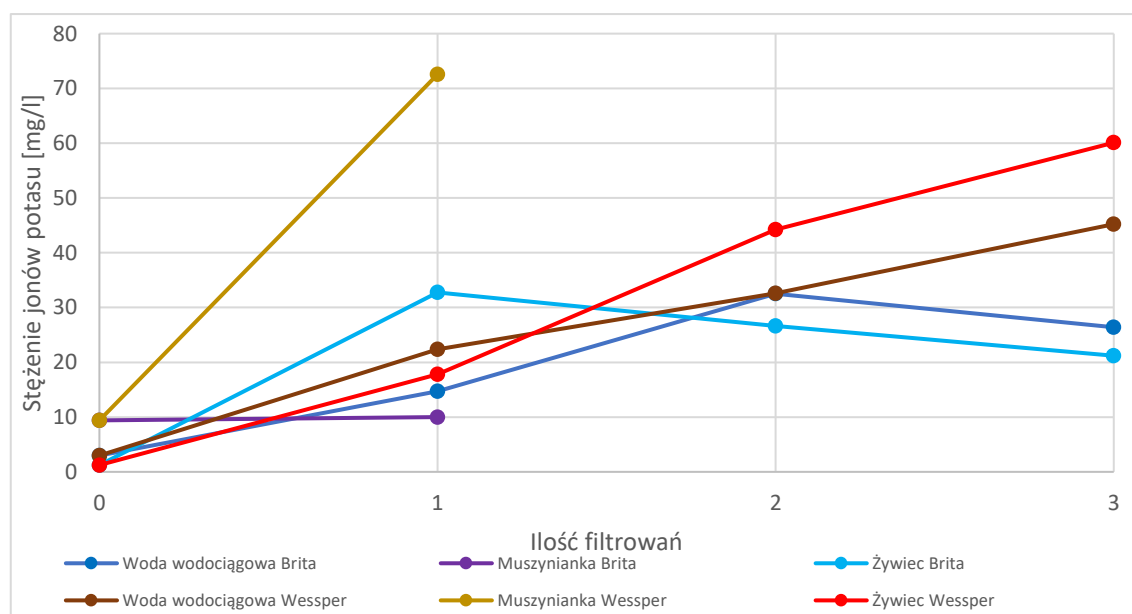


Wykres 4. Krzywa kalibracyjna sporządzona do ilościowego oznaczania jonów potasu w zakresie „ślepa próba” - 25 mg/l.

Wyniki ilościowej analizy próbek wód pod kątem stężenia jonów potasu wyznaczone w oparciu o krzywą kalibracji z **Wykresu 4** zestawiono w **Tabeli 4**. Z kolei **Wykres 5** ilustruje zmiany stężenia jonów potasu w próbkach wody wodociągowej oraz butelkowanych wód mineralnych Żywiec Zdrój i Muszynianka po trzech cyklach filtracji.

Tabela 4. Zestawienie wyników oznaczania stężenia jonów potasu w badanych próbkach wód, przed i po filtracji.

L. p.	Próbka	Stężenie potasu dla filtra Brita Maxtra+ [mg/l]	Stężenie potasu dla filtra Wessper Sport [mg/l]
1.	Woda wodociągowa, świeża		2.98 ± 0.03
2.	Woda wodociągowa, po I filtrowaniu	14.73 ± 0.01	22.35 ± 0.02
3.	Woda wodociągowa, po II filtrowaniu	32.51 ± 0.03	32.61 ± 0.04
4.	Woda wodociągowa, po III filtrowaniu	26.40 ± 0.01	45.21 ± 0.03
5.	Żywiec Zdrój, świeża		1.24 ± 0.01
6.	Żywiec Zdrój, po I filtrowaniu	32.75 ± 0.03	17.81 ± 0.01
7.	Żywiec Zdrój, po II filtrowaniu	26.64 ± 0.01	44.24 ± 0.03
8.	Żywiec Zdrój, po III filtrowaniu	21.22 ± 0.02	60.09 ± 0.03
9.	Muszynianka, świeża		94 ± 0.32
10.	Muszynianka, po I filtrowaniu	10.00 ± 0.16	72.55 ± 0.13

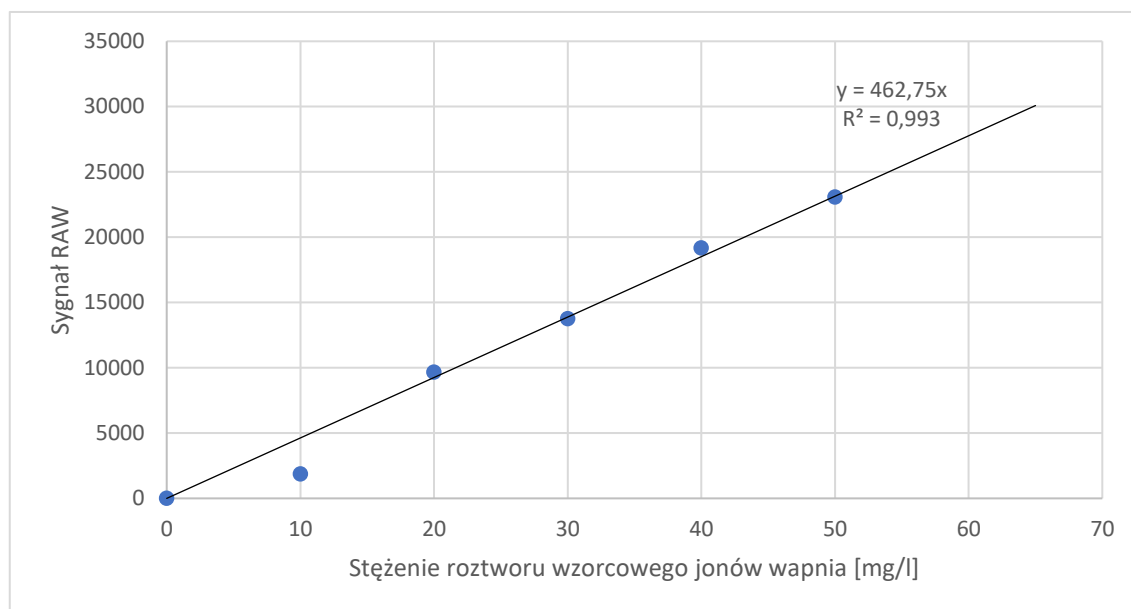


Wykres 5. Zmiany stężenia jonów potasu w próbkach wody wodociągowej i butelkowanych wód mineralnych Żywiec Zdrój i Muszynianka po trzech cyklach filtracji.

2.3.3. Wyniki oznaczania jonów wapnia

Przed przystąpieniem do ilościowego oznaczania wapnia, fotometr płomienny poddano kalibracji w oparciu o wcześniej przygotowane roztwory wzorcowe jonów wapnia o stężeniu: „ślepa próba”, 10, 20, 30, 40 i 50 mg/l.

Wykres 6 ilustruje sporządzoną krzywą kalibracyjną dla jonów wapnia.

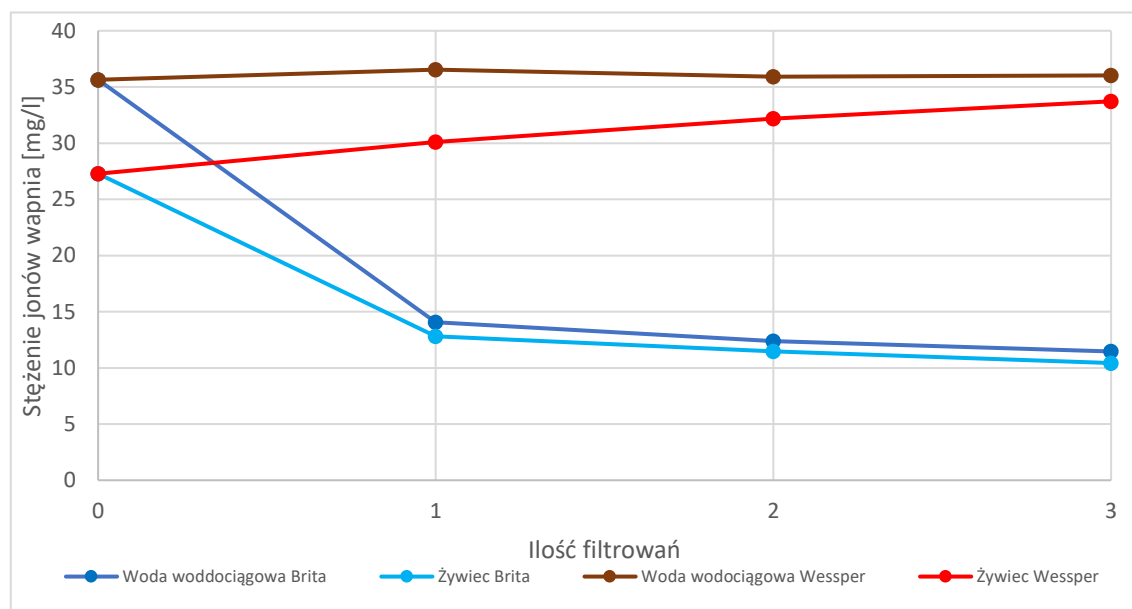


Wykres 6. Krzywa kalibracyjna sporządzona do ilościowego oznaczania jonów wapnia w zakresie „ślepa próba” - 50 mg/l.

Wyniki ilościowej analizy próbek wód pod kątem stężenia jonów wapnia wyznaczone w oparciu o krzywą kalibracji z **Wykresu 6** zestawiono w **Tabeli 5**. Natomiast na **Wykresie 7** zilustrowano zmiany stężenia jonów wapnia w próbkach wody wodociągowej oraz butelkowanej wody mineralnej Żywiec Zdrój po trzech cyklach filtracji. Podobnie jak w przypadku jonów sodu, wykresy dla wody mineralnej Muszynianka pominięto dla zachowania lepszej czytelności pozostałych wyników oznaczania jonów wapnia.

Tabela 5. Zestawienie wyników oznaczania stężenia jonów wapnia w badanych próbkach wód, przed i po filtracji.

L. p.	Próbka	Stężenie wapnia dla filtra Brita Maxtra+ [mg/l]	Stężenie wapnia dla filtra Wessper Sport [mg/l]
1.	Woda wodociągowa, świeża		35.64 ± 0.03
2.	Woda wodociągowa, po I filtrowaniu	14.06 ± 0.01	36.54 ± 0.01
3.	Woda wodociągowa, po II filtrowaniu	12.37 ± 0.01	35.92 ± 0.02
4.	Woda wodociągowa, po III filtrowaniu	11.46 ± 0.01	36.04 ± 0.01
5.	Żywiec Zdrój, świeża		27.28 ± 0.02
6.	Żywiec Zdrój, po I filtrowaniu	12.80 ± 0.01	30.09 ± 0.01
7.	Żywiec Zdrój, po II filtrowaniu	11.48 ± 0.01	32.17 ± 0.03
8.	Żywiec Zdrój, po III filtrowaniu	10.43 ± 0.02	33.72 ± 0.01
9.	Muszynianka, świeża		261.04 ± 0.39
10.	Muszynianka, po I filtrowaniu	177.77 ± 0.38	169.83 ± 0.47

**Wykres 7.** Zmiany stężenia jonów wapnia w próbkach wody wodociągowej i butelkowanej wody mineralnej Żywiec Zdrój po trzech cyklach filtracji.

3. Analiza wyników

3.1. Wyniki analizy próbek wody pierwotnej, przed filtracją

Informacja o deklarowanym stężeniu jonów sodu, potasu i wapnia podawana na etykietach wód butelkowych jest wartością średnią, zależną od panujących warunków atmosferycznych, pory roku czy zachodzących zjawisk geologicznych w dniach ujęcia wody, stąd dla zapewnienia miarodajności przeprowadzanych badań, wszystkie wody poddano wstępnej analizie jakościowej przed przystąpieniem do filtracji. I tak, jeżeli chodzi o zawartość sodu w wodzie źródłanej Żywiec-Zdrój różnica pomiędzy wartością deklarowaną i oznaczoną wynosiła zaledwie 0.48 mg/l. Natomiast w przypadku wody średnio zmineralizowanej jaką jest Muszynianka różnica ta wynosiła już 28.20 mg/l,

co jest wartością o 31% wyższą od zadeklarowanej. Analizy potasu i wapnia przyniosły podobne rezultaty, tj. niewiele wyższe stężenie potasu i trochę niższe stężenie wapnia oznaczone w próbkach wody Żywiec Zdrój (odpowiednio 3 i 53 mg/l) i dużo wyższe różnice dla wody mineralnej Muszynianka (odpowiednio 47% i 26%). Należy podkreślić, że wyniki oznaczeń dla wody mineralnej Muszynianka często przekraczały zakres liniowości metody, dlatego te próbki wód były rozcieńczone przed pomiarem wodą destylowaną.

Średnia wartość przewodnictwa właściwego wody wodociągowej dostarczanej do m. Krakowa (ujęcie Raba) obliczona na podstawie wartości średnich udostępnionych przez MPWiK, zarejestrowanych w okresie czerwiec-sierpień 2020 r., wyniosła 322 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [7], natomiast średni wynik z badań własnych był nieco niższy i wyniósł 297 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Przewodnictwo właściwe określono również dla pozostałych wód, i tak dla wody Żywiec-Zdrój średnie przewodnictwo wyniosło 228 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i było o 30% niższe niż przewodnictwo wody wodociągowej, natomiast przewodnictwo wody mineralnej Muszynianka wyniosło 2040 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i było ponad 9-krotnie wyższe niż wody wodociągowej.

3.2. Wyniki analizy próbek wody po filtracji

W przypadku próbek wody przesączonej przez filtr Brita Maxtra+ zaobserwowano wyraźny spadek jej przewodnictwa właściwego wraz z każdym kolejnym filtrowaniem. Po trzecim kroku filtracji odnotowano 2-krotnie niższe przewodnictwo w porównaniu do próbki wyjściowej. Natomiast w przypadku filtru Wessper Sport przewodnictwo wody wraz z każdą kolejną filtracją nieznacznie wzrastało, i tak dla wody wodociągowej o ok. 10% po każdym cyklu, natomiast dla wody Żywiec-Zdrój wzrost ten wynosił odpowiednio 36%, 27% i 17%. Podobne obserwacje poczyniono dla butelkowanej wody mineralnej Muszynianka. Po zastosowaniu filtru Brita Maxtra+ przewodnictwo wody systematycznie spadało natomiast użycie filtru Wessper Sport przyczyniło się do podniesienia jej przewodnictwa. Na podstawie powyższych rezultatów dowiedziono, że wkład mineralny w filtrze Wessper Sport spełnia oczekiwaną rolę, wzbogacając filtrowaną wodę o mikro- i makroelementy jonowe, nie mniej na podstawie dokonanych pomiarów przewodnictwa nie można jednoznacznie stwierdzić o jakie jony wzbogacona jest woda. Ponadto, co jest zgodne z teorią dyfuzji i równowagi chemicznej zaobserwowano, że woda (Żywiec Zdrój) o niższym przewodnictwie (niższym stężeniu jonów) jest wzbogacana w wyższym stopniu niż woda wysoko zmineralizowana (Muszynianka) o wyższym przewodnictwie (wyższym stężeniu jonów). Zjawiska te pozwalają osiągnąć optymalny poziom mineralizacji wody pitnej.

Fotometryczna analiza ilościowa sodu i potasu wykazała, że w każdym przypadku po filtrowaniu w próbkach wody wzrasta stężenie obu pierwiastków. Można zatem stwierdzić, że jonowymienna żywica użyta jako wkład filtra w efekcie zachodzącej w niej wymiany jonowej uwalnia jony sodu i potasu, który podmieniają w oczyszczanej wodzie jony wapnia, magnezu i inne. Dodatkowo w przypadku filtru Brita Maxtra+ zaobserwowano, że stężenie sodu i potasu systematycznie spada po każdym filtrowaniu.

Fotometryczne oznaczenie wapnia (główny składnik kamienia kotłowego) w wodzie po filtracji z użyciem filtru Brita Maxtra+, dały jednoznaczne wyniki. Mianowicie filtr wykonany głównie z myślą o zmiękczeniu wody sprawia, że stężenie jonów wapnia spada w niej z każdym cyklem filtracji. W przypadku użycia filtru Wessper Sport i wody o niskiej zawartości wapnia jego stężenie pozostaje na stałym poziomie lub lekko wzrasta, natomiast przy wysokiej zawartości wapnia jak w przypadku wody mineralnej Muszynianka żywica jonowymienna absorbuje jego część, w efekcie jego stężenie lekko spada.

4. Podsumowanie

Filtr Wessper Sport z wkładem ze zmielonego złoża dolomitowego zapewnia korzystny efekt mineralizacji wody po procesie filtracji, tym samym uzyskuje ona odpowiedni skład jonowy. Dowodem był obserwowany wzrost przewodnictwa właściwego wody filtrowanej z użyciem filtra dzbankowego Wessper Sport. Filtr Brita Maxtra+ już po pierwszej filtracji skutecznie redukuje stężenie wapnia, który jest odpowiedzialny za osadzanie się kamienia kotłowego.

Spożywając butelkowaną wodę mineralną należy zwrócić uwagę na poziom jej mineralizacji. Zbyt niska mineralizacja może powodować negatywne skutki zdrowotne takie jak odwodnienie organizmu czy niedobór minerałów. Dotyczy to szczególnie wód wodociągowych oczyszczanych za pomocą jonowymiennych filtrów. Należy jednak pamiętać, że przyjmowanie i wydalanie minerałów ma charakter osobniczy, i tak wody wysoko zmineralizowane będą korzystne dla sportowców, natomiast u niemowląt i osób starszych mogą zaburzać homeostazę.

Oferowane w handlu wody źródlane i mineralne różnią się nie tylko ceną czy zawartością CO₂, ale również składem mineralnym. Testowane w pracy wody Żywiec Zdrój i Muszynianka to jedne z najczęściej nabywanych wód na polskim rynku. Niestety większość kupujących nie analizuje składu mineralnego, a jedynie kieruje się informacją czy woda jest czy nie jest gazowana. Rezultaty badań opisane w pracy ukazują w jasny sposób problem mineralizacji wód oraz ich oczyszczania za pomocą dostępnych na rynku filtrów dzbankowych.

Literatura

- [1] M. Derkowska–Sitarz, A. Adamczyk-Lorenc, Wpływ składników mineralnych rozpuszczonych w wodzie pitnej na organizm człowieka, Prace Naukowe Instytutu Górniczo-Politechnicznego Wrocławskiej, 2008
- [2] M. Drobnik., T. Latour, Wpływ wody dejonizowanej na stan zdrowotny ludności. Roczniki PZH, Warszawa 2002, zeszyt 53, nr 2, s.187–195.
- [3] Rola składników mineralnych rozpuszczonych w wodzie pitnej na organizm człowieka, Prace Naukowe Instytutu Górniczo-Politechnicznego Wrocławskiej, Nr 123, Studia i Materiały Nr 34, 2008
- [4] T. Latour, Bezpieczeństwo Wód Mineralnych, Zakład Tworzyw Uzdrawiskowych Państwowego Zakładu Higieny, 2006
- [5] BRITA MAXTRA+ Pure Performance, <https://www.brita.pl/system-filtracji-wody/filtry-i-wklady/maxtra-plus-pure-performance> (dostęp 6.11.2020)
- [6] Złoża filtracyjne, <http://www.escape.com.pl/zloza/zloza.html> (dostęp 6.11.2020)
- [7] Komunikat MPWiK S.A. Kraków w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi dostarczanej do sieci miejskiej Krakowa https://wodociagi.krakow.pl/admin/files/Files/jaka_mam_wode/2020/czerwiec2020_sierpień2020/komunikat_o_jakosci_wody.pdf (dostęp 6.11.2020)