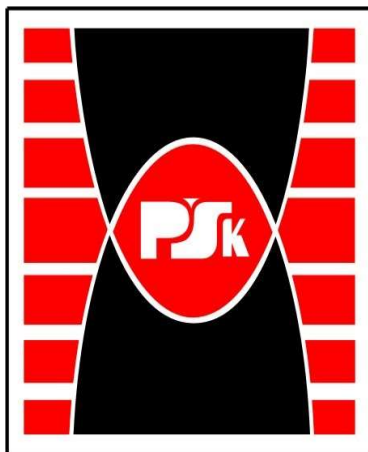


Politechnika Świętokrzyska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji Energetyki
Odnawialnej



ROZPRAWA DOKTORSKA

Ocena zmienności składu wody wodociągowej w aglomeracji X

mgr inż. Monika Metryka-Telka

promotor: dr hab. Jarosław Gawdzik, prof. PŚk

Kielce 2023

*Pragnę serdecznie podziękować:
Panu dr hab. inż. Jarosławowi Gawdzikowi, prof. PŚk
za wszechstronną pomoc, opiekę naukową, cenne rady
i wszelką życzliwość;*

Mężowi, za cierpliwość i wsparcie.

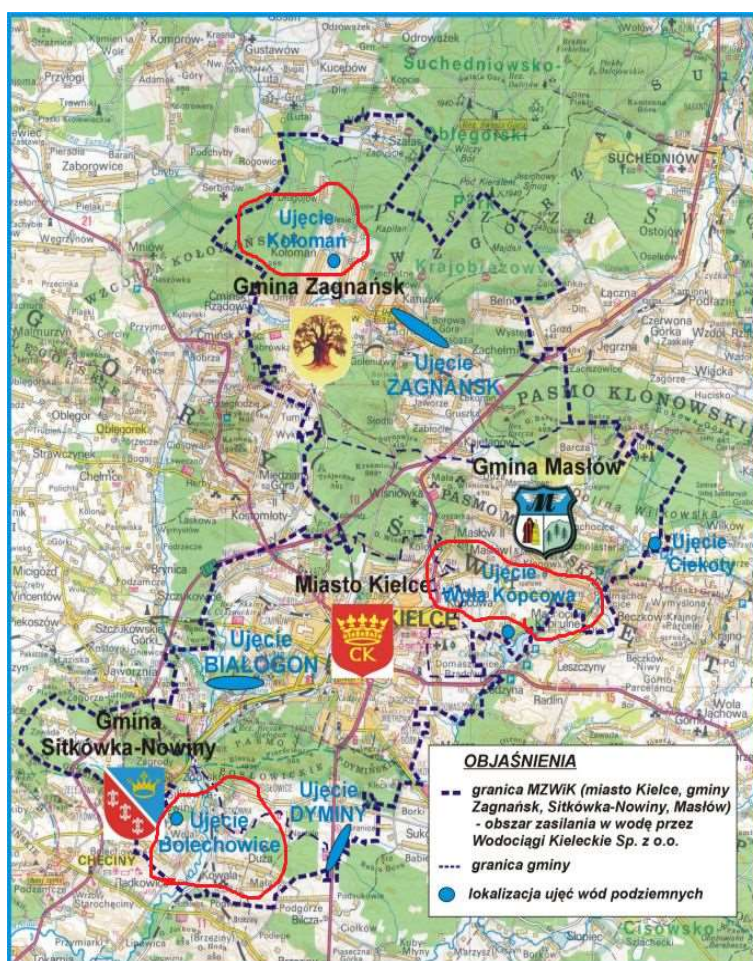
SPIS TREŚCI

1	WSTĘP.....	5
2	PROBLEM, CEL PRACY ORAZ HIPOTEZA BADAWCZA.....	7
3	CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ WODY PITNEJ.....	8
3.1	Przegląd aktów formalno-prawnych w zakresie wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.....	8
3.1.1	Normy.....	8
3.1.2	Dyrektywy.....	9
3.1.3	Ustawy.....	10
3.1.4	Rozporządzenia	10
3.2	Wskaźniki badane dla wód podziemnych przeznaczonych do spożycia	11
3.2.1.	Wskaźniki fizykochemiczne wody.....	15
3.2.2	Wskaźniki organoleptyczne	19
3.2.3	Wskaźniki mikrobiologiczne.....	20
4	PRZEGLĄD WYBRANYCH BADAŃ ZWIĄZANYCH ZE STABILNOŚCIĄ CHEMICZNĄ WODY	24
4.1	Indeksy stabilności chemicznej.....	25
4.2	Minerały występujące w wodzie.....	31
4.3	Stabilność chemiczna – wpływ na eksploatacje sieci wodociągów.....	34
5	PRZEGLĄD WYBRANYCH BADAŃ ZWIĄZANYCH Z RADONEM.....	41
5.1.	Radon – ogólna charakterystyka.....	43
5.2.	Radon wpływ na zdrowie i życie człowieka.....	46
5.3	Usuwanie radonu z wody	50
6	MODEL SIECI BAYESOWSKICH	58
7	CHARAKTERYSTYKA BADANYCH UJĘĆ	62
7.1	Sieci wodociągowe – budowa.....	62
7.2	Studnia głębinowa – zastosowanie	65
7.3	Ujęcia Bolechowice- charakterystyka.....	67
7.3.1	Struktura budowy wodociągu.....	69
7.4	Ujęcia Kołomań - charakterystyka.....	71
7.4.1	Ogólna charakterystyka.....	71
7.4.2	Struktura budowy wodociągu.....	72
7.5	Ujęcie Wola Kopcowa – charakterystyka.....	72
7.5.1	Ogólna charakterystyka.....	72
7.5.2	Struktura budowy wodociągu.....	73

8	METODYKA BADAŃ	74
8.1	Badania jakości wody	74
8.2	Badania stabilności chemicznej wody	74
8.3	Pomiar stężenia radonu w sieci wodociągowej	76
8.4	Analiza statystyczna.....	79
9	WYNIKI BADAŃ.....	80
9.1	Bolechowice - jakość wody	81
9.1.1	Bolechowice – stabilność chemiczna wody	84
9.1.2	Bolechowice – aktywność ²²² Rn w wodzie.....	88
9.2	Kołomań – jakość wody.....	89
9.2.1	Kołomań – stabilność chemiczna	92
9.2.2	Kołomań – aktywność ²²² Rn w wodzie.....	95
9.3	Wola Kopcowa – jakość wody	96
9.3.1	Wola Kopcowa – stabilność chemiczna wody	99
9.3.2	Wola Kopcowa – aktywność ²²² Rn w wodzie.....	102
9.4	Opracowanie statystyczne.....	103
9.4.1	Model sieci bayesowskich.....	103
9.4.2	Zestawienie korelacji między wybranymi wskaźnikami jakości wody oraz ²²² Rn	104
9.4.3	Analiza stanu jakości wody na przestrzeni czasu dla 3 wybranych punktów na sieci wodociągowej – ujęcie, środek sieci oraz koniec sieci	106
9.4.4	Analiza stanu stabilności chemicznej wody na przestrzeni czasu dla 3 wybranych punktów na sieci wodociągowej – ujęcie, środek sieci oraz koniec sieci	147
9.4.5	Ranking wielokryterialny dla 3punktów poboru na sieci.....	188
10	PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	192
	WYKAZ LITERATURY	197
	Akty prawne.....	197
	Bibliografia	197
	WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW.....	208
	WYKAZ TABEL	221

1 WSTĘP

Woda jest jednym z podstawowych i niezbędnych do życia składników pokarmowych. Dlatego też ważne jest aby jej jakość oraz stabilność chemiczna były zachowane na odpowiednim poziomie, bezpiecznym dla ludzi z niej korzystających. W niniejszej pracy przeprowadzono szczegółową analizę wskaźników jakościowych wody oraz jej indeksów stabilności chemicznej na przestrzeni 10 lat (2012 r. -2022 r.), a także zbadano ją pod kątem występowania w niej promieniotwórczego pierwiastka jakim jest radon dla trzech wybranych ujęć w powiecie kieleckim. Położenie tych punktów na mapie przedstawia rys. 1.1.



Rys. 1.1. Źródła zaopatrzenia w wodę na terenie działalności Spółki Wodociąg Kielce [20]

Ujęcie pierwsze położone jest w gminie Sitkówka Nowiny w miejscowości Bolechowice. Zasila w wodę część zachodnią i centralną gminy Sitkówka – Nowiny. Ujęcie drugie położone jest w gminie Zagnańsk i zasila jej zachodnią część tj. miejscowości Tumlin, Umer, Kołomań – tam znajdują się ujęcie, Długojów i Szałas. Ujęcie trzecie zasila całą gminę Masłów z wyłączeniem miejscowości Domaszowice i Dąbrowa, usytuowane jest w miejscowości Wola Kopcowa. To ujęcia wód podziemnych i mieszczą się głównie na terenach wiejskich [14]. Ujęcia będące w eksploatacji Spółki „Wodociąg Kielce” mają wydajność 68.036 m³/d. W obecnej

chwili zapotrzebowanie na wodę MZWiK znajduję się na poziomie 40.000 m³/d. Badane ujęcia wody mają następujący procentowy udział w ogólnym zapotrzebowaniu na wodę gmin MZWiK: Bolechowice: 2,3%; Kołomań: 0,6%; Wola Kopcowa: 0,7%. Położenie tych ujęć przedstawiono na rys. 1.1.; ich właścicielem i zarządcą są „Wodociągi Kieleckie” Spółka z o.o.; Kielce ul. Krakowska 64.

Biorąc pod uwagę Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2017 r. poz. 2294) zgodnie z obowiązującymi przepisami, o tym, czy woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego decyduje jej skład w miejscu czerpania przez odbiorców [5].

Stabilność chemiczna wody to jeden z podstawowych problemów związanych z jakością wody wodociągowej nie tylko dla omawianych ujęć. Stabilność ta określana jest zazwyczaj w oparciu o jej stan równowagi węglanowo-wapniowej. Woda posiadająca skłonność do wytrącania dużych ilości CaCO₃ ma tendencje do odkładania znacznych ilości osadów na ścianach rurociągów. Woda posiadająca możliwość rozpuszczania CaCO₃ określana jest jako agresywna, co nierzadko wpływa również na jej korozyjne własności [15]. Woda, która jest stabilna chemicznie i biologicznie nie tworzy osadów na wewnętrznych powierzchniach przewodów. Substancje pojawiające się w wodzie wchodzi często w reakcje z tworzywem z jakiego wykonane są przewody wodociągowe, co negatywnie wpływa na utrzymanie stabilności chemicznej wody. Najistotniejszymi czynnikami wpływającymi na stabilność są aniony, takie jak siarczany, chlorki, a także tlen rozpuszczony oraz reagenty stosowane do dezynfekcji wody [16]. W momencie wprowadzenia do sieci wodociągowej wody, która nie jest stabilna chemicznie, można doprowadzić do korozji elektrochemicznej przewodów, jak również do przedostania się substancji powstałych w jej wyniku do wody w tym szczególnie związków metali uwalnianych materiałów, które wykorzystano do ich budowy [17,18].

W następstwie takiego zjawiska woda staje się mętna i ma widoczne zabarwienie. W wodzie charakteryzującej się korozyjnością mogą uwalniać się osady wewnątrz przewodów, a z nimi rozwijają się dalsze zanieczyszczenia mikrobiologiczne, a także chemiczne [19].

Celem badań radiologicznych wody dla sieci wodociągowych/ujęć wody jest określenie rozmiaru i charakteru prawdopodobnego narażenia na substancje promieniotwórcze w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Tego typu badania należy wykonywać nie rzadziej niż raz na 5 lat.

2 PROBLEM, CEL PRACY ORAZ HIPOTEZA BADAWCZA

Problemem badawczym jest ocena zmienności składu wody wodociągowej dla 3 wybranych ujęć wodociągowych w powiecie kieleckim. Należą do nich Wola Kopcowa, Bolechowice oraz Kołomań.

Głównym celem naukowym jest określenie zmienności jakości wody oraz stabilności chemicznej w czasie, a także stworzenie modelu wpływu wskaźników jakościowych wody na zawartość w niej radonu.

Biorąc powyższe pod uwagę, postawiono następujące hipotezy badawcze H_1 :

- jakość oraz stabilność chemiczna wód ujmowanych ulegają istotnemu pogorszeniu w funkcji czasu eksploatacji ujęcia,
- stężenia radonu w sieci wodociągowej są istotnie niższe niż w wodzie bezpośrednio wypływającej z warstwy wodonośnej i nie przekraczają limitów EPA w końcowym punkcie sieci.

3 CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA JAKOŚĆ WODY PITNEJ

3.1 Przegląd aktów formalno-prawnych w zakresie wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi

Woda przeznaczona do spożycia przez ludzi musi spełniać szereg istotnych wymagań dla zdrowia i życia ludzkiego. Woda zawiera rozmaite substancje, głównie minerały pochodzenia naturalnego, które są potrzebne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Warto zaznaczyć, że mogą się w niej pojawić również substancje niepożądane, które w konsekwencji mogą pogarszać jakość wody. Należy zatem prowadzić badania pod kątem jej właściwości fizycznych (temperatura, barwa, przewodność, może być to również radoczynność); organoleptycznych (smak i zapach); chemicznych (ilość rozpuszczonych substancji chemicznych); oraz występowania w niej mikroorganizmów (ilość rozwijających się kolonii bakteryjnych w wodzie [5]). Do aktów formalno-prawnych, przedstawiających obostrzenia dotyczące wody pitnej zalicza się szereg norm, dyrektyw, ustaw a także rozporządzeń regulujących przepisy dotyczące dopuszczalnych stężeń dla różnych substancji w wodzie przeznaczonej do spożycia.

3.1.1 Normy

- **Norma europejska PN-EN 15975-2:2013-12** – określająca bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia oraz wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka [1];
- **Norma międzynarodowa PN-EN ISO 14189:2016-10** –określająca jakość wody, oznaczenie ilościowe *Clostridium perfringens* metodą filtracji membranowej [2];
- **Norma międzynarodowa PN-EN ISO 17994:2014-04** -określająca jakość wody, wytyczne do porównania względnego odzysku mikroorganizmów według dwóch metod ilościowych (zastępuje wycofaną Normę PN-EN ISO 17994:2007 określającą jakość wody, kryteria ustalania równoważności metod mikrobiologicznych) [3].

Tabela 3.1. Wykaz norm dla badanych wskaźników [5]

Badane wskaźniki	Identyfikacja metody
pH	PN-EN ISO 15975-2:2013+AC:2012
Azotany	PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012
Azotyny	PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012
Chlorki	PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012

Magnez	PN-C-04554-4:1999
Mangan	PN -EN ISO 15586: 2005
Miedź	PN-ISO 8288:2002
Siarczany	PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012
Sód	PN-ISO 9964-1:1994 + Ap1:2009
Twardość ogólna	PN-ISO 6059:1999
Wapń	PN-ISO 6059:1999
Zasadowość ogólna	PN-EN ISO 9963-1:2001
Żelazo ogólne	PN-ISO 6332:2001+ Ap 1:2016-06
Amonowy jon	PN-C-04576-4:1994

3.1.2 Dyrektywy

- **Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 03.11.1998r.** w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [6];
- **Dyrektywa Komisji (UE) 2015/1787 z dnia 06.10.2015r.** [7], wprowadzająca zmiany do załączników II i III do ww. dyrektywy;
- **Dyrektywa Rady 2013/51/EURATOM z dnia 22.10.2013r.**[8], która wprowadza wymagania pod kątem dopuszczalnych zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16.12.2020r.** w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [9], która jest odpowiedzią między innymi na raport Europejskiego Biura Regionalnego Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) dotyczący wartości parametrycznych wskaźników ujętych w dyrektywie 98/83/WE i ich odniesienia do aktualnego wiedzy i rozwoju techniki;
- **Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12.12.1991r.** w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego [10].

3.1.3 Ustawy

- **Ustawa z dnia 07.06.2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków** (Dz. U. z 2020 r. poz. 2028 z późniejszymi zmianami). Ustawa przedstawia zasady i warunki zbiorowego zaopatrzenia w wodę przeznaczoną do spożycia przez ludzi oraz zbiorowego odprowadzania ścieków, w tym zasady działalności przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych, zasady tworzenia warunków do zapewnienia ciągłości dostaw i odpowiedniej jakości wody, niezawodnego odprowadzania i oczyszczania ścieków, a także ochrony interesów odbiorców usług, z uwzględnieniem ochrony środowiska i optymalizacji kosztów[11];
- **Ustawa z dnia 14.03.1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej** (Dz. U. z 2021 r. poz. 195 z późniejszymi zmianami). Ustawa określa w jaki sposób organy Państwowej Inspekcji Sanitarnej sprawują nadzór nad jakością wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi [12];
- **Ustawa z dnia 20 lipca 2017r. Prawo wodne** (Dz. U. z 2022 r. poz. 2625 z późniejszymi zmianami). Ustawa określająca zarządzanie zasobami wodnymi [13].

3.1.4 Rozporządzenia

- **Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi** (Dz. U. poz. 2294). Rozporządzenie to określa wymagania dotyczące wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, w tym czynniki bakteriologiczne, fizykochemiczne oraz organoleptyczne; sposób oceny przydatności wody, program monitoringu jakości wody; jak nadzorować materiały i wyroby stosowane w procesach dystrybucji oraz uzdatniania wody; sposób informowania konsumentów o jakości wody, a także postępowania przed organami Państwowej Sanitarnej w przypadku, gdy woda nie spełnia wymagań jakościowych; nadzór nad laboratoriami wykonującymi badania jakości wody; definicję tj.: substancje promieniotwórcze, dawka orientacyjna, wartość parametryczna, wstępny oraz kontrolny monitoring substancji promieniotwórczych, strefę zaopatrzenia, częściowe sprawozdanie z badań jakości wody, a także ocenę ryzyka [5].

3.2 Wskaźniki badane dla wód podziemnych przeznaczonych do spożycia

W skład wód podziemnych wchodzi gazy, substancje rozpuszczone, związki organiczne oraz nieorganiczne, a także mikroorganizmy. Jeśli chodzi o gazy woda jest zawsze w jakimś stopniu nimi nasycona i tworzy się tzw. równowaga wodno-gazowa [21]. Na rozpuszczalność gazów w wodzie ma wpływ głównie ciśnienie oraz temperatura. Wpływ temperatury, a rozpuszczalność najczęściej pojawiających się gazów w wodzie, w tym również promieniotwórczego radonu prezentuje tabela 3.2.

Tab. 3.2. Rozpuszczalność gazów występujących w wodach podziemnych [22]

Wybrane gazy		0°C	5°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C
N ₂	α	0,024	0,021	0,019	0,016	0,014	0,012	0,011
	λ	0,024	0,021	0,02	0,017	0,015	0,014	0,013
	mg/kg	29,48	26,21	23,54	19,66	16,91	14,71	12,66
O ₂	α	0,049	0,043	0,038	0,031	0,027	0,023	0,021
	λ	0,049	0,044	0,040	0,034	0,030	0,027	0,021
	mg/kg	69,92	61,15	54,25	43,98	36,75	31,24	26,68
CO ₂	α	1,713	1,424	1,194	0,878	0,665	0,530	0,436
	λ	1,713	1,450	1,238	0,942	0,738	0,608	0,516
	mg/kg	3346	2774	2318	1688	1257	973	761
H ₂ S	α	4,670	3,977	3,399	2,582	2,037	1,660	1,392
	λ	4,670	4,050	3,523	2,771	2,261	1,903	1,647
	mg/kg	7066	6001	5112	3846	2983	2361	1883
CH ₄	α	0,056	0,048	0,042	0,033	0,028	0,024	0,021
	λ	0,056	0,049	0,043	0,035	0,031	0,027	0,025
	mg/kg	3959	3410	2955	2319	1904	1586	1359
Rn	α	0,510	0,412	0,337	0,238	0,180	0,144	0,118
	λ	0,510	0,420	0,349	0,255	0,200	0,165	0,140

λ -rozpuszczalność gazów, α - współczynnik rozpuszczalności gazów

Z powyższej tabeli wynika, że wraz ze wzrostem temperatury maleje ilość rozpuszczonego gazu w wodzie. Pierwszym, słabo rozpuszczalnym gazem pojawiającym się w wodzie jest azot. Warto zaznaczyć, że występuje on w niej w różnych formach. Może pojawić się jako amoniak i mocno z nim powiązany amonowy jon, azotan lub azotyn. Źródło zanieczyszczeń środowiska w którego skład wchodzi amoniak jest dosyć szerokie. Może być pochodzenia antropogenicznego lub mineralnego [23]. Zważając na fakt, że dobrze rozpuszcza

się w wodzie jest często składnikiem wykrywanym zarówno w wodach powierzchniowych jak i odziemnych. Stężenie jonu amoniowego jest zazwyczaj nieznaczne [24]. Amoniak może utleniać się do kwasu azotowego(III). Jest to możliwe przy współudziale bakterii Nitrosomonas. Jeśli jest dostateczna ilość tlenu z udziałem bakterii Nitrobacter utlenia się do kwasu azotowego (V). Zmiany te nazywamy nitrifikacją. W sytuacji, gdzie dotlenienie jest zbyt niskie mamy do czynienia z reakcją denitryfikacji. Jeśli w wodzie jest sam amoniak można podejrzewać, że zanieczyszczenia są w niej tylko organiczne np. ścieki gospodarcze. W sytuacji gdy w wodzie obok amoniaku występują jeszcze azotyny może to wskazywać na to, że do zanieczyszczenia doszło już jakiś czas temu. Jeśli zaś obok azotanów nie pojawia się amoniak mamy sytuację, gdzie woda mogła być zanieczyszczona wcześniej i doszło do jej samooczyszczenia [25] Występujące w nadmiarze związki azotu mogą być bardzo szkodliwe dla zdrowia ludzkiego [26]. Dla ujęć Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa azotany utrzymują się w przedziale 2-15mg/dm³, zaś azotyny w przedziale 0,02-0,08mg/dm³. Warto tu zaznaczyć, że najwyższe wartości pojawiają się pojedynczo i nie wpływają na pogorszenie jakości omawianych wód.

Kolejnym gazem pojawiającym się w wodzie jest tlen rozpuszczony. Podobnie jak azot słabo rozpuszcza się w wodzie. W wodach podziemnych odnotowuje się jego niewielkie ilości, ponieważ wraz ze wzrostem głębokości stopniowo on zanika, a po przekroczeniu głębokości, która jest zwana granicą tlenową, woda jest zupełnie pozbawiona tlenu. Jego źródłem jest atmosfera. Warto zaznaczyć, że jest czynnikiem, który kształtuje skład wód podziemnych. Dzieje się tak, ponieważ zawartość tlenu jest istotna dla warunków utleniająco–redukujących, a także dla przebiegu procesów chemicznych oraz biologicznych. Powoduje on utlenianie substancji organicznych i nadaje wodzie własności korodujące w stosunku do stali oraz żeliwa.

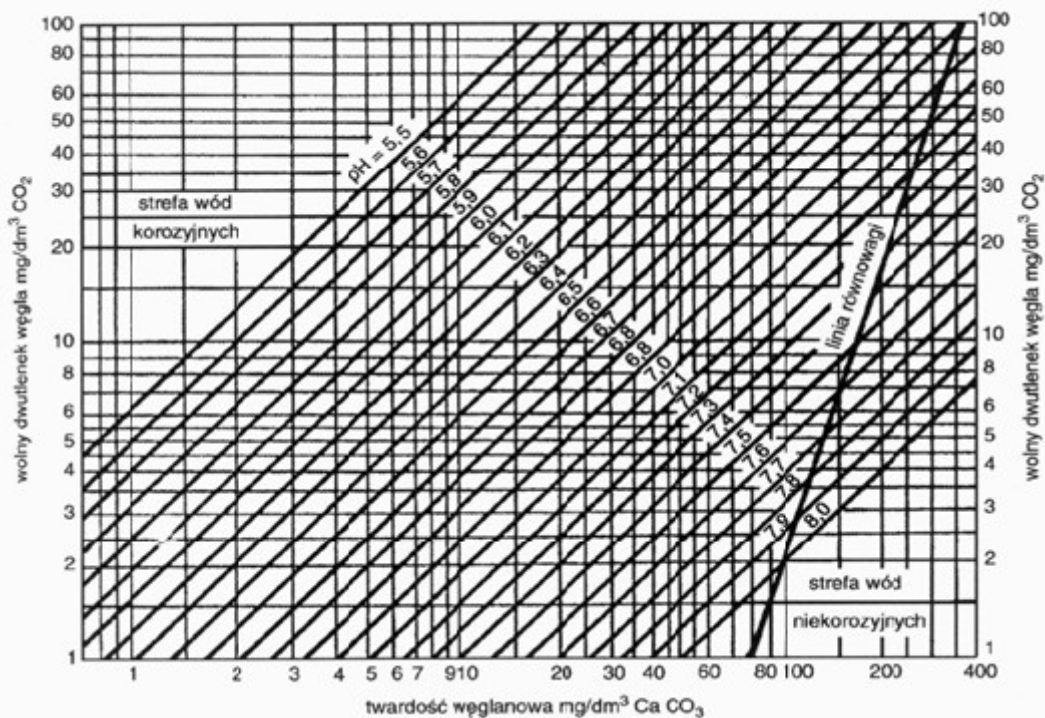
W przypadku ditlenku węgla jego rozpuszczalność maleje wraz ze wzrostem temperatury, ale rośnie pod wpływem ciśnienia. Jednak w wodach podziemnych jego rozpuszczalność jest zazwyczaj wyższa niż pokazuje to tab. 3.3. Powodem takiego stanu jest występowanie ciśnienia wyższego niż ciśnienie atmosferyczne, a także powstający kwas węglowy, który dysocjuje dwustopniowo do jonu HCO₃⁻ oraz CO₂⁻. Z kolei wolny CO₂ przyjmuje postać rozpuszczoną H₂CO₃. Na dysocjację tego związku wpływa pH. Wolny ditlenek węgla (CO_{2w}) jest niezbędny o utrzymania w wodzie rozpuszczonego Ca(HCO₃)₂co obrazuje poniższe równanie równowagi węglanowo-wapniowej:



Ditlenek węgla z powyższego równania jest zwany ditlenkiem węgla przynależnym (CO_{2p}). Jego wartość w wodzie rośnie wraz ze wzrostem twardości węglanowej danej wody. Ditlenkiem węgla agresywnym (CO_{2a}) nazywamy pozostałą część ditlenku wolnego co pokazuje poniższe równanie:

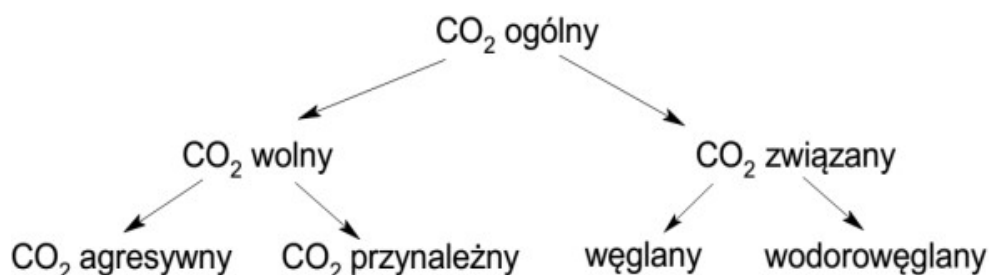
$$(\text{CO}_{2a} = \text{CO}_{2w} - \text{CO}_{2p}) \quad (3.2)$$

Agresywny ditlenek węgla jest niepożądany w wodzie ze względu na powodowanie korozji metali, a także betonu. Sam ditlenek węgla, natomiast jest istotny dla kształtowania chemizmu wód podziemnych. Powoduje szybsze rozpuszczanie minerałów przez wodę, a sam rozpuszczając się w wodzie staje się źródłem jonów HCO_3^- . Kiedy jest zbyt mało węgla wolnego w wodzie, będzie wytrącać się CaCO_3 . Wody zawierające agresywny ditlenek węgla będą zaś rozpuszczać CaCO_3 aż do osiągnięcia równowagi węglanowo-wapniowej [22], którą przedstawia poniższy rysunek.



Rys.3.1. Zależność pomiędzy twardością węglanową i pH, a zawartością ditlenku węgla wolnego, agresywnego i równoważnego, przy temp. 10°C [27]

Źródłem ditlenku węgla mogą być procesy geochemiczne (wietrzenie minerałów węglanowych), może on się przedostawać do wód z infiltrujących wód powierzchniowych i opadowych, a także jako produkt przemian biochemicznych zachodzących w strefie glebowej oraz gruncie. Na rysunku X przedstawiono schemat zależności pomiędzy różnymi formami ditlenku węgla w wodzie.



Rys.3.2. Formy występowania ditlenku węgla[41]

Rys. 3.2. pokazuje schemat w jakich formach występuje ditlenek węgla. Ditlenek węgla umożliwia w wodzie rozpuszczanie różnych minerałów, a w szczególności węglanów. W przypadku kiedy występuje w nadmiarze nadaje wodzie cechy agresywności i obniża jej pH.

Siarkowódor przedstawia się w tabeli jako jeden z najlepiej rozpuszczalnych gazów w wodzie. Jest wskaźnikiem istnienia środowiska redukującego. Jego stężenia w wodzie mogą być bardzo różne. Źródłem siarkowodoru w wodzie jest zazwyczaj rozkład siarczków metali (pirytów), redukcja siarczanów, która przebiega w obecności węgla przy udziale mikroorganizmów, a także rozkład zanieczyszczeń antropogenicznych, które trafiają do wód podziemnych. Forma jaką przyjmuje w wodzie jest powiązana z pH. Kiedy pH mieści się w zakresie 5-7 może być gazowy, ale również jako jon wodorosiarczkowy HS^- [22].

Jeśli chodzi o wpływ siarkowodoru na jakość wody, jego trujące właściwości nadają jej nieprzyjemny zapach oraz podobnie jak powyżej opisane gazy obniża wartość pH i powoduje cechy agresywności danej wody. W wodzie może pojawić się też wodór czy metan, a także gazy szlachetne np. radon. Ich ilości są raczej śladowe i zależą od wielu czynników np. położenia geologicznego [28].

Metan nie wpływa w istotny sposób na jakość wody, jednak może stanowić przeszkodę w procesach katalitycznego usuwania Mn^{2+} z wód podziemnych. Organizm człowiek oprócz wody potrzebuje również substancji w niej rozpuszczonych. Woda pitna powinna zawierać przede wszystkim magnez oraz wapń, które są wyznacznikiem jej twardości[29,30]. Kielecka woda pitna charakteryzuje się twardością w zakresie 200-300mg/dm³ czyli mieści się mniej więcej w połowie dopuszczalnej normy stąd można wnioskować, że nie jest ani za miękka, ani też bardzo twarda. Wyróżniamy twardość wapniową (określaną na podstawie rozpuszczonych soli wapnia); twardość magnezową (określaną na podstawie rozpuszczonych soli magnezu); twardość węglanową (określaną na podstawie występowania związków wodorowęglanów, węglanów oraz wodorotlenków wapnia i magnezu). Twardość węglanowa ulega zmianie

w wyniku podgrzewania wody stąd bywa nazywana twardością przemijającą. Mamy również twardość niewęglanową (określaną na podstawie występowania innych związków wapnia i magnezu np. azotanów, siarczanów czy też chlorków). Twardość ta nie ulega zmianie przy podgrzewaniu czy gotowaniu wody [31]. W tym miejscu warto zaznaczyć, że woda niezależnie od tego czy jest podgrzewana czy nie jest oceniana w tych samych kryteriach jakościowych jeśli chodzi o spożycie przez ludzi [32].

3.2.1. Wskaźniki fizykochemiczne wody

Parametry fizykochemiczne są źródłem wiedzy na temat substancji chemicznych znajdujących się w wodzie. Można je podzielić na dwie zasadnicze grupy. Do pierwszej grupy możemy zaliczyć te, które są pożądane w wodzie do funkcjonowania organizmu. Do drugiej grupy zaliczymy te, które będą miały szkodliwy wpływ na zdrowie oraz eksploatację sieci wodociągowej. Wyróżniamy następujące wskaźniki fizykochemiczne badane dla wód przeznaczonych do spożycia:

- a) **Przewodność** – wskaźnik ten jest miarą przepływu prądu elektrycznego. Na jego podstawie możemy określić stopień mineralizacji wody. Przewodność wywołuje fakt, że w wodzie rozpuszczają się sole, dwutlenek węgla oraz amoniak.
- b) **Odczyn** – znany jako pH wody. Może być kwasowy, obojętny lub zasadowy. Wskaźnik ten wpływa na procesy uzdatniania wody. Niskie pH powoduje podwyższenie korozyjności wody.
- c) **Twardość** – mając dane o twardości wody możemy wyliczyć zawartość w niej wapnia czy też magnezu. Określa się 5 stopniową skalę dla twardości wody [25]. Zbyt miękka woda nie jest dobra dla organizmu, ponieważ prowadzi do wypłukiwania głównie soli wapnia. Z kolei woda zbyt twarda będzie prowadziła do osadzania się kamienia w gospodarstwach domowych.
- d) **Żelazo i mangan** - dostają się do wód podziemnych ze skał. Ich ilość zależy od tego w jakim stopniu przechodzą do roztworu. Intensywność migracji tych dwóch składników jest ściśle uzależniona od środowiska hydrogeochemicznego. Najczęściej występują w postaci jonów. Żelazo w warunkach aerobowych utlenia się - powstaje wodorotlenek żelaza, który trudno rozpuszcza się w wodzie i może powodować jej zmętnienie [33]. Mangan występuje w dużo mniejszych ilościach niż żelazo, dla wód kieleckich jest to zaledwie

0,001[mg/dm³]. W wodach o wartości pH w zakresie 4-7 zazwyczaj ma formę dwuwartościową Mn²⁺, która charakteryzuje się większą rozpuszczalnością. Jeśli woda ma większe zdolności utlenienia mangan może pojawiać się nawet w formie Mn⁴⁺, który ma tendencję do wytrącania się w formie osadów MnO(OH)₂. Żelazo i mangan w odpowiednich dawkach nie wykazuje szkodliwych właściwości dla zdrowia [24]. Żelazo w wodzie najczęściej pochodzi z wykorzystywanych koagulantów żelazowych, a także za sprawą korozji rur wodociągowych wykonywanych ze stali bądź żeliwa. Przekroczone stężenia żelaza w wodzie mogą być przyczyną wzrostu tzw. „bakterii żelazowych” czerpiących energię zutlenienia jonu żelazowego w następstwie tego pojawiają się osady, które pokrywają przewody sieci wodociągowej. Żelazo oraz mangan w zawyżonych ilościach mogą prowadzić do zabrudzeń urządzeń sanitarnych. W przypadku manganu w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi może on również sprawiać, że smak napoju będzie niepożądany. Osady tworzące się na sieci wodociągowej mogą odrywać się jako czarne zawiesiny co dodatkowo zanieczyszcza wodę [34]. Jeśli chodzi o wpływ na własności wody żelazo powoduje zarastanie urządzeń wodonośnych osadami związków żelaza oraz podobnie jak mangan obniża jakość wody dla celów spożywczych oraz przemysłowych.

- e) **Chlorki** - mają odmienne właściwości do omawianych powyżej minerałów. Nie ulegają one przemianom w glebie, czy też w wodzie; nie są również sorbowane przez materiał glebowy lub osady denne, dlatego też pozostają w pełni rozpuszczalne w wodzie oraz roztworze glebowym. Do wód dostają się głównie w wyniku działalności człowieka np. z odmrażania dróg w postaci chlorku sodu czy też chlorku wapnia [35]. Ich ilość w wodach podziemnych jest śladowa. Do wody dostają się głównie ze ścieków, soli wykorzystywanej do odśnieżania, a także tej używanej w kuchni do przygotowywania posiłków. Zwiększone stężenia chlorków w wodzie sprzyjają korozji w sieci wodociągowej, w następstwie zwiększeniu się ilości metali ciężkich w wodzie[22].Wpływają w nadmiernych ilościach na wzrost zasolenia wody.
- f) **Siarczany** - sole kwasu siarkowego najczęściej spotykane są w wodach naturalnych. Dostają się do wód na skutek wymywania skał osadowych (w skład których często wchodzi gips), wyługowania gleby oraz rzadziej z reakcji

utleniania siarczków metali ciężki w wyniku czego mogą powstawać siarczany tych metali oraz kwas siarkowy [36]. W wodzie przeznaczonej do picia dopuszczalne stężenie siarczanów wynosi 250mg/dm^3 . Ich negatywny wpływ obserwuje się głównie na domowych instalacjach, ponieważ tak jak chlorki pojawiając się w wodzie mają właściwości korozyjne[37].

- g) **Amonowy jon** – kiedy pojawia się w wodzie amonowy jon jest to sygnał dla badających wodę, że mogą się do niej przedostawać ścieki zawierające odchody ludzkie bądź pochodzące od zwierząt, a co za tym idzie, że woda może być również skażona mikrobiologicznie.
- h) **Azotany i azotyny** – jeśli chodzi o azot w środowisku wodnym może on pojawiać się aż w 4 postaciach. Jako wspomniany wyżej amonowy jon (NH_4); amoniak (NH_3), który jest najbardziej toksyczną formą azotu jaka może dotknąć środowisko flory i fauny; kolejne są azotany i azotyn. Azotan powstaje w wyniku utleniania cyklu azotowego w wodach naturalnych jako jego końcowy produkt. Uważany jest za jedyny stabilny termodynamicznie związek azotu w wodach tlenowych. Zaraz po pestycydach azotany są postrzegane jako drugie najszkodliwsze zagrożenie dla wód. Jeśli chodzi o wpływ na właściwości wody będą obniżać jej jakość dla celów spożywczych oraz przemysłowych.
- i) **Wapń** – jony wapnia są dominującymi kationami w przypadku wód podziemnych i biorą aktywny udział w wymianie jonowej. Największe stężenia odnotowuje się zazwyczaj dla wód płytkich oraz najgłębszych. Najczęściej połączone są z jonami siarczanowymi, wodorowęglanowymi, a ich stężenie ogranicza równowaga węglanowa i siarczanowa. Źródłem ich występowania w wodzie są wietrzenia minerałów skał osadowych (głównie CaCO_3) przy obecności ditlenku węgla; wietrzenia skał magmowych; desorpcja – wymiana na inne kationy, najczęściej Na^+ [22,25]. Nadmierna ilość wapnia w wodzie będzie powodować jej zwiększoną twardość.
- j) **Magnez** -jony magnezu zawsze towarzyszą jonom wapnia. Ich stosunek ilościowy zależy głównie od mineralizacji wody. W wodach, gdzie substancje rozpuszczone wynoszą łącznie, maksymalnie ok 500g/m^3 stosunek stężeń jonów Ca^{2+} do Mg^{2+} może być 4:2 do 4:1 [22] , w przypadku wód mineralnych jest to

stosunek 2:10 [38]. Nadmierna ilość magnezu w wodzie będzie powodować jej zwiększoną twardość.

- k) Sód** – jony sodu najczęściej idą w parze z jonami chlorkowymi. Stąd też badając w niniejszej pracy indeksy stabilności chemicznej w wodzie zauważono, że tam gdzie zasymulowano zawartość sodu na podstawie znajomości innych parametrów jakościowych wody, będzie pojawiał się jako minerał w niej rozpuszczający się halit (NaCl), z którego ługowania pochodzi najwięcej jonów Na^+ . Warto zaznaczyć, że stężenie sodu w wodzie jest wprost proporcjonalne do mineralizacji ogólnej wody i ma bardzo szeroki zakres zmienności od 1 do 100000g/m^3 [39]. Nadmierna ilość sodu w wodzie będzie prowadzić do jej zasolenia.
- l) Potas** –stężenia potasu w wodzie są na ogół niskie. Wynika to z faktu, że jony potasu są bardzo dobrze sorbowane przez minerały ilaste, a także pobierane przez rośliny i mikroorganizmy [40]. Zawartość potasu wzrasta wraz z mineralizacją ogólną wody, przy czym jednocześnie następuje zwiększenie wartości ilorazu stężenia jonów sodu do potasu [22].

Dopuszczalne wartości wskaźników fizykochemicznych w wodzie przedstawiono w tab.3.3.

Tab. 3.3. Dopuszczalne wartości wskaźników fizykochemicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia[5,25]

Parametr jakościowy wody	Dopuszczalne stężenia	Jednostka
Przewodność	2500	μScm^{-1}
pH	6,5-9,5	-
Twardość jako CaCO_3	60-500	mg/dm^3
Magnez	50	mg/dm^3
Wapń	30-80	mg/dm^3
Żelazo	0,2	mg/dm^3
Mangan	0,05	mg/dm^3
Sód	200	mg/dm^3
Chlorki	250	mg/dm^3
Siarczany	250	mg/dm^3
Fosforany	5	mg/dm^3
Amonowy jon	0,5	mg/dm^3
Azotany	50	mg/dm^3
Azotyiny	0,5	mg/dm^3

3.2.2 Wskaźniki organoleptyczne

Cechy organoleptyczne wyróżniają się tym, że możemy je określić zmysłami, a mianowicie za pomocą wzroku, węchu oraz smaku. Wyróżniamy następujące wskaźniki:

- a) **Barwa** – wywołana jest obecnością zabarwionych substancji organicznych oraz soli metali naturalnie występujących w wodzie bądź przedostających się do niej na skutek korozji.
- b) **Mętność** – świadczą o niej drobne cząstki stałe, będące w wodzie w konsekwencji nieprawidłowego uzdatniania, albo z powodu unoszenia się cząstek pochodzących z osadów w sieci wodociągowej. W sytuacji kiedy mętność wody jest wysoka może to prowadzić do spadku skuteczności środków dezynfekcyjnych na gromadzące się w wodzie mikroorganizmy co przyczynia się do zwiększonej ilości bakterii w niej.
- c) **Zapach oraz smak** – wyczuwany niepokojący zapach bądź nietypowy smak wody jest sygnałem, że znajdują się w niej niepożądane substancje [41,42]. Zapach wody, która jest przeznaczona do picia, a także na potrzeby gospodarcze uważany jest za jeden z ważniejszych wskaźników jakościowych wody. Zapach może pochodzić np. od substancji humusowych, czyli z rozkładu elementów roślinnych, wówczas woda będzie miała charakterystyczną bagienną woń. Jeśli w wodzie rozkładają się związki organiczne, mamy do czynienia z nieprzyjemną wonią siarkowodoru H_2S . Zapach wody może również wskazywać na przedostawanie się do wód ścieków bytowych, a także przemysłowych – woń nafty. Najczęściej spotykana w gospodarstwach domowych może być woń chloru bądź chlorofenoli, która jest rezultatem uzdatniania wody do celów pitnych. Przyjęto podział na trzy grupy zapachów z uwzględnieniem pięciostopniowej skali natężenia zapachów zgodnie z normą PN/C-04585: zapach roślinny (pochodzenia naturalnego np. zapach wilgotnej gleby); zapach gnilny (pochodzenia naturalnego np. zapach pleśni lub fekaliów); zapach specyficzny (pochodzenia nienaturalnego np. zapach smoły, alkoholu, nafty) [25]. Smak wody zależy od rodzaju oraz ilości występujących w niej substancji, a także temperatury. Produkty przemian metabolicznych organizmów wodnych oraz zanieczyszczenia antropogeniczne powodują specyficzny smak lub posmak wody. Smak wody będzie również wyczuwalny jeśli będzie w niej duże stężenie jonów chlorkowych oraz siarczanowych [41].

Dopuszczalne wartości wskaźników organoleptycznych w wodzie przeznaczonej do spożycia przedstawiono w tab. 3.4.

Tab.3.4. Dopuszczalne wartości wskaźników organoleptycznych w wodzie przeznaczonej do spożycia[5]

Parametry	Dopuszczalna wartość	Jednostka
Barwa	Akceptowalna przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian	brak
Mętność	Akceptowalna przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian. Zalecany zakres wartości do 1,0	NTU
Zapach oraz smak	Akceptowalny przez konsumentów i bez nieprawidłowych zmian	brak

3.2.3 Wskaźniki mikrobiologiczne

Najważniejszym elementem wpływającym na bezpieczeństwo wody dostarczanej do odbiorcy w domach powinna być ochrona zasobów wodnych w odniesieniu do stosowanych procesów już zanieczyszczonej wody. Kiedy woda ma fekalny charakter można domyślać się, że są w niej zanieczyszczenia mikrobiologiczne. Należą do nich [42]:

- a) **Escherichia coli** – najczęściej występuje w odchodach ludzkich oraz zwierzęcych. Można ją jednak spotkać w ściekach surowych lub bytowych, a także glebie i wodzie naturalnej w której doszło do zanieczyszczenia fekaliami różnego pochodzenia. Jej obecność w wodzie może świadczyć o stosunkowo świeżym zanieczyszczeniu kałem, nieodpowiedniej dezynfekcji wody, czy też wtórnym zanieczyszczeniu w sieci wodociągowej. Bakteria wrażliwa jest na chlorowanie.
- b) **Bakterie grupy coli** – głównie pochodzą z kału. Do wód sieci wodociągowej mogą przedostawać się ze ścieków. Ich obecność może świadczyć o złym uzdatnianiu wody, wtórnym zanieczyszczeniu, a także o nadmiernej ilości substancji odżywczych w wodzie uzdatnianej. Są niepożądane w wodzie. Spożywanie ich może prowadzić do ostrych zatruc pokarmowych.
- c) **Paciorkowce kałowe** – wraz z pozostałymi bakteriami z grupy coli są wskaźnikiem jakości uzdatniania, a także uszkodzenia systemów wodnych.

Przyczyny dostawania się do wody są podobne jak przy parametrach opisanych powyżej, czyli np. niewłaściwe uzdatnianie wody. Parametr ten jest badany w przypadku kiedy doszło do naprawy w systemach dystrybucji oraz dla nowo podłączonych przewodów wodociągowych.

- d) Clostridium perfringens** – parametr określający poprawność prowadzonych procesów uzdatniania wody, czyli sedimentacja, filtracja czy koagulacja. Dzieje się tak, ponieważ na tych etapach uzdatniania wody powinny być one wyeliminowane. Bakterie te również są pochodzenia zwierzęcego. Potrafią długo przetrwać w wodzie, gdyż są odporne na dezynfekcję oraz temperaturę. Wyniszcza je promieniowanie UV skutecznie eliminując je z wody. Ich długa żywotność to problem przede wszystkim wód powierzchniowych oraz zmieszanych z wodami podziemnymi wód infiltracyjnymi. Stąd też wymagane są ich częstsze kontrole. Kontakt ze skażoną wodą prowadzi najczęściej do zatruc pokarmowych jak również skażenia ran.
- e) Legionella** – występuję w wodzie oraz glebie. Pałeczki tej bakterii należą do drobnoustrojów, które są przenoszone przez wodę. Człowiek narażony jest na nie np. w ośrodkach spa, ponieważ znajdują się w instalacjach ciepłej wody, czy urządzeniach wytwarzających aerozole wodne. Objawami zatrucia jest zapalenie płuc, czy też dolegliwości grypopodobne. Jest wrażliwa na dezynfekcję. Istotne jest, aby zachować odpowiednią temperaturę w miejscu jej występowania co zapobiegnie namnażaniu się tych drobnoustrojów [43,44,45].
- f) Ogólna liczba mikroorganizmów w wodzie** – liczba ta wskazuje na ilość bakterii hodowanych w temp. 22°C w ciągu 72h. Należą do nich organizmy psychrofilne, które giną w temp. poniżej 0° oraz powyżej 30°C. Temperaturą, w której najlepiej się rozwijają jest temperatura 15°C. Jeśli ilość bakterii nie przekracza 100 w 1ml wody, nie ma bezpośredniego zagrożenia dla zdrowia [25].

Dopuszczalne wartości wskaźników mikrobiologicznych przedstawiono w tab. 3.5.

Tab.3.5. Dopuszczalne wartości wskaźników mikrobiologicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia[5]

Parametr	Dopuszczalna wartość	Jednostka
Escherichia coli	0	jtk/100ml
Bakterie grupy coli	0	jtk/100ml
Paciorkowce kałowe	0	jtk/100ml

Clostridium perfringens	0	jtk/100ml
Legionella	100	jtk/100ml
Ogólna liczba mikroorganizmów w temp. 22°C	bez nieprawidłowych zmian	jtk/100ml

Z wyżej wymienionych wskaźników mikrobiologicznych do objętych monitoringiem zalicza się: Escherie coli, bakterię grupy coli oraz ogólną liczbę mikroorganizmów w temp. 22°C[5,46].

W wodzie przeznaczonej do picia mogą pojawić się również metale ciężkie tj. cynk, kobalt, kadm, miedź, ołów, nikiel czy rtęć. Tabela 3.6. prezentuje zakresy stężeń tych metali w wodach podziemnych w Polsce.

Tab.3.6. Zakresy stężeń metali ciężkich pojawiających się w polskich wodach podziemnych [40]

Metal	Jednostka	Zakres
Zn	mg/dm ³	0,00300-1,3100
Co	mg/dm ³	0,00005-0,00728
Cd	mg/dm ³	0,00005-0,00167
Cu	mg/dm ³	0,00008-0,16039
Pb	mg/dm ³	0,00005-0,00320
Ni	mg/dm ³	0,00005-0,2526
Hg	mg/dm ³	0,00010-0,00300

Ostatnią grupą zanieczyszczeń jakie mogą zagrażać wodom podziemnym, a w konsekwencji wodzie przeznaczonej do picia są zanieczyszczenia organiczne. Należą do nich głównie związki humusowe, a także produkty wytwarzane w czasie przemiany materii organizmów żywych oraz z rozkładu już obumarłych organizmów, które są definiowane jako zanieczyszczenia organiczne pochodzenia naturalnego. Związki humusowe są ługowane z gleb o dużej zawartości próchnicy, a także z brunatno - węglowych formacji. W tabeli nr. 3.7. przedstawiono jak kształtuje się zawartość kwasów humusowych w różnych rodzajach wód naturalnych występujących na terenie Polski.

Tab.3.7. Zawartość kwasów humusowych w różnych zbiornikach wód naturalnych w Polsce [47]

Rodzaj wody	Kwasy fulwowe	Kwasy huminowe i hmatomelanowe	Kwasy humusowe	Jednostka
Podziemna – miocen	1,0-9,5	15,0-252,0	16,0-255,0	mg/dm ³
Podziemna – infiltracyjna	2,2	0,5	2,7	mg/dm ³
Podziemna	2,1-2,5	0-0,4	2,1-3,0	mg/dm ³

Powierzchniowa – rzeki	2,7-4,3	0,2-1,4	3,9-4,9	mg/dm ³
Powierzchniowa – torfowisko	38,5	19,5	58,0	mg/dm ³
Powierzchniowa – zbiornik	3,7-4,1	0-0,3	3,7-4,4	mg/dm ³

Wyróżnia się również te związki organiczne, które są pochodzenia antropogenicznego. Należą do nich: chlorowane związki organiczne (ChZO), fenole, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), a także substancje powierzchniowo czynne (SPC). Źródłem tych zanieczyszczeń w wodzie są głównie ścieki oraz nawozy stosowane w rolnictwie. To jak bardzo dana woda będzie bogata w związki organiczne zależy od stopnia zanieczyszczenia regionu z którego dana woda pochodzi [48].

W wodach podziemnych z racji zachodzących biochemicznych przemian organicznych i nieorganicznych składników wód podziemnych (utlenianie/redukcja) pojawiają się również mikroorganizmy biorące w nich udział [49]. Ich ilość w wodzie jest ściśle związana z pH i Eh wody, a także z dostępnością substratów pokarmowych. Należą do nich głównie bakterie chemoorganotroficzne, bakterie chemolitotroficzne oraz rzadziej bakterie metanogenne, fermentacyjne oraz metylotroficzne [50]. Zawartość mikroorganizmów w wodzie i ich aktywność życiowa wpływają na skład fizyczno-chemiczny wód ujmowanych z ujęć podziemnych. Źródłem mikroorganizmów chorobotwórczych w wodzie, wirusów, czy pierwotniaków są zanieczyszczenia antropogeniczne. Poważnym problemem w aspekcie sanitarnym jest sytuacja, kiedy w wodzie zostaną wykryte wirusy, ponieważ one łatwo migrują do warstw wodonośnych. Z badań wynika, że aż w 40% wód pobieranych ze studni głębinowych stwierdzono obecność rotawirusa [51].

4 PRZEGLĄD WYBRANYCH BADAŃ ZWIĄZANYCH ZE STABILNOŚCIĄ CHEMICZNĄ WODY

Woda jest definiowana jako stabilna chemicznie, gdy nie zmienia składu i nie powoduje zniszczenia materiałów, z którymi jest w kontakcie. Istnieje wiele czynników powodujących korozję w systemach dystrybucji wody. Stabilność chemiczną wody można określić jako stan wody w której minerały w niej występujące pozostają w stanie równowagi chemicznej, w tym węglanowo – wapniowej. Woda stabilna chemicznie jest szczególnie istotna dla systemów technologicznych doprowadzających ją do odbiorcy, ponieważ jej eksploatacja jest wówczas dla nich bezpieczna. Minerały wytrącające się mogą tworzyć szkodliwy dla sieci wodociągowej osad zaś rozpuszczające się w niej mogą prowadzić do wykazywania przez wodę właściwości korozyjnych [52].

Główną przyczyną zmian składu wody w czasie jej transportu przez sieć uznaje się stan techniczny samej sieci, ale przede wszystkim brak jej stabilności chemicznej w momencie kiedy opuszcza ona zakład wodociągowy [53]. Wobec tego, aby zapobiec wtórnemu zanieczyszczeniu wody w dystrybucji należy uzyskać stabilność chemiczną oraz biologiczną w miejscu wprowadzania jej do sieci. Warto zaznaczyć, że nie jest to wystarczający warunek [54]. Stabilność chemiczna i biologiczna wody jest warunkiem koniecznym do tego, aby niezależnie od rodzaju materiałów z jakich wykonane są przewody wodociągowe nie powstawały osady na ich wewnętrznych powierzchniach.

Agresywny dwutlenek węgla, rozpuszczony tlen, chlorki, siarczany, środki dezynfekcyjne, a przede wszystkim utrzymanie równowagi węglanowo-wapiennej to decydujące czynniki wpływające na stabilność chemiczną wody [10]. Lasocka-Gomuła i inni współautorzy w pracy „Stabilność chemiczna wody podziemnej ze stacji oczyszczania w Gruszczyne” sformułowali kilka reguł związanych z utrzymaniem stabilności chemicznej wody oczyszczonej w stacji uzdatniania do których należało np. utrzymanie ograniczonego stopnia odgazowania wody w hali napowietrzania, a wartość indeksu Langeliera po napowietrzaniu wody nie powinna przekraczać +0,3 [56]. Wolska i Mołczan w swojej pracy na temat „Oceny stabilności wody wprowadzanej do sieci wodociągowej” badali m.in. ocenę interakcji pomiędzy przepływającą wodą, a przewodami wodociągowymi. Wykazali, że stabilność wody wprowadzanej do sieci jest równie ważna jak jej jakość zdrowotna. Niezbędne są przy tym wielowymiarowe narzędzia do oceny stabilności wody przez technologa, które da jednoznaczny informację o aktualnym stanie wody [57]. Opracowano różne wskaźniki umożliwiające wstępną ocenę rodzaju interakcji

pomiędzy przepływającą wodą a przewodami wodociągowymi. Najczęściej stosowanymi są takie wskaźniki jak: jak Langeliera, Ryznara i Riddicka oraz wskaźnik agresywności kwasowęglowej [58]. Łomotowski w pracy „Jak oceniać stabilność chemiczną i biologiczną wody w systemach wodociągowych” wykazał, że w celu zachowania w sieci wodociągowej stabilności chemicznej bardzo istotne jest, aby prowadzić w wybranych punktach automatyczny pomiar zmian mętności wody oraz dokonywać analizy przestrzennej mikrozwiesin obecnych w wodzie. Ponadto opublikował on również artykuł „Przyczyny zmian jakości wody w systemach wodociągowych” w której dowodził, że o jakości wody u odbiorców znacząco decyduje stan oraz wiek danej sieci. Dlatego też zarządcy wodociągów powinni dbać o właściwą eksploatację rur wodociągowych [59]. Kowal w pracy „Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych” doszedł do wniosków, że na jej pogorszenie będzie znacznie wpływać to ile osadów się będzie gromadzić, korozja, raptowne zmiany ciśnienia, a także prowadzone na sieci prace [60].

4.1 Indeksy stabilności chemicznej

Garcia-Avila i in. w pracy „Assessment of water quality and stability in the drinking water distribution network in the city of Azogues, Ecuador” badali parametry fizykochemiczne takie jak: mętność, temperaturę, przewodność elektryczną, pH, sumę rozpuszczonych substancji stałych, twardość całkowitą, wapń, magnez, zasadowość, chlorki, siarczany oraz fosforany w celu określenia jakości wody pitnej w mieście Azogues. Uzyskane wyniki wykorzystali do określenia stabilności chemicznej badanej wody w tym wskaźnika LSI, RSI a także PSI. Analiza ich wyników wykazała, że jakość wody pitnej wg wskaźnika WQI dla wszystkich badanych próbek była doskonała. Natomiast indeksy Langeliera, Ryznara oraz Pukoriosa wykazały, że ta sama woda jest żrąca [61].

Przy omawianiu równowagi węglanowo-wapniowej opisano jej powiązanie ze stabilnością chemiczną. Jednak nie powinno jej się utożsamiać z zachowaniem tej równowagi. Większość węglanów wytrąca się z wody za sprawą agresywnego dwutlenku węgla. Sprzyja on również rozpuszczaniu się minerałów w wodzie. Wytrącanie oraz rozpuszczanie związków w wodzie to dwa dominujące procesy w czasie przepływu wody przez sieci wodociągowe.

Indeksem stabilności chemicznej nazywamy taki wskaźnik, który określa stopień rozkładu danego związku chemicznego w konsekwencji nieenzymatycznych procesów w buforowych roztworach wodnych (utlenianie, hydroliza) [63]. W pracy omówiono indeks Ryzana, Langeliera,

Pukoriosa. Badając stabilność chemiczną za pomocą programu PHREEQC, znając wartości jakościowe wody, otrzymano indeksy stabilności chemicznej SI. Poniżej opisano wybrane indeksy:

- **Indeks Langelir'a (LSI)**- oblicza się znając wartość zmierzonego odczynu wody. Woda jest w stanie nasycenia węglanem wapnia kiedy nie rozpuszcza, ani nie wytrąca węglanu wapnia. W stanie nienasycenia jest w momencie kiedy rozpuszcza węglan wapnia. Przesycona jest wówczas, gdy pozostawiona w bezruchu wytrąci węglan wapnia. Indeks LSI jest najbardziej popularnym indeksem służącym do określenia stabilności chemicznej wody. Opiera się na termodynamicznej tendencji do tworzenia się kamienia węglanowego. Nie da się jednak dzięki niemu określić ile osadu powinno się wytrącić, aby woda wróciła do stanu równowagi. Indeks LSI to najprościej indeks na którego podstawie można oszacować jaka jest tendencja w danym układzie do wytrącania osadów węglanów wapnia oraz magnezu tzw. kamień wodny [62]. Wartościami granicznymi dla indeksu LSI jest zakres od -0,5 do 0,5. Indeks LSI ma przyjmuje następującą postać:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s \quad (4.1.)$$

gdzie:

pH – jest to zmierzona wartość pH wody,

pH_s – jest to pH dla stanu nasycenia wody węglanem wapnia CaCO₃, zgodnie z wzorem:

$$\text{pH}_s = 9,3 + A + B - C - D \quad (4.2.)$$

gdzie:

$$A = 0,1 * (\lg[\text{TDS}] - 1),$$

$$B = -13,12 * \log_{10} (^\circ\text{C} + 273) + 34,55$$

$$C = \lg (\text{Ca}^{2+} \text{ jako CaCO}_3) - 0,4$$

$$D = \lg (\text{alkaliczność})$$

Woda o współczynniku LSI=1 znajduje się o jedną jednostkę pH powyżej nasycenia. Obniżając pH o 1, doprowadzi się wodę do stanu stabilnej równowagi. Kiedy LSI jest ujemne: nie zachodzi zjawisko zakamieniania, woda rozpuszcza CaCO₃; zauważa się właściwości

korozyjne wody; kiedy LSI jest dodatnie: może tworzyć się kamień (wytrącanie CaCO_3); natomiast kiedy LSI jest bliskie zera: warunki graniczne. Warto zaznaczyć, że LSI może ulegać zmianie wraz ze skokami temperatury lub parowaniem wody [63].

- **Indeks Ryznara (RSI)** – jest kolejnym indeksem określającym stabilność chemiczną wody. Jest używany do skorelowania empirycznej bazy danych grubości kamienia jaką obserwuje się w miejskich systemach wodociągowych z chemią wody. Swoją podstawę ma w koncepcji poziomu nasycenia, co jest wspólną cechą z LSI. Ryznar tworząc swój indeks podjął próbę ilościowego określenia związku między stanem nasycenia węglanem wapnia, tworzeniem się kamienia. Indeks RSI ma następującą postać:

$$\text{RSI} = 2(\text{pH}_s) - \text{pH} \quad (4.3.)$$

gdzie:

pH to zmierzone pH wody

pH_s to pH w stanie nasycenia w kalcycie

Empiryczną korelację wskaźnika stabilności Ryznara można podsumować w następujący sposób:

RSI < 6 tendencja do tworzenia się lekkich osadów;

RSI > 7 tworzenie się węglanu wapnia prawdopodobnie nie prowadzi do powstania ochronnej warstwy inhibitora korozji;

RSI > 8 Korozja stali miękkiej staje się coraz większym problemem [64].

- **Indeks skalowania Puckoriusa (PSI)** – jest indeksem, który w przeciwieństwie do dwóch wyżej omawianych uwzględnia takie parametry jak pojemność buforowa wody oraz maksymalną ilość osadu, która może wytworzyć się przy doprowadzaniu wody do stanu równowagi. Indeks ten próbuje określić ilościowo zależność między stanem nasycenia, a tworzeniem się kamienia poprzez włączenie oszacowania pojemności buforowej wody do wskaźnika. Woda, która ma zdolność buforowania, niską zasadowość, ale jest bogata w wapń może mieć wysoki poziom nasycenia kalcylem. Wysoki poziom wapnia zwiększa aktywność końcowego związku jonowego. W takim przypadku wykres aktywności jonowej w funkcji osadu dla wody prezentowałby znaczny spadek pH w miarę wytrącania się wapnia. Przyczyną tego jest niska zdolność buforowania. Już niewielkie spadki stężenia węglanów w wodzie krytycznie

obniżyłyby produkt aktywności jonów z powodu niewystarczającej ilości węglanów przed rozpoczęciem wytrącania. Omawiana woda może mieć wysoką tendencję do tworzenia kamienia z powodu siły napędowej, a powstały kamień może być tak niewielki, że staje się nieobserwowalny. Tworzący się osad w wodzie sprawia, że mimo siły napędowej jaką posiada woda nie ma zdolności do utrzymania stałego pH. Indeks PSI wykorzystuje równowagę pH zamiast rzeczywistego pH systemu w celu uwzględnienia buforowania.

$$\text{PSI} = 2 (\text{pH}_s)_{\text{równoważnik pH}} \quad (4.4)$$

gdzie:

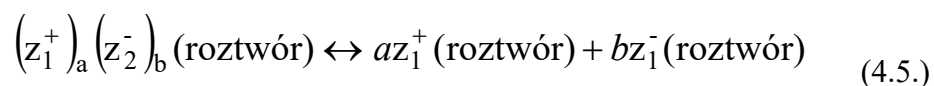
pH s to pH w stanie nasycenia w kalcycie lub węglanie wapnia

równoważnik pH = $1465 \times \lg [\text{zasadowość}] + 4,54$

oraz $[\text{Zasadowość}] = [\text{HCO}_3^-] + 2 [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-]$ [65].

- **Indeks stabilności chemicznej SI** -wartość tego indeksu wykorzystano w programie PHREEQC, który jest intuicyjnym narzędziem do badania stabilności chemicznej wody. W zależności od parametrów jakościowych, których wartości wprowadzi się do programu otrzymamy różne minerały, które mogą się w niej rozpuszczać, pozostawać z nią w równowadze lub się z niej wytrącać. Określenie stabilności chemicznej nie należy jednak do najprostszych. Aby zobrazować trudności analityczne z ustaleniem stabilności chemicznej danej wody, należy zapoznać się z równaniami z zakresu równowag chemicznych w wodzie.

Pierwsze równanie dotyczy cząsteczek soli, które w wodzie ulegają dysocjacji:



gdzie: Z_1^+ - kation; Z_2^- - anion; a, b - współczynniki stechiometryczne.

Powyższe równanie podlega prawom termodynamiki. Aby zachować określoną ilość jonów, czyli kationów oraz anionów w roztworze pewna ilość danej soli musi pozostać w postaci niezdysoncjowanej. Zgodnie z równaniem (4.5) możemy wyróżnić rozpuszczalność jonową tzn. ilość związku pozostającego w roztworze w postaci jonów i rozpuszczalność niejonową rozumianą jako tę ilość związku, która jest potrzebna dla utrzymania stężenia danych jonów w roztworze. Stopniem dysocjacji określa się stosunek stężenia kationów lub anionów do

całkowitego stężenia związku w roztworze czyli inaczej mówiąc sumy stężeń rozpuszczalności jonowej i niejonowej.

W roztworach rozcieńczonych, przewodność elektrolitu rośnie w miarę wzrostu stężenia soli. Wynika to z faktu, że przy niskich stężeniach stopień dysocjacji soli jest duży. Wraz ze wzrostem stężenia obserwuje się wzrost rozpuszczalności niejonowej w roztworze. Przyrost stężenia jonów w roztworze nie jest proporcjonalny do ilości rozpuszczonych w nim soli.

Roztwory o wysokim stężeniu soli zachowują się tak, jak gdyby stężenie jonów (substancji niezdisocjowanych) było niższe niż to wynika z analizy. W celu skorygowania stężeń wprowadzono pojęcie współczynnika aktywności jonu lub substancji niejonowej definiowanego zależnością:

$$\gamma_{\pm} = \frac{z_s^{\pm}}{z^{\pm}} \quad (4.6.)$$

gdzie:

γ_+ (γ_-) - współczynnik aktywności kationu (anionu);

z_s^{\pm} - skorygowane stężenie kationów (anionów), dla którego obserwuje się analogiczną aktywność jonów i substancji niezdisocjowanych;

z^{\pm} - rzeczywiste stężenie (pomierzone) kationów i anionów.

Współczynnik aktywności jonów zależy od temperatury oraz siły jonowej roztworu I określonej zależnością:

$$I = \frac{1}{2} \sum m_i z_i^2 = \frac{1}{2} (m_1 z_1^2 + m_2 z_2^2 + \dots) \quad (4.7.)$$

gdzie: m_1, m_2, \dots są stężeniami molowymi jonów występujących w roztworze a z_1, z_2, \dots wartościowości tychże jonów.

Średni współczynnik aktywności jonów elektrolitu określa zależność

$$\gamma_{\pm} = \sqrt[n]{\gamma_+^n \gamma_-^n} \quad (4.8.)$$

gdzie:

γ_+ - współczynnik aktywności kationu;

γ_- - współczynnik aktywności anionu;

n - liczba jonów powstających z cząsteczki elektrolitu.

Równanie Debye - Hückela określa średni współczynnik aktywności jonów:

$$\lg \gamma_{\pm} = - \frac{Az_{i+} z_{i-} \sqrt{I}}{1 + a_i B \sqrt{I}} \quad (4.9.)$$

gdzie: A, B - współczynniki zależne od rozpuszczalnika i temperatury (dla wody i temp. 25°C wynoszą: A = 0,509, B = 0,328) a parametr Kiellanda a zależny od rodzaju jonu.

Z przedstawionych zależności wynika, że o składzie jonowym wody oraz rozpuszczalności niejonowej danej soli decydują inne sole pozostające w stanie rozpuszczonym w wodzie.

Wytrącanie danej soli z roztworu zachodzi, gdy iloczyn stężeń jonów wchodzący w skład danego związku zostanie przekroczony. Przeanalizujmy to na przykładzie wytrącania węglanu wapnia zachodzącego według reakcji:



Powyższą reakcję charakteryzuje stała zwana iloczynem rozpuszczalności jonowej zdefiniowana wyrażeniem:

$$K_{CaCO_3} = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}] \quad (4.11.)$$

w którym $[\text{Ca}^{2+}]$ i $[\text{CO}_3^{2-}]$ oznaczają stężenia molowe jonów wapnia i węglanów w wodzie. Dla warunków ogólnych iloczyn rozpuszczalności K_p związku P definiowany jest formułą:

$$K_p = \prod_{i=1}^n c_i^{a_i} \quad (4.12.)$$

gdzie:

c_i - stężenia molowe jonów biorących udział w reakcji strącania,

a_i - współczynniki stechiometryczne reakcji strącania.

W obliczeniach termodynamicznych wprowadza się dwa pojęcia: indeks nasycenia oraz indeks stabilności. Indeks nasycenia definiowany jest wzorem:

$$IN_p = -\log \prod_{i=1}^n c_i^{a_i} \quad (4.13.)$$

a indeks stabilności SI:

$$SI = \log \frac{\prod_{i=1}^n c_i^{a_i}}{K_p} \quad (4.14)$$

Minerały rozpuszczające się w wodzie i wytrącające się z niej

Indeks stabilności wody można najprościej określić na 3 poziomach :

- rozpuszczalności – minerał ma indeks ujemny;
- stabilności – minerał ma indeks z wartością bliską bądź równą zeru ($-0,5 < 0 < 0,5$);
- wytrącania - minerał ma indeks z wartością dodatnią [66-69].

4.2 Minerały występujące w wodzie

Ilość i rodzaj tych minerałów w wodzie zależy od zawartości w wodzie takich parametrów jak wapń, magnez, żelazo, amonowy jon, azotany, azotyny, mangan czy siarczany. Wprowadzając te wartości w programie PHREEQC dla ujęcia Bolechowice, Wola Kopcowa oraz Kołomań otrzymano informacje na temat takich minerałów jak: anhydryt, aragonit, kalcyt, dolomit, geotyt, gips, halit, hausmanit, melanteryt, pirochroity, pirolusyt, rodochrozyt oraz syderyt. Charakteryzują się one następującymi właściwościami:

- a) **Anhydryt** – jest minerałem z grupy siarczanów o barwie w większości niebieskoszarej; łatwo pochłania wodę co prowadzi do zamiany w gips, zwiększenia jego objętości czasem nawet o 60%, co skutkuje rozwarstwianiem lub pękaniem minerału. Dobrze rozpuszcza się w wodzie, a także kwasie solnym. Jest minerałem pospolitym, występującym w różnych częściach Ziemi. Ma swoje zastosowanie w budownictwie, a także jubilerstwie [70,71].

- b) Aragonit** – jest minerałem z grupy węglanów, odmiana węglanu wapnia, w bliskim ultrafiolecie wykazuje lekkie świecenie. Występuje powszechnie na Ziemi przekształca się w środowisku w kalcyt tworząc z nim paramorfozy. Jest minerałem miękkim, kruchym, występującym w postaci zbitych pręcików, w skupieniach ziarnistych, rozpuszczającym się w wodzie. Wchodzi w reakcję z kwasem solnym. Swoje zastosowanie ma raczej jako kamień ozdobny oraz do celów naukowych. [72].
- c) Kalcyt** – jest minerałem z grupy węglanowych, skałotwórczy. Pierwszym pod względem powszechności występowania na Ziemi wśród minerałów. Tworzy formy kryształów izometrycznych, słupkowych czy igiełkowych. Charakteryzuje się kruchością oraz tym, że jest przezroczysty. Może zawierać domieszki żelaza, magnezu, manganu, czy ołowiu. Przybierając rozmaite postacie stanowi element wielu skał. W postaci czystego kryształu można zaobserwować zjawisko podwójnego załamania światła. Rozpuszcza się w wodzie. Swoje zastosowanie ma w różnych dziedzinach przemysłu; w rolnictwie pojawi się jako nawóz, w optyce do produkcji pryzmatów zaś w budownictwie do produkcji wapna czy cementu [73].
- d) Dolomit** – jest minerałem z grupy węglanowych, kruchym, przezroczystym, wykazującym luminescencję. Jest skałą osadową o zabarwieniu rudym lub szarym, która powstaje na skutek dolomityzacji czyli procesu przekształcenia skał wapiennych. Proces ten zachodzi pod wpływem wód posiadających duże ilości węglanu wapnia. Tworzy głównie kryształy izometryczne. Pojawia się w skupieniach ziarnistych. Zawiera różne domieszki kobaltu, ołowiu, cynku oraz manganu. Rozpuszcza się w wodzie i słabo w kwasie solnym, w postaci sproszkowanej silnie z nim reaguje. Ciekawostką jest, że skały dolomitowe wywodzą się z morskich wapieni, które zostały przeobrażone przez bogatą w magnez wodę poprzez wymianę części atomów wapnia w atomy magnezu. Swoje zastosowanie ma jako element dekoracyjny, dla kolekcjonerów, do produkcji materiałów ogniotrwałych, czy nawozów mineralnych w rolnictwie [74,75].
- e) Getyt** – znany również jako geothyt jest to pospolity minerał z gromady wodorotlenków, produkt wietrzenia skał i minerałów. Jego barwa jest od ciemnobrunatnej po żółtą. Najczęściej występuje w skupieniach ziemistych (ziarna nie są rozróżniane gołym okiem). Jest minerałem kruchym i przezroczystym o łupliwości wyraźnej do doskonałej. Można go spotkać w złożach rud żelaza pochodzenia morskiego, bagiennego czy jeziornego. Swoje zastosowanie ma również jako filtry do oczyszczania gazu, a także do produkcji ochry [76].

- f) Hematyt** – pospolity minerał, w kolorze krwistym. Tworzy kryształy izometryczne, krótkosłupowe czasem igiełkowe. Najczęściej spotykany w postaci romboedru. Kruchy, nieprzezroczysty. Może zawierać domieszki glinu (hematyt glinowy). Pojawia się we wszystkich głównych typach skał. Swoje zastosowanie ma np. jako pigment przy produkcji czerwonej farby, jako kamień ozdobny – jubilerski, a także do wyrobów galanterii artystycznej i żałobnej [77,78].
- g) Hydroksyapatyt** – minerał, a także nieorganiczny składnik kości i zębów. W kościach przyjmuje postać bardzo długich kryształów – mikrofibryl. Syntetyczny hydroksyapatyt wykorzystywany jest również w celach medycznych. Wykorzystuje się go do stymulowania rozwoju kości w niewielkich ubytkach kostnych [79].
- h) Syderyt** – kruchy minerał, węgiel żelaza, barwa biała/żółtawa, a także szara i brunatna. Powstaje w wyniku procesów hydrotermalnych; jako produkt metasomatozy innych węglanów. Tworzy kryształy o pokroju słupkowym, czy też tabliczkowym. Wykorzystywany jako ruda żelaza, rzadko jako kamień jubilerski [80].
- i) Wiwianit** – minerał z gromady fosforanów, przeważnie tworzy kryształy o pokroju słupkowym, pręcikowym, igiełkowym. Pojawia się w różnego rodzaju skupieniach np. naciekowych czy ziarnistych. Przezroczysty, może się barwić na kolor niebieskozielony. Warto zaznaczyć, że jest wyczulony na zmienne warunki atmosferyczne. Dlatego też warto przechowywać go w szczelnych pojemnikach, a także chronić przed światłem. Swoje zastosowanie znajduje jako farba do malowania domów, a także w jubilerstwie [81].
- j) Halit** – pojawia się w wodach, które w swoim składzie mają sól. Jest minerałem z gromady halogenków. Potocznie pojawia się pod nazwą soli kamiennej. Kryształy w postaci sześcianu. Podatny na zmiany temperatury oraz ciśnienia. W zależności od składu może mieć różne zabarwienie – szara, pomarańczowa, zielona czy też niebieska. Powstaje w wyniku krystalizacji wód słonych, przeważnie w rejonach suchego klimatu. Swoje zastosowanie znalazł jako jeden z ważniejszych surowców w przemyśle chemicznym i spożywczym [82].
- k) Wodorotlenek żelaza(III), FeO(OH)** - jako minerał tworzy skupienia promieniste, nerkowate, groniaste, zbite, a także ziemiste. Dostyć często występuje pod postacią 8amorficzną. Zazwyczaj jest dość słabo wykrystalizowany. W zależności od wykształcenia może być określany odrębnymi nazwami. Jego barwa może być od żółtej

do czerwono-brunatnej z połyskiem od metalicznego do matowego. Ulega takim reakcjom jak hydratacja w wyniku której powstaje lepidokrokit, a także reakcji dehydratacji, której produktem jest hematyt. Warto zaznaczyć, że rozтворя się w kwasie solnym. Jest produktem przeobrażenia się minerałów żelaza występujących pod postacią pirytu czy magnetytu w złożach rud żelaza. Formowanie jego następuje w czapie żelaznej, a także piaskowcach żelazistych. W pogazowych pęcherzach skał wulkanicznych oraz w strefach utleniania kruszców powstają kryształy getytu. Ciekawostką jest, że getyt jest jednym z najistotniejszych składników pokryw tropikalnych laterynowych, a także pokryw terra rosy (czerwona ziemia) [83].

4.3 Stabilność chemiczna – wpływ na eksploatację sieci wodociągów

Dla zapewnienia szeroko pojętego bezpieczeństwa publicznego do którego zalicza się również odpowiednią jakość wody pitnej należy zadbać o stabilność systemów dystrybucji wody pitnej oraz zarządzanie produktami ubocznymi dezynfekcji. Chińscy naukowcy badali wzajemne zależności między produktami korozji w sieci, drobnoustrojami oraz jakością wody pitnej. W swojej pracy skupili się na ubocznych produktach dezynfekcji (DBP). Omówili wpływ korozyjnych produktów ubocznych osadu z rur oraz zbiorowisk drobnoustrojów na jakość wody w sieciach rurociągów oraz zaproponowali zalecenia mające na celu usuwanie powstałych w czasie dezynfekcji produktów ubocznych [84].

Woda dostarczana do gospodarstw domowych przebywa daleką drogę z sieci uzdatniania wody pitnej. W czasie tej drogi zachodzą reakcje chemiczne, fizyczne oraz biologiczne, a woda stykając się ze ściankami sieci oraz powierzchniami podłączonych urządzeń może zmieniać skład, co często prowadzi do istotnego pogorszenia jej jakości [85].

W konsekwencji może pojawić się jej zmętnienie, zabarwienie, a także zwiększenie ilości metali ciężkich co łącznie prowadzi do „wtórnego zanieczyszczenia” sieci [86]. Autorzy pracy analizując wyniki badań jakościowych wody zauważyli, że wskaźnik kwalifikacji uzdatnionej wody w Chinach spada o blisko 20% przechodząc przez sieć wodociągową oraz wtórne urządzenia wodociągowe [87].

Jeśli chodzi o proces pogarszania się jakości wody w sieci jest to bardzo złożony mechanizm. Jednak można stwierdzić, że korozja sieci wpływa pośrednio oraz bezpośrednio na

bezpieczeństwo transferu wody. Wpływ na zwiększone zjawisko korozji w wodzie, a przy tym w sieci wodociągowej ma woda niestabilna chemicznie, czyli taka w której powstałe minerały będą się z niej wytrącać (hematyt, getyt). Korozja w sieci będzie tworzyła guzki, które będą sprzyjać rozwojowi drobnoustrojów, a tym samym prowadzić do zmniejszenia działania środków dezynfekujących oraz zwiększenia zagrożenia mikrobiologicznego.

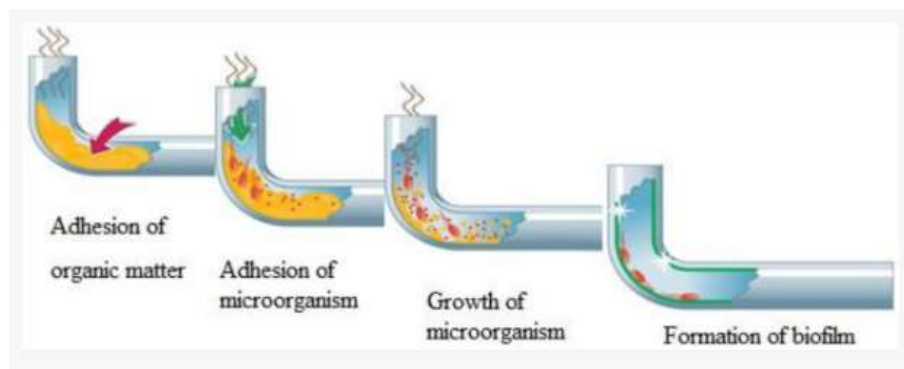
Istnieje wzajemny wpływ produktów korozji sieci, drobnoustrojów oraz jakości wody. Dzieje się tak, ponieważ produkty korozji sieci poprzez utlenianie lub efekty katalityczne prowadzą do zmian przebiegu oraz stanu reakcji chemicznych w sieci co może zadziałać niekorzystnie dla jakości wody. Stabilność chemiczna odnosi się do zachowania migracji i przemian pierwiastków nieorganicznych w sieci. Należą do nich osad i korozja rurociągu [88].

Korozja dla sieci wodociągowej oznacza zawsze problemy z jej eksploatacją oraz ostateczną jakością wody doprowadzanej do potencjalnego konsumenta. Definiuje się ją jako proces, w którym jony metali zostają uwolnione do wody lub tworzą kamień na ścianach rur w czasie utleniania metalu. Dzielimy ją na korozję ogólną – tworzy w miarę jednolitą zgorzelinę korozji; miejscową – tworzy grudkowate guzki korozji [52]. Produktami procesu korozji są ciała złożone, powstające z połączenia rdzy (tlenków metali) oraz osadów i cząstek koloidalnych z wody. Dla różnych rodzajów materiałów z których mamy wykonaną sieć wodociągową będziemy obserwować odmienne produkty korozji [86]. Dla rur miedzianych będą to tlenki miedzi. W przypadku rur żeliwnych będą to tlenki żelaza [52]. Dla rur ołowianych zaś będą to tlenki ołowiu. W przypadku Chin najczęściej sieć wodociągowa wykonana jest z rur żeliwnych. W Polsce są to obecnie najczęściej rury z tworzyw sztucznych (mają gładkie wnętrza i co najważniejsze nie wchodzi w reakcje z wodą), choć początki sieci to głównie rury żeliwne oraz stalowe, które były zabezpieczane w różny sposób przed korozją np. cementem.

W przypadku ujęć sieci wodociągowych Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa rury w większości wykonane są z tworzyw sztucznych. Pojawiają się jednak odcinki z żeliwa sferoidalnego.

4.4 Stabilność biologiczna wody

Stabilność jakości wody w sieci wodociągowej to nie tylko stabilność chemiczna. Należy również zaznaczyć istotność stabilności biologicznej, która odnosi się do problemu ponownego wzrostu drobnoustrojów w sieci. Efektywnym mikrośrodowiskiem dla rozwoju drobnoustrojów są chropowate lub wystające wewnętrzne powierzchnie występujące w sieci wodociągowej. Wzrost biofilmu może prowadzić do przyspieszenia korozji sieci [89]. Tworzenie biofilmu na wewnętrznych ścianach sieci wodociągowej jest procesem złożonym i dynamicznym (rys.4.2.). Proces ten obejmuje pięć etapów. Pierwszym jest regulacja właściwości podłoża. Drugim odwracalna adhezja drobnoustrojów. Trzecim nieodwracalna adhezja drobnoustrojów. Czwartym tworzenie powierzchniowych mikrospołeczności. Piątym pojawienie się, oderwanie oraz proliferacja biofilmów [90]. Jeśli chodzi o przywieranie, wzrost oraz stabilność biofilmów na wewnętrznych ścianach sieci są to procesy stopniowe i wpływa na nie dużo czynników takich jak materiał z którego wykonane są rury, warunki hydrauliczne oraz wskaźniki jakości wody.



Rys. 4.2. Schemat powstawania biofilmu [91]

Na pierwszym etapie tworzenia biofilmu różne substancje organiczne w wodzie takie jak białka czy polisacharydy są adsorbowane na wewnętrznej powierzchni za pomocą oddziaływania hydrofobowego oraz reakcji chemicznych zachodzących w kontakcie między siecią, a wodą [92]. Zaadsorbowana materia organiczna w nieznacznym stopniu wpływa na chropowatość powierzchni, a także na jej charakterystykę przenoszenia ciepła. Jednak może przyczyniać się do zmiany ładunku powierzchniowego materiału rur, dostarczając niezbędnych składników odżywczych, które przyczyniają się do wzrostu bakterii oraz innych mikroorganizmów. Jednocześnie wpływa to na polepszenie warunków adhezji wśród drobnoustrojów [93]. W kolejnej fazie – nieodwracalnej adhezji drobnoustrojów, drobnoustroje w wodzie sieciowej pod wpływem sił van der Waalsa, elektrostatycznych oraz oddziaływań hydrofobowych stykają się ze ścianą rury, a następnie przylegają do niej. Jednak przyłączone drobnoustroje mają

skłonność do odrywania się pod wpływem siły przepływu wody, co powoduje stan niestabilnej odwracalnej adhezji.

W czasie etapu nieodwracalnej adhezji drobnoustrojów i po odwracalnej adhezji drobnoustroje wydają obfite ilości zewnątrzkomórkowych substancji polimerowych (EPS), które posiadają właściwości adhezyjne [94]. EPS mocno wiąże drobnoustroje i wewnętrzną ścianę sieci, czyniąc adhezję nieodwracalną. Rozwój nieodwracalnie przylegających drobnoustrojów jest kluczową fazą ewolucji biofilmów osiadłych.

W kolejnej fazie, kiedy pojawia się oddzielenie i rozprzestrzenienie biofilmów, drobnoustroje występujące w przylegających zbiornikach stopniowo zwiększają się w miarę utrzymywania się przylegania drobnoustrojów oraz wzrostu liczby przylegających osobników. W okresie wzrostu biofilmu pojawia się stała zależność – szybkość adhezji wykazuje większą wartość niż wartość przewidziana dla prędkości odrywania.

W konsekwencji obserwuje się ciągły wzrost ilości przylegającej biomasy. W sytuacji, kiedy biofilm rośnie do określonej grubości zostaje zahamowana dyfuzja składników odżywczych oraz tlenu do warstw wewnętrznych. Prowadzi to do śmierci drobnoustrojów głęboko w biofilmie, co następnie prowadzi do rozległego odrywania się biofilmu.

W skład dojrzałego biofilmu wchodzi głównie bakterie, pierwotniaki, grzyby oraz bezkręgowce. Jeśli chodzi o społeczności drobnoustrojów w biofilmie to są to głównie bakterie i eukarionty (przeważają ameby)[95]. Aż 90% bakterii składa się z Proteobacteria, Bacteroides oraz Actinobacteria. Jeśli pojawiają się ameby sprzyja to rozprzestrzenianiu się patogenów. Drobnoustroje w biofilmie to najczęściej bakterie w kształcie pałeczek i ziarniaków [96]. Kiedy mamy ściany z polietylenu, biofilm składa się głównie z bakterii w kształcie krótkich pałeczek. Kiedy rury są z żeliwa sferoidalnego na ich wewnętrznej ścianie będą występować głównie ziarniaki [97].

Na jakość biofilmu wpływają następujące czynniki:

- Temperatura – jeśli przekroczy ona 15°C drobnoustroje będą wykazywać większą aktywność. Jednak w sieci wodociągowej temperatura wody jest niemal stała. Tak więc ten czynnik jest mało istotny.
- Rodzaje oraz ilość dodanych środków dezynfekcji – odnosząc się do chińskich standardów sanitarnych, które dotyczą wody pitnej istnieje zależność między środkiem dezynfekującym zawierającym wolny chlor lub chloraminy zgodnie

z którą wzrasta gęstość biofilmu na ściankach rur wraz ze spadkiem danego środka dezynfekującego [98]. Środki te mają właściwości bakteriobójcze, ale warto zaznaczyć, że w rurach żeliwnych, w sytuacji kiedy stężenie wolnego chloru wynosi $2\text{mg}/\text{dm}^3$ ciężko jest kontrolować jednocześnie wzrost biofilmu. Przekroczone stężenie chloramin powyżej $2\text{mg}/\text{dm}^3$ skutecznie zmniejsza ilość biofilmu. Chloraminy wykazują większą trwałość, przedłużając w ten sposób ich kontakt z drobnoustrojami, ułatwiając penetrację biofilmu i ostatecznie skuteczniej dezaktywując przyłączone drobnoustroje [99].

- Substrat odżywczy – bakterie występujące w sieciach wodociągowych to głównie bakterie heterotroficzne, które wymagają większego użycia węgla organicznego do wzrostu oraz reprodukcji. Dlatego też węgiel organiczny staje się czynnikiem, który ogranicza ich namnażanie. Znaczący wpływ na proliferację bakterii autotroficznych w sieci mają azot amonowy oraz węglany. Ze względu na dużą ilość substancji organicznych w wodzie, które charakteryzują się przyswajalnym węglem organicznym (AOC) oraz rozpuszczonym węglem organicznym, który ulega biodegradacji (BDOC), które odzwierciedlają zdolność materii organicznej w wodzie do promowania wzrostu biofilmu. Testy AOC z definicji koncentrują się na łatwo dostępnych podłożach do wzrostu komórek planktonowych, natomiast testy BDOC umożliwiają ocenę frakcji biodegradowalnego węgla organicznego, który może być wykorzystywany przez bakterie heterotroficzne występujące w systemach wodnych. Praktycznie dla wody pitnej otrzymuje się zazwyczaj wyższe wartości BDOC niż wartości AOC.

Podsumowując stabilność chemiczną wody w sieci wodociągowej warto przedstawić jej interakcję ze stabilnością biologiczną jakości wody. Osad pojawiający się z rur stwarza środowisko przyjazne dla rozwoju biofilmu. Dzieje się tak, ponieważ adsorbuje on różne substancje organiczne, które są obecne w zbiorniku wodnym (polisacharydy, białka). Powstałe zagłębienia oraz guzki kamienia kotłowego tworzą ochronę drobnoustrojów przed szorowaniem hydraulicznym, a także szkodliwym działaniem środków dezynfekujących poprzez gromadzenie się składników odżywczych [100].

Jeśli chodzi o drobnoustroje mają one wpływ na korozję materiału z którego wykonana jest rura. Dzieje się tak za sprawą działań metabolicznych, objawiających się w następujący sposób: po pierwsze wpływając na anodowe lub katodowe reakcje korozji elektrochemicznej; po drugie powoduje korozję wżerową na powierzchni materiału; po trzecie korozyjne działanie

substancji kwaśnych wytwarzanych podczas metabolizmu drobnoustrojów na powierzchni metalu; po czwarte następuje promowanie korozji beztlenowej za sprawą powodowania lokalnych warunków beztlenowych.

Bakterie autotroficzne utleniające żelazo, poprzez swoje nieodłączne procesy metaboliczne, przekształcają żelazo Fe^{2+} w Fe^{3+} co skutkuje wytworzeniem $Fe(OH)_3$, szybkość biologicznego utleniania znacznie przewyższa szybkość czysto chemicznego utleniania [101]. Jednocześnie powstałe wytrącanie $Fe(OH)_3$ przywiera do powierzchni ścianki rury, tworząc małe punkty anodowe na powierzchni metalu. Łączą się one z rozległym obszarem katodowym utworzonym przez tlen o wysokim stężeniu, tworząc ogniwo galwaniczne, co prowadzi do miejscowej korozji wżerowej. Badania wykazały, że $Fe(OH)_3$ wykazuje selektywność anionową tylko przy średnim do niskiego pH, więc wytrącanie $Fe(OH)_3$ umożliwia wnikanie anionów w powierzchnię metalu, zapobiegając w ten sposób przemieszczaniu się jonów metali z powierzchni metalu. Powoduje to akumulację stężenia substancji chemicznych, co dodatkowo sprzyja występowaniu korozji wżerowej. Osady $Fe(OH)_3$ zapewniają środowisko życia dla beztlenowców, takich jak SRB (bakterie redukujące siarczany). Gdy SRB i IOB (bakterie zdolne do utleniania Fe^{2+} oraz do wytrącania $Fe(OH)_3$, gdzie energia uwolniona podczas tego procesu zaspokaja ich własne potrzeby metaboliczne) współistnieją, szybkość korozji żelaza jest ponad 300 razy większa niż w warunkach spowodowanych procesami elektrochemicznymi. Pochodzą one głównie z dwóch rodzajów bakterii: *Desulfovibrio* i *Desulgotomaculum*. W sieci wodociągowej SRB to przede wszystkim *Desulfovibrio* i znajdują się w środku rury. Obecnie mechanizm promowania korozji przez SRB opiera się głównie na teorii depolaryzacji katodowej. Hydrogenaza posiadana przez SRB może usuwać atomy wodoru z obszaru katody, promując reakcję depolaryzacji katodowej w procesie korozji [102]. Ponadto mechanizmy, za pomocą których SRB sprzyjają korozji metali, obejmują również działanie komórek koncentracyjnych, lokalne działanie komórek, korozję produktów metabolicznych, korozję kwaśną osadów i korozję stałą w obszarze anody.

Istnieją również bakterie, które będą utleniać siarczyny SOB. Jest to rodzaj bakterii tlenowych zdolnych do utleniania siarki, tiosiarczynu i siarczynu w celu wytworzenia kwasu siarkowego. Należą do nich przede wszystkim *Thiobacillus thloparus*, *Thiobacillus ferrooxidans* i *Thiobacillus thiooxidans*. W warunkach beztlenowych SOB wymagają azotanu (NO_3^-) jako akceptora elektronów [103]. Bakteriami, które mają zdolność redukcji żelaza trójwartościowego do żelaza dwuwartościowego są bakterie IRB [104].

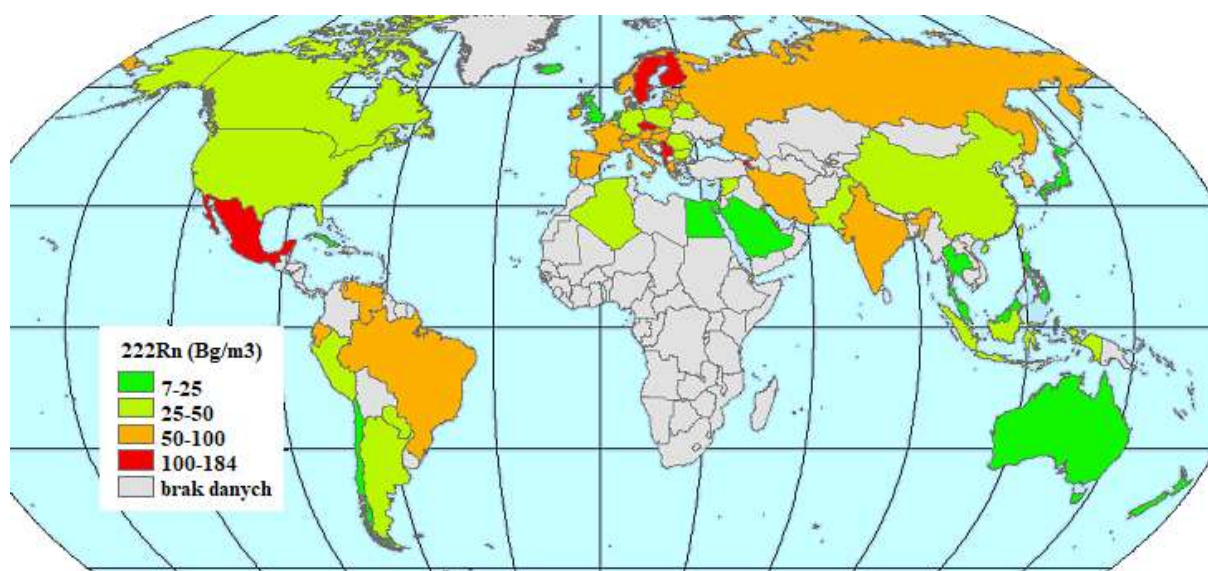
Bakteriami, które będą redukować azotany są bakterie NRB. Kiedy panują warunki obojętne są w stanie wykorzystać azotany NO_3^- jako akceptor elektronów do beztlenowego utleniania żelaza dwuwartościowego. Kiedy panują warunki neutralne potencjał redoks dla określonych form azotu jest znacznie wyższy niż potencjał dla żelaza.

Ze względu na utleniające działanie IOB tlen ulega reakcjom redukcji w obszarze katodowym, podczas gdy żelazo ulega reakcjom utleniania w obszarze anodowym. Powierzchnia rur wodociągowych podlega korozji biologicznej $\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$, w wyniku której powstają wytrącenia $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Gdy w sieci rurociągów obecny jest rozpuszczony tlen, szybkość korozji przyspiesza, prowadząc do powstawania FeOOH . Badania eksperymentalne wykazały, że pod wpływem IOB amorficzny wodorotlenek żelaza tworzy się początkowo w roztworach słabo kwaśnych i zasadowych, szybko przekształcając się w $\alpha\text{-FeOOH}$ i Fe_2O_3 [105]. IRB może redukować żelazo trójwartościowe w $\text{Fe}(\text{OH})_3$ Fe_2O_3 w żelazo dwuwartościowe, dalej łącząc się z wytworzeniem Fe_3O_4 . Cykl żelaza pod wpływem drobnoustrojów zależy od zdolności IOB i IRB do pozyskiwania energii z procesu redoks żelaza. Pod wpływem SRB tlenki żelaza mogą przekształcać się w związki siarczku żelaza. Jeffrey i in. zaobserwowali, że sferyczne związki hydratów żelaza (warstwa rdzy) na powierzchni stali zanurzonej w tropikalnym środowisku morskim mogą stopniowo przekształcać się w płatkowate heksagonalne związki siarczku żelaza pod działaniem mikroorganizmów [63]. Zauważyli również przyleganie drobnoustrojów do powierzchni kulistych tlenków żelaza, spekulując, że SRB może być zaangażowany w ten proces reakcji [106].

5 PRZEGLĄD WYBRANYCH BADAŃ ZWIĄZANYCH Z RADONEM

Sięgając historii związanej z badaniami prowadzonymi nad radonem musimy się cofnąć ponad 100 lat. Pierwiastek ten został odkryty w 1900r. przez niemieckiego, wybitnego chemika Friedricha Ernesta Dorna, który też prowadził badania promieniotwórczego rozpadu radu. Ustalił wówczas, że rad rozpadając się tworzy radon, a on dalej rozpadając się tworzy polon. Stanowiło to odkrycie, że pierwiastki promieniotwórcze rozpadając się przekształcają się w lżejsze pierwiastki [107]. Dwa lata wcześniej małżonkowie Curie ogrzewając blendy uranowe w próżni zebrali gaz, który wydzielił się w czasie procesu. Jednak nie przyniosło to decydujących wniosków. Ernest Rutherford również prowadził w tym czasie badania nad promieniotwórczością czym przyczynił się do odkrycia toronu, który jest izotopem ^{220}Rn . Aktynon ^{219}Rn trzeci w kolejności występujący izotop radonu został odkryty przez Geisel i Andre Louis Debiere [108]. W 1902r. obecność radonu została stwierdzona w wodach podziemnych, a także termalnych oraz mineralnych [109]. Przełom w badaniach nad promieniotwórczością to XIX i XX wiek. Odnosząc się do obserwacji górników w XVI wieku dotyczących chorób płuc można jednak przypuszczać, że mieli już oni styczność ze szkodliwym działaniem radonu przenikającego do powietrza, którego stężenie w kopalni mogło być na niedopuszczalnym poziomie [110]. Dalsze badania dotyczyły m.in. wody ze studni używanych przy gospodarstwach domowych, gdzie wyniki były przerażające (stężenie przekraczało 21 tys. Bq/l. Następnie sprawdzano jakość powietrza w różnych budynkach także w domach rodzinnych, gdzie również odkryto tam obecność radonu. Druga dekada XX wieku to czas w którym zaczęto w radonie dostrzegać właściwości lecznicze, które to miały nieść za sobą kąpiele w niektórych wodach źródłanych. Lekarze przepisywali tego typu zabiegi na różne schorzenia. Dalej wykazywano, że duże stężenia radonu w wodach źródłanych mogą przyczyniać się do nowotworów tak więc należało dbać o stosunkowo niski poziom radonu w wodach leczniczych [111]. Polski naukowiec Tadeusz Przybilski w 2005r. przedstawił kompleksową charakterystykę występowania radonu w radonowych wodach podziemnych uznanych za lecznicze, a także w pozostałych wodach leczniczych eksploatowanych obecnie na terenie Sudetów i bloku przedsudeckiego. Zaproponował on modele migracji radonu wraz z wodami podziemnymi do ujęć i źródeł, opracował metodykę poszukiwania i rozpoznawania złóż wód radonowych. Określił także obszary występowania wód radonowych na terenie Sudetów na tle istniejących eksploatowanych i nieeksploatowanych złóż leczniczych wód radonowych oraz zaproponował klasyfikację wód podziemnych ze względu na zawartość rozpuszczonego w nich radonu na skutek czego powstała praca zatytułowana „Radon składnik swoisty wód leczniczych Sudetów”.

Autor w swojej pracy scharakteryzował radon jako pierwiastek; jego genezę, migracje i akumulacje w litosferze badając przy tym zarys budowy geologicznej Sudetów dążąc do przedstawienia potencjalnie leczniczych wód radonowych [112]. Współczesne badania radonu i jego właściwości prowadzili również m.in. Jadwiga Mazur „Dynamika procesu ekshalacji radonu z gruntu, a parametry meteorologia i własności gleby”. Autorka poruszyła takie zagadnienia, jak radon w aspekcie zdrowotnym; radon w glebie w tym transport, emanacja i ekshalacja [113]; Mirosław Janik zaś w swojej pracy doktorskiej pt.: „Przenikanie radonu z gruntu do budynku. Modelowanie komputerowe i weryfikacja w budynkach mieszkalnych” przedstawił w niej radon w odniesieniu do promieniowania jonizującego i skutków jego działania, a także źródła radonu w gruncie, model przenikania radonu z gruntu do budynku oraz scharakteryzował przepuszczalność gruntu dla radonu [114]; Jakub Nowak opracował temat: „Promieniotwórczość naturalna wód termalnych Karpat polskich” uwzględniając przy tym zależność promieniotwórczości naturalnej wód termalnych wybranych krajów świata, w tym również Polski z uwzględnieniem stężenia radonu ^{222}Rn , który pojawia się w sieciach wód wodociągowych [115]. Przyglądając się dokładnie wyżej wymienionym pracom, a także korzystając z innych źródeł zostanie w pierwszej części scharakteryzowany radon pod względem ogólnym, metodyki badań, występowania, a następnie zostanie przedstawione jak badane jest stężenie radonu w wodach wodociągowych dla wybranych ujęć w powiecie kieleckim przy założeniu, że to stężenie jest w nich istotnie niższe niż w wodzie bezpośrednio wypływającej z warstwy wodonośnej i nie przekracza limitów EPA.



Rys. 5.1. Stężenie radonu w powietrzu na świecie[116]

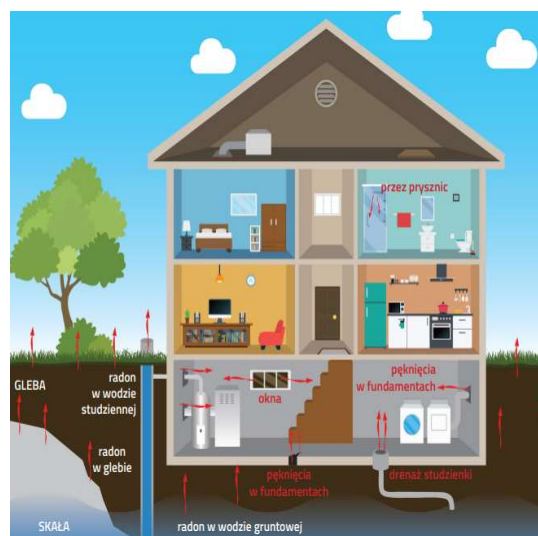
Na rys. 5.1. pokazano jak wygląda stężenie radonu na świecie. Największą aktywność ^{222}Rn w powietrzu na świecie odnotowuje się dla Ameryki Północnej

w południowej części tego kontynentu oraz w różnych częściach Europy. Można przypuszczać, że w Europie przyczyną zwiększonego stężenia tego promieniotwórczego pierwiastka w powietrzu był wybuch reaktora jądrowego w Czarnobylu w roku 1986. Wówczas do powietrza dostało się miliony cząsteczek radioaktywnych, a skażeniu uległa znaczna część tego kontynentu. Podwyższone stężenie ^{222}Rn jest zauważalne w południowo-wschodniej oraz środkowej części Ameryki Południowej, a także na większości obszaru Azji. W przypadku Azji również może mieć na to wpływ wybuch reaktora w Fukushima, co miało miejsce w 2011r. Najmniejsze stężenie - w pasie zachodnim Ameryki Południowej, w południowo – wschodniej części Afryki oraz w całej Australii.

5.1. Radon – ogólna charakterystyka

Radon jest pierwiastkiem chemicznym należącym do grupy gazów szlachetnych w układzie okresowym. Należy do grupy helowców stąd też swoimi właściwościami przypomina inne pierwiastki z tej grupy. Radon to jednoatomowy gaz bezbarwny, bez zapachu i smaku, niepalny. Gęstość jego w warunkach normalnych wynosi $9820\text{mg}/\text{dm}^3$ w stanie ciekłym – $6,6 \times 10^6\text{mg}/\text{dm}^3$, w stanie stałym – $8,04 \times 10^8\text{mg}/\text{dm}^3$. Rozpuszcza się w wodzie oraz w rozpuszczalnikach organicznych. Podczas wyładowań w atmosferze rozrzedzonej świeci światłem białym. Oziębiony poniżej temperatury krzepnięcia świeci intensywnym brylantowo-niebieskim światłem [117]. Temperatura topnienia wynosi $-71\text{ }^\circ\text{C}$, natomiast temperatura wrzenia $-61,7^\circ\text{C}$. Radon, jako gaz szlachetny, jest chemicznie nieaktywny. Nawet po wzbudzeniu nie reaguje z tlenem, magnezem, wodorem, sodem, czy siarką,. Tworzy klatraty (szersze grupy) i tak np. z fluorem tworzy fluorki, a z chlorem – chlorki. Reaguje z fluorkami: ClF_3 , BrF_3 , BrF_5 . Znane są 33 izotopy radonu o liczbach masowych od 196 do 229. Radon reprezentowany jest w przyrodzie przez cztery naturalne izotopy promieniotwórcze: ^{222}Rn (radon), ^{220}Rn (toron), ^{219}Rn (aktynon), ^{218}Rn . Ich nazwy zostały utworzone od nazwy szeregów promieniotwórczych, w których powstają poszczególne izotopy radonu. Najdłuższy okres połowicznego rozpadu ma izotop o liczbie masowej 222, pozostałe izotopy są krótkotrwałe [118]. Jako naturalny pierwiastek promieniotwórczy stanowi ponad 50% wkładu w całkowitą dawkę pochłanianą przez ludność od wszystkich możliwych źródeł promieniowania jonizującego. Jest gazem bezbarwnym i ma właściwości radioaktywne. W czasie rozpadu emituje promieniowanie alfa, a także beta tylko w znacznie mniejszym stopniu. Jest pierwiastkiem o niewielkiej przenikliwości, ale za to wysokiej zdolności jonizującej. Posiada wysoką masę atomową wynoszącą 222u co czyni go

trwałym izotopem [119]. Radon do wód dostaje się głównie z gleby, materiałów budowlanych, migracji ^{222}Rn ze skał i gruntów, a także z gazu ziemnego, czy powietrza. Jeśli mamy do czynienia z wodą pitną o wysokim stężeniu radonu istnieje ryzyko przenoszenia dużych ilości tego gazu do powietrza, które znajduje się wewnątrz mieszkania. Przenikanie radonu do powietrza odbywa się w większości tymi samymi drogami co do wód. Radon dobrze rozpuszcza się w wodzie, ale też w innych cieczach tj. alkohol, nafta, ropa. Jego okres półrozpadu wynosi 3,8 dnia tworząc przy tym szereg krótko żyjących pochodnych takich jak izotopy polonu, bizmutu oraz ołowiu, które również mają właściwości promieniotwórcze [120]. Sam radon nie wpływa bezpośrednio na nasz organizm, ale jego pochodne mogą wnikać jako pyły do naszego układu oddechowego co niesie ryzyko nowotworów płuc. Posiadając bardzo dużą rozpuszczalność może pojawić się w wodzie pitnej [121]. W Polsce są jasno określone normy dotyczące jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017r. (Dz. U. 2017 poz. 2294) zakłada dla radonu w wodzie pitnej jako poziom referencyjny 100Bq/l [5]. Według Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA) limit zawartości radonu w wodzie wynosi jedynie 11 Bq/l [117]. Woda przekraczająca 74Bq/l ma właściwości lecznicze [113]. Radon jest gazem radioaktywnym, który naturalnie występuje w przyrodzie. Charakterystyczną cechą tego pierwiastka jest jego niezauważalność (nie można go zobaczyć, powąchać). Znajduje się w glebie skąd nieustannie przedostaje się do atmosfery. Badania udowadniają, że jest on obecny w różnych ilościach w gospodarstwach domowych w powietrzu, a także w wodzie [141].

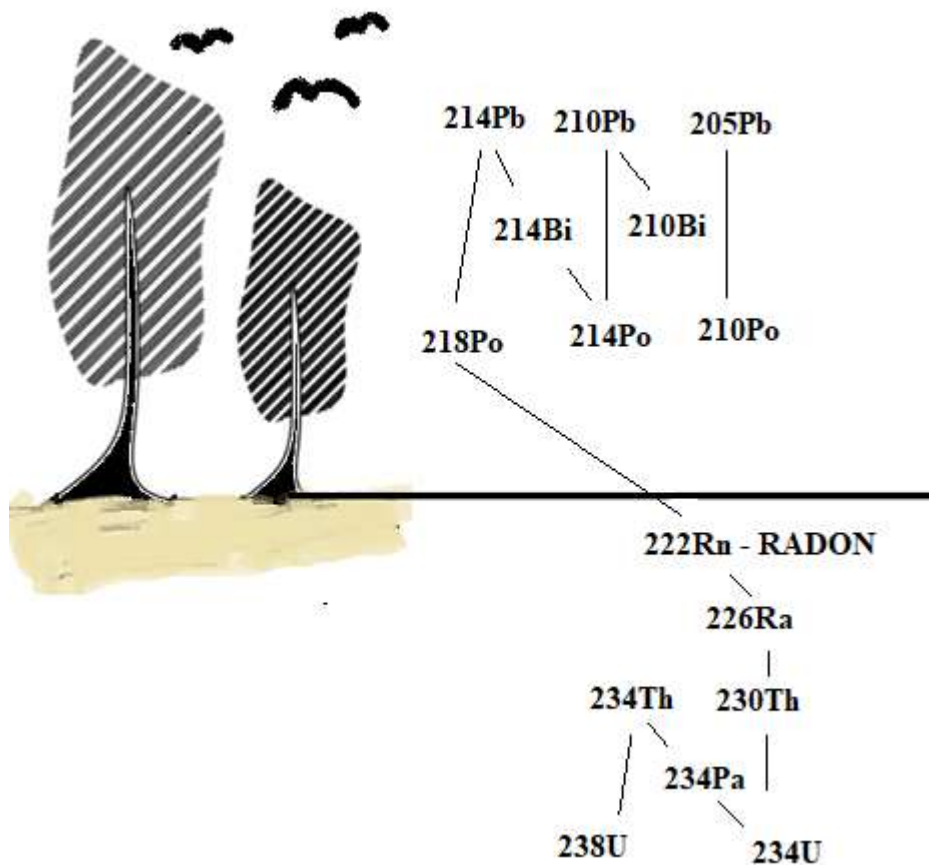


Rys.5.2. Źródła dostawiania się radonu do domu [122]

Rys. 5.2. przedstawia w jaki sposób przedostaje się radon do gospodarstw domowych. Stężenie radonu w powietrzu atmosferycznym jest stosunkowo niewielkie na zewnątrz pomieszczeń, ponieważ wynosi ok 5-15Bq/m³. Rozważając pomieszczenia w budynkach mieszkalnych, budynkach użyteczności publicznej poziom ten ma próg od 10 do nawet 1000Bq/m³. Najwyższe stężenia radonu odnotowuje się w kopalniach, czy jaskiniach, a jeśli chodzi o budynki w ich dolnych partiach, które mają kontakt z podłożem. Ciekawostką jest, że poziom stężenia radonu w powietrzu jest zależny od pór dnia oraz roku. Badania wykazały, że w budynkach mieszkalnych wyższe stężenie odnotowuje się w nocy niż w dzień, co jest skutkiem braku wietrzenia pomieszczeń nocą [123]. Jeśli chodzi o pory roku zmiany w stężeniu radonu są zależne w tym przypadku od położenia geograficznego. W Polsce najwyższe stężenia odnotowuje się zimą w zamkniętych pomieszczeniach, gdyż zmarzlina podłoża nie pozwala na jego przenikanie do powietrza, a cieplejsza sfera wokół jak i pod budynkiem stanowi dla radonu jego główne miejsce przenikania [116,142].

Jeśli chodzi o przedostawanie się radonu przenosi się z wody do powietrza, dzieje się to w czasie, kiedy woda jest wystawiona na działanie powietrza. Nie przedostaje się on bezpośrednio w czasie przepływu wody rurami sieci wodociągowej. Czynności, które uwalniają radon z wody, obejmują kąpiel, gotowanie, czy zwykłe mycie naczyń. Pralka i prysznic to dwa urządzenia w domu, które uwalniają najwięcej radonu do powietrza. Ilość zużytej wody, pierwotne stężenie radonu w wodzie, temperatura wody i powierzchnia wody mają największy wpływ na to, ile radonu zostanie uwolnione do powietrza. W przeciętnym domu każde 10 000 pCi/l (jednostka stosowana w USA -pikokur na litr, 1pCi/l = 37Bq/m³) radonu w wodzie spowoduje wzrost radonu w powietrzu o 1 pCi/l. Na przykład, jeśli stężenie radonu w wodzie wynosi 40 000 pCi/l, poziom radonu w powietrzu w domu może wzrosnąć o 4 pCi/l z powodu radonu wodnego [124].Dopuszczalne stężenia radonu w budynkach są różne w zależności od kraju. Poziom średniego rocznego narażenia na oddziaływanie radonu na człowieka w budynkach, gdzie przebywa nie może przekroczyć 300Bq/m³, a pomiar stężenia powinien być zgodnie z polskim prawem wykonywany przynajmniej jeden w miesiącu [125]. Korzystając z wody o stężeniu 100Bq/l można doprowadzić do narażenia organizmu na promieniowanie jonizujące w wysokości 0,45mSv/rok. Warto zaznaczyć, że 0,40mSv/rok ma źródło z inhalacji radonowej, a zaledwie 0,05mSv/rok pochodzi z bezpośredniego spożycia wody [126].

Najstabilniejszym w związku z połowicznym rozpadem radonu (3,8 dnia) spośród wszystkich izotopów jest ²²²Rn, a co za tym idzie jest również najczęściej spotykanym pierwiastkiem promieniotwórczym w budynkach [127].



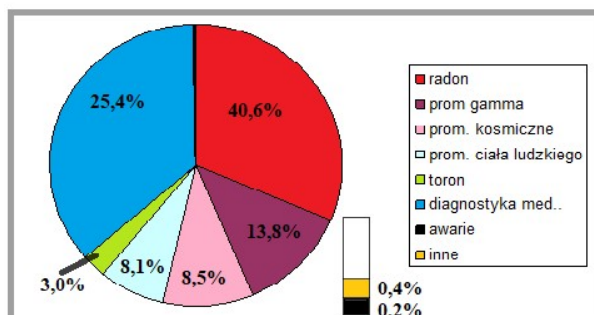
Rys. 5.3. Rozpad uranu i toru do stabilnego ołowiu [127]

5.2. Radon wpływ na zdrowie i życie człowieka

Radon pochodzący z wody może dostawać się do organizmu ludzkiego na dwa sposoby. Pierwszy – przewód pokarmowy; dostarczając tym samym dawkę promieniowania do spożycia. Drugi – przewód oddechowy, wydostając się z wody domowej do powietrza; dostarczając tym samym dawkę promieniowania wziewnego. Dzieje się tak za sprawą zwiększonego stężenia radonu w powietrzu [128]. Dla obu przypadków istnieje potencjalne zagrożenie radonowe dla zdrowia i życia ludzkiego.

Radon jest dobrze udokumentowanym czynnikiem ryzyka indukcji nowotworów. W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania narażeniem populacji na radon i produkty pochodne. Czyni się próby oceny ryzyka występowania nowotworów płuc w wyniku ekspozycji na radon i jego pochodne w pomieszczeniach [129]. Dotychczasowe wyniki nie są jednoznaczne, prawdopodobnie dlatego, że chodzi o efekt niskich dawek promieniowania, z którymi interferują inne czynniki o działaniu kancerogennym, jak np. dym papierosowy i środki

drażniące. Innymi czynnikami wpływającymi w różnym stopniu na te oceny są problemy socjalne, przyzwyczajenia życiowe oraz industrializacja, która jest powiązana z występowaniem nowotworów płuc [130,131]. Już w 1988 roku radon został uznany za substancję rakotwórczą klasy I przez Międzynarodową Agencję Walki z Rakiem. Najbardziej narażeni na szkodliwe działania radonu są górnicy. Dodatkowym czynnikiem nasilającym to schorzenie jest poza ekspozycją stężenie radonu palenie tytoniu. W Polsce poza tą grupą społeczną badania nie ujawniły wysokiej umieralności na skutek kontaktu z radonem. Warto dodać, że znane są opinie, pozytywnego wpływu radonu na ludzkie zdrowie. Mówimy tutaj o zjawisku hormezy radiacyjnej. W związku z tym wykorzystuje się wody radonowe w celach leczniczych przy dolegliwościach takich jak niewydolność wieńcowa, dychawica oskrzelowa pierwotna czy męska niepłodność. Ponadto radon wywiera korzystny wpływ na schorzenia układu ruchu i wzmacnia odporność. Wody z podwyższoną wartością radonu stosuje się w kąpielach leczniczych, kuracjach pitnych i inhalacjach. Radon jest źródłem promieniowania jonizującego, które towarzyszy w życiu naszej planety od początku jej istnienia, stale towarzyszy człowiekowi. Roczna całkowita dawka skuteczna promieniowania jonizującego otrzymana przez statystycznego mieszkańca Polski w 2019 roku wynosiła: 3,86 mSv. Dawka ta utrzymywała się na zbliżonym poziomie przez kilka ostatnich lat. Największy udział w narażeniu człowieka na promieniowanie jonizujące pochodzące ze źródeł naturalnych ma radon i produkty jego rozpadu, od których statystyczny mieszkaniec Polski otrzymuje dawkę 1,2 mSv/rok, co stanowi 31,1% rocznej dawki skutecznej. Dawka skuteczna - obrazuje narażenie całego ciała na promieniowanie. Określa stopień narażenia całego ciała na promieniowanie nawet przy napromieniowaniu tylko niektórych partii ciała. Jednostka – Siwert (Sv), który jest równy 1J/kg [132]. Podsumowując działanie radonu trudno jednoznacznie zakwalifikować do szkodliwego. Jego wpływ na zdrowie i życie człowieka jest uzależniony od otrzymywanej dawki. Rys. 5.4. przedstawia procentowy udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej otrzymywanej przez mieszkańca Polski. Najwięcej tego typu promieniowania bo aż 40,6% pochodzi od radonu.



Rys.5.4. Udział procentowy różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej otrzymanej przez mieszkańca Polski[133]

Roczną skuteczną dawkę (połknięcie i wdychanie) do spożycia AED ($\mu\text{Sv/a}$) wyznacza się dzięki poniższemu równaniu [134]:

$$\text{AED}_{\text{ing}} = \text{CW} \cdot \text{DW} \cdot \text{DCF} \cdot \text{T} = 7,3 \cdot \text{CW} \ (\mu\text{Sv/a}) \quad (5.1.)$$

gdzie:

CW - średnie stężenie aktywności radonu w wodzie,

DW - dzienne spożycie wody (2l/dzień),

DCF to współczynnik przeliczeniowy dawki radonu i jego „potomstwa” (10^{-8} Sv/Bq),

T jest równe 365 dzień/rok [135,136].

Natomiast roczną skuteczną dawkę wziewną AED_{inh} ($\mu\text{Sv/a}$) przedstawia poniższa zależność[134]:

$$\text{AED}_{\text{inh}} = \text{CW} \cdot \text{R} \cdot \text{D} \cdot \text{T} \cdot \text{F} = 2,52 \cdot \text{CW} \ (\mu\text{Sv/a}) \quad (5.2.)$$

gdzie:

C_W mierzone w Bq/l - średnie stężenie aktywności radonu w wodzie;

R - stosunek radonu w powietrzu do radonu w wodzie, który jest równy 10^{-4} lub $10^{-1} \text{ Bq/m}^3 / \text{Bq/l}$, co oznacza że stężenie 10 Bq/l w wodzie daje 1 Bq/m³ w powietrzu;

D - współczynnik konwersji dawki ($9 \text{ nSv/h na Bq/m}^3$),

F = współczynnik równowagi wewnętrznej między radonem a jego potomstwem (0,4) T to czas w pomieszczeniu (7000 h^{-1}) [137,138].

Aby obliczyć całkowitą roczną dawkę skuteczną AED_T należy posłużyć się równaniem:

$$\text{AED}_T = \text{AED}_{\text{ing}} + \text{AED}_{\text{inh}} \quad (5.3.)$$

Aby policzyć dawkę skuteczną trzeba najpierw ustalić średnie roczne wartości aktywności ^{222}Rn w wodzie dla każdego ujęcia, dla całej sieci co przedstawia tab. 5.1.

Tab. 5.1. Średnie roczne wartości aktywności ^{222}Rn w wodzie

Miejsce	C_w (Bq/l)			
	Ujęcie	Środek sieci	Koniec sieci	CS
Bolechowice	19,27	17,98	15,36	17,54
Kołomań	21,9	17,49	12,29	17,21
Wola Kopcowa	18,77	14,86	7,69	13,78

Tab.5.2. Poziomy aktywności radonu i roczne dawki efektywne dla wód pitnych dla 3 wybranych miejscowości w powiecie kieleckim

Miejsce	AED _{ing} (mSv/rok)				AED _{inh} (mSv/rok)				AED _T (mSv /rok)			
	U	ŚS	KS	CS	U	ŚS	KS	CS	U	ŚS	KS	CS
Bolechowice	0,14	0,13	0,11	0,13	0,05	0,05	0,1	0,04	0,19	0,18	0,15	0,17
Kołomań	0,16	0,13	0,09	0,13	0,06	0,04	0,03	0,04	0,22	0,17	0,12	0,17
Wola Kopcowa	0,14	0,11	0,05	0,1	0,18	0,15	0,07	0,14	0,32	0,25	0,13	0,24

* U -ujęcie, ŚS- środek sieci, KS - koniec sieci, CS- całość sieci

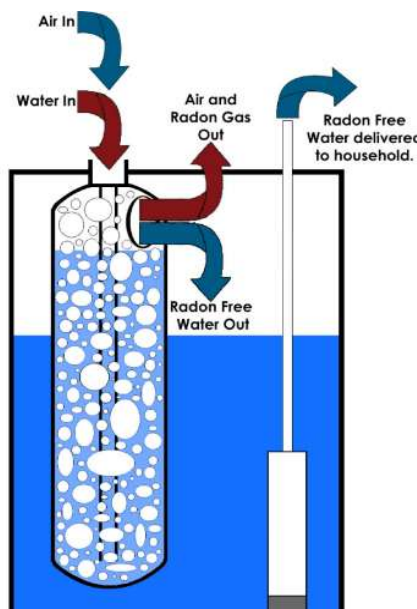
Tab. 5.2. przedstawia roczne skuteczne dawki (połknięcie i wdychanie) do spożycia; roczne skuteczne dawki wziewne oraz roczne dawki efektywne. Największe wartości AED_{inh} (mSv/rok) wyliczono dla ujęcia Kołomań. Największe wartości AED_{inh} (mSv/rok) oraz AED_T (mSv /rok) wyliczono dla ujęcia Wola Kopcowa. Największą średnią wartość aktywności ^{222}Rn w wodzie na całym ujęciu odnotowano dla ujęcia Bolechowice. Wyliczenia skutecznych dawek nie są równoważne z największymi stężeniami radonu na poszczególnych ujęciach. Jednak widoczny jest spadek poszczególnych dawek od ujęcia do końca sieci.

Roczny efektywny równoważnik dawki na całe ciało (roczna dawka skuteczna) dla osoby dorosłej wyniesie ok. 15 mSv/rok. W przypadku spożywania wody nie przegotowanej i nie uzdatnionej z warstw wodonośnych kredowych (średnio 6,8 Bq/l) otrzymamy roczne wchłonięcie radonu ^{222}Rn na poziomie 750 Bq/l. Całkowita dawka skuteczna otrzymywana przez statystycznego mieszkańca Polski to 3,86 mSv w ciągu roku, z czego około jedna trzecia tej wartości pochodzi od naturalnego źródła promieniowania jakim jest narażenie na radon i produkty jego rozpadu. Występowanie radonu związane jest z naturalnymi szeregami promieniotwórczymi spontanicznych przemian jądrowych nuklidów znajdujących się

w skorupie ziemskiej [4]. Dla wartości przyjętych z tabeli 5.1. dla 3 badanych ujęć wód podziemnych Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa wyniki AED_T– rocznej dawki efektywnej dla wód pitnych nie przekraczają rekomendowanych dawek bezpiecznych dla zdrowia i życia ludzkiego.

5.3 Usuwanie radonu z wody

W sytuacji, kiedy stężenie radonu w wodzie jest podwyższone lub przekroczone należy szukać rozsądnych rozwiązań, aby obniżyć ten poziom do dopuszczalnego dla wody pitnej. Jednym ze sposobów usuwania radonu z wody jest metoda napowietrzania i wdmuchiwanie wody do wewnętrznego zbiornika. Napowietrzanie – radon jest gazem, dlatego też można go usunąć z wody, przedmuchując powietrze przez wodę i wypychając powstałą parę z domu za sprawą zwykłej rurki na dachu. Systemy napowietrzania działają poprzez źródło powietrza na dnie zbiornika wody. Źródło powietrza wypycha powietrze do góry przez zbiornik i przez rurę odpowietrzającą. Dostępne są nawet jednostki, które również wykorzystują powietrze podczas napełniania zbiornika. Zarówno przy wentylacji dolnej, jak i napowietrzaniu napełniającym możliwe jest usunięcie do 99% radonu z wody studziennej. Takie rozwiązanie (schemat rys. 5.5.) przedstawia firma Culligan Water pod nazwą „Bubble-Up interactive game” [139].

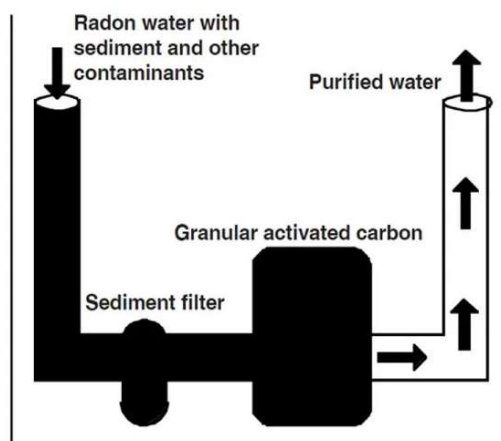


Rys. 5.5. Schemat usuwania radonu z wody [139]

Jak widać na powyższym schemacie radon wzbija się i wydostaje z wody do powietrza. Czysta woda przelewa się przez brzeg zbiornika i dzięki wbudowanej pompce dostarczana jest do domu odbiorcy. Takie rozwiązanie przeznaczone jest dla gospodarstw domowych

Granulowany węgiel aktywny (GAC) jest kolejną metodą usuwania radonu z wody. Dostępne są różne jednostki z granulowanym węglem aktywnym (różne modele, typy, rozmiary), jednak wszystkie działają na takiej samej zasadzie. Schemat usuwania radonu tą metodą prezentuje rys. 5.6. Jednostki GAC zbudowane są ze zbiornika z włókna szklanego, który wyposażony jest w granulowany węgiel aktywny. Jako drobny materiał wychwytuje on i zatrzymuje cząsteczki radonu. Jednak drobny rozmiar węgla aktywnego ma również swoje wady – może dojść do zalegania osadów lub innych zanieczyszczeń występujących w wodzie.

W celu ulepszenia działania jednostki GAC wyposaża się je w dodatkową funkcję jaką jest płukanie wsteczne do usuwania radonu. Jeśli zostanie wyeliminowane źródło osadu lub zastosowany filtr osadu, który umieszczony jest przed zbiornikiem GAC stwarza to najlepszą ochronę przed zanieczyszczeniami.



Rys. 5.6. Schemat usuwania radonu z wody za pomocą węgla aktywnego [140]

Zaleca się, aby metodę tą wykorzystywać tylko w sytuacji, kiedy zaopatrzenie w wodę ma maksymalne stężenie radonu poniżej 30 000 pCi/l. Dobór jednostki uzdatniania GAC powinien być dostosowany do ilości zużywanej wody i warunków jej lokalizacji. Według EPA jednostka o powierzchni 0,085m³ może obsłużyć nawet ok 945 dm³ wody dziennie i skutecznie obniżyć poziom radonu. Typowe zużycie wody w domu wynosi od 190 dm³ do 380 dm³ na osobę dziennie. Największą wadą tej metody usuwania radonu z wody możliwość nagromadzenia się radioaktywności w filtrze. Dlatego też jednostka GAC powinna być umieszczona w odizolowanym miejscu. Zużyty filtr należy odpowiednio zutylizować [141].

Przedstawione wyżej metody są najbardziej powszechnymi dla usuwania radonu z wody. Warto zaznaczyć, że najprostszym domowym sposobem na usunięcie ^{222}Rn z wody w gospodarstwie domowym jest jej zagotowanie. Wówczas wszystkie cząsteczki radonu z wody przeniosą się do powietrza.

5.4 Położenie geologiczne -oddziaływanie na aktywność radonu w wodzie

Radon jest „wtryskiwany” do wody w warstwie wodonośnej w wyniku rozpadu radu w podłożu skalnym zawierającym warstwę wodonośną. Cząsteczka radonu (Rn) powstaje, gdy cząsteczka radu uwalnia cząsteczkę alfa i zamienia się w cząsteczkę radonu. Cząsteczka radonu jest odrzucana od utworzonej cząstki alfa. Odrzut powoduje absorpcję radonu do wody. Wstrzykiwanie radonu do wody będzie miało miejsce tylko wtedy, gdy obok wody będzie znajdowała się świeża powierzchnia radu. Rad, który rozpada się pod powierzchnią wody/skały, nie uwalnia radonu do wody. Rad znajdujący się pod powierzchnią może zostać odsłonięty jedynie w wyniku erozji. Erozja ta jest zwykle wynikiem działania kwasu węglowego w wodach gruntowych. Studnie znajdujące się blisko siebie mogą mieć znacznie różne stężenia radonu w wodzie. Dzieje się tak, ponieważ studnie podłoża magmowego pozyskują wodę z warstwy wodonośnej, która składa się z wody utrzymywanej w szczelinach w skale. Te pęknięcia są ograniczone do małych obszarów. Woda ze studni będzie miała wysokie stężenie radonu tylko wtedy, gdy przejdzie przez szczelinę o wysokim stężeniu radu w podłożu skalnym. Warstwy wodonośne, które mają bardziej niejednorodną mieszanek materiałów, takich jak piaskowiec lub piasek i żwir, zwykle nie mają wysokich stężeń radonu ani dużych wahań stężeń radonu. Najwyższe stężenia tego pierwiastka występują w studniach podłoża magmowego. Stężenie radonu w studni może się zmieniać. Za każdym razem, gdy studnia jest pompowana, poziom wody zostanie obniżony. Szybkość uzupełniania (cofanie się wody do warstwy wodonośnej) i szybkość pompowania ze studni określi poziom lustra wody. W miarę zmiany poziomu wody woda będzie pobierana z innego obszaru warstwy wodonośnej. Jeśli stężenia radonu są różne w tych obszarach, zmienią się stężenia radonu w wodzie studziennej [124].

Ujęcia wód podziemnych z których pobierano próbki do badań położone są w regionie Gór Świętokrzyskich. Region ten umiejscowiony jest w obrębie południowo-wschodniej części antyklinorium środkowopolskiego, które nazywane jest w tej części antyklinorium świętokrzyskim (przebieg osi wzdłuż linii północny zachód – południowy wschód).

Warunki hydrogeologiczne w poszczególnych częściach regionu są zróżnicowane. We wszystkich formacjach geologicznych wyróżniamy poziomy wodonośne o różnej wydajności

oraz znaczeniu użytkowym. Wyróżniamy następujące piętra wodonośne z których można czerpać wodę:

a) Piętro staropaleozoiczne – jest związane z utworami od kambru do dolnego dewonu, które budują jądra i skrzydła antyklin. Charakteryzują się niskimi własnościami hydrogeologicznymi i przeważnie są bezwodne lub słabo wodonośne. Ze względu na swoje cechy to piętro nie jest przeznaczone do celów użytkowych.

b) Piętro dewońskie – piętro to jest tworzone przez utwory środkowego i górnego dewonu i wypełnia kilka synklijalnych struktur wykształconych w staropaleozoicznych utworach. W obrębie tego piętra wyróżnia się dwa poziomy wodonośne – środkowego oraz górnego dewonu.

Jeśli chodzi o poziom środkowodewoński utworzony jest z wapieni oraz dolomitów o znacznym zaangażowaniu tektonicznym i skrasowieniu. Pojawiają się w nim wody szczelinowo - krasowe. W części północno - zachodniej regionu świętokrzyskiego wody te pozostają w więzi hydraulicznej z wodami poziomu dolnotriasowego. Jeśli chodzi o zwierciadło wód jest głównie swobodne, ale miejscami również nieznacznie napięte.

Biorąc pod uwagę poziom górnodewoński warto zaznaczyć, że jest mniej zasobny od środkowodewońskiego. Woda pojawiają się w wapieniach i marglach, które stanowią przewarstwienia w serii ilastej. Wyróżnia się tu wody szczelinowe, a miejscami szczelinowo – krasowe, o zwierciadle napiętym. Jeśli chodzi o centralne partie synklin utworów dewońskich przykryte są serią osadów karbońskich. Pojawiają się tam wody szczelinowe o małej zasobności. Nie stanowią samodzielnego poziomu użytkowego [148].

W centralnej części Gór Świętokrzyskich wody piętra dewońskiego są słodkie i są ważnym źródłem zaopatrzenia w wodę gospodarstw rolnych.

c) Piętro permsko – triasowe – piętro to tworzą utwory permu oraz triasu, które pojawiają się w skrzydłach osłony mezozoicznej Gór Świętokrzyskich. Na to piętro składają się cztery poziomy wodonośne, a mianowicie permski, trias górny, środkowy oraz dolny. Poziom permski występuje w warstwach zlepieńców, piaskowców, wapieni oraz margli. Wody są w znaczącym stopniu szczelinowe, tylko miejscami szczelinowo – krasowe. Łączą się z wodami poziomu dewońskiego oraz nadległego poziomu dolnotriasowego za pomocą systemu spękań tektonicznych.

Poziom dolnotriasowy, inaczej porowo-szczelinowy powiązany jest z serią piaskowców oraz zlepieńców przewarstwionych utworami ilastymi. Istnieje połączenie z wodami starszych formacji za sprawą licznych stref tektonicznych wody. Zwierciadło wody napięte, które tworzy warunki subartezyjskie (wody pozieme, pojawiające się w warstwach wodonośnych pod skałami nieprzepuszczalnymi), a miejscami artezyjskie (warstwa wodonośna między dwiema warstwami nieprzepuszczalnymi) [147].

Poziom środkowotriasowy występuje w serii dolomitów oraz wapieni. Są one przykryte trasowymi utworami ilastymi lub glinami czwartorzędnymi. Za pomocą spękań w licznych miejscach ten poziom łączy się z poziomem dolnotrasowym. Wyróżnia się tu wody szczelinowo – krasowe o zwierciadle napiętym.

Poziom górnotriasowy powiązany jest z warstwami margli, piaskowców oraz wapieni, które tkwią pośród serii iłów i iłowców. Zawiera wody szczelinowo – porowe. Poziom jest naporowy i ma niską wydajność. Wody piętra permsko-trasowego to głównie wody słodkie. Lokalne wody poziomu górnotrasowego wykazują podwyższoną mineralizację typu siarczanowego [148,149].

d) Piętro jurajskie – w tym piętrze wydzielają się trzy poziomy. Poziom dolnojurański warstwy wodonośne, które tworzą piaskowce, wapienie oraz podrzędnie zlepieńce, które są przegradzane iłowcami i mułowcami. Utwory wodonośne mają wychodne na powierzchni terenu lub pod cienką pokrywą czwartorzędną. Wody tego piętra są porowato – szczelinowe. Posiadają połączenia z wodami poziomów triasowych poprzez strefy dyslokacji tektonicznych. Zwierciadło napięte.

Poziom środkowojurański to głównie wody szczelinowo – porowe. Występują one w marglach lub piaskowcach. Stanowią one przeławicenia ilasto –mułowcowe z serii osadów środkowej jury. Jest poziomem naporowym i ma niską wydajność oraz gorszą jakość wody, ponieważ charakteryzuje się częstymi podwyższeniami zawartości siarczanów, dlatego też nie ma większego znaczenia użytkowego [145].

Poziom górnójurański to spękane i skrasowiałe wapienie. Wody na tym poziomie są słodkie o zwierciadle swobodnym, a także wysokiej wydajności. Charakteryzuje się wysokim znaczeniem użytkowym.

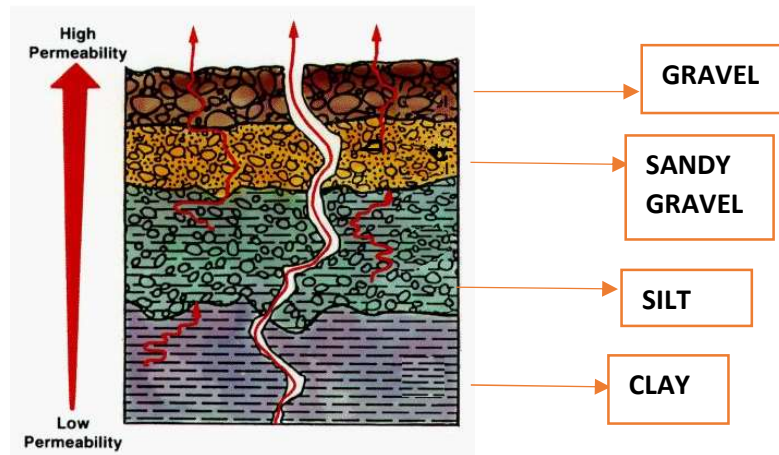
e) Piętro czwartorzędowe –piętro to jest dominujące w całym regionie, warto zaznaczyć, że dla badanych ujęć jest piętrem z którego jest ujmowana woda. Poziomy wodonośne to

piaszczyste lub żwirowe utwory polodowcowe oraz rzeczne. W całym regionie można zaobserwować warstwy wodonośne utworów fluwioglacjalnych w przeważającej mierze pod pokrywą lessową. Wśród glin zawałowych pojawiają się również lokalnie piaszczysto – żwirowe przewarstwienia. Rieczne osady wodonośne zaś występują we wszystkich dolinach rzek oraz większych potoków. Poziomy wodonośne w tych utworach są swobodniejsze od poziomów w pokrywach polodowcowych. Zwierciadło jest swobodne, tylko miejscami napięte. Wody są słodkie. Wody w osadach rzecznych charakteryzują się często zwiększoną zawartością żelaza i manganu. Wody czwartorzędowe to wody eksploatowane w całym regionie przez studnie gospodarskie. Na wodach poziomów osadów dolinnych większych rzek oparte są niektóre ujęcia komunalne.

Uran, tor i rad w większych bądź mniejszych ilościach pojawiają się w skałach oraz glebach. W czasie procesu emanacji radon powstały w wyniku rozpadu radu może dostawać się do przestrzeni porowej skał oraz gleb [149].

Budowa geologiczna to przede wszystkim rodzaj skał, ich wiek oraz wzajemne położenie w skorupie ziemskiej. Bolechowice jak wynika z rysunku 2 to głównie pozostałości po kredzie (skały węglanowo - krzemionkowe) oraz jurze, gdzie powstawało najwięcej skał wapiennych. Kołomań to w przeważającej mierze trias (czerwone piaskowce, czy iłowce) zaś Wola Kopcowa to mieszanka m.in. dewonu (zlepieńce i piaskowce) i syluru (skały wapienne, zawierające dziś skamieniałości zwierząt) [143]. Dla ujęcia Bolechowice i Wola Kopcowa dewon środkowy jest warstwą geologiczną z której pobierana jest woda zaś w przypadku ujęcia Kołomań jest to trias.

Zwiększone ilości radonu odnotowuje się głównie tam, gdzie występują skały łupkowe oraz granity. Radon jako gaz szlachetny ma niską zdolność do wiązania się z ciałami stałymi co jest jedną z przyczyn wydobywania się go ze skał. Jeśli mamy do czynienia z miejscami, gdzie przewagą w krajobrazie są skały, możliwe, że radon będzie się z nich przedostawał do powietrza, a także wód podziemnych. Należy więc mieć świadomość zagrożenia radonowego w każdym miejscu, które jest górzyste [144,145].

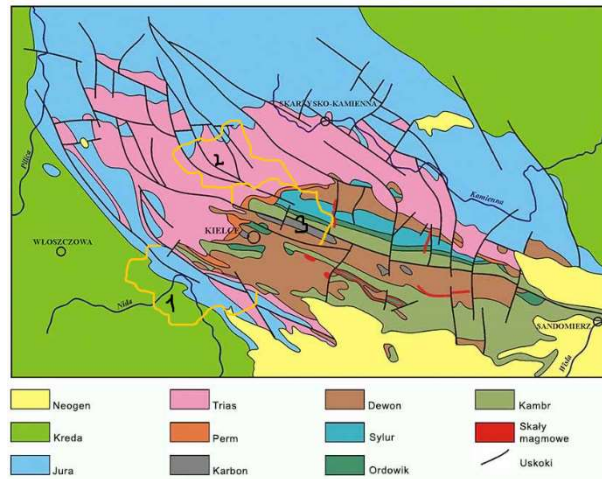


Rys.5.7. Przepuszczalność różnych formacji geologicznych [146]

Na rys. 5.7. przedstawiono przepuszczalność różnych formacji geologicznych. Łatwość i efektywność z jaką radon porusza się w przestrzeni porowej, także uskokach eksterminują ile radonu dostanie się np. do budynków, a także wód wodociągowych. To z jaką szybkością będzie przenikał radon do gleb zależy od jej wilgotności (ile wody jest zawarte w przestrzeni porowej), porowatości oraz przepuszczalności (zdolność gleby do transportu wody i powietrza).

Budowa geologiczna oraz koncentracja uranu i toru w mediach skalnych to główne czynniki wpływające na wielkość emisji radonu. Głównymi nośnikami uranu i toru w skałach magmowych są minerały akcesoryczne np. monacyt czy ksenotym. Są to minerały odporne na wietrzenie, stąd też tworzą niekiedy dość bogate nagromadzenia w piaskowcach plażowych i rozsypiskach. Zawartości pierwiastków promieniotwórczych w skałach oraz wpływ tektoniki na możliwość ich wędrówki czy przenikania to dwa główne czynniki mające wpływ na wielkość emisji radonu.

Radon w wodzie porusza się wolniej niż w powietrzu. Do momentu rozpadu radon przenika nie dalej jak ok. 2.5 cm w wilgotnych skałach lub glebach, zaś do ok. 180 cm w skałach suchych. Warto zaznaczyć, że woda porusza się wolniej przez pory w glebie i uskoki w skałach, więc radon zanim się rozpadnie przebywa krótsze dystanse w wilgotnych formacjach geologicznych [146].



Rys. 5.8. Budowa geologiczna województwa świętokrzyskiego z wyszczególnieniem miejscowości Bolechowice, Kołomań i Wola Kopcowa [147]

Powyższy rysunek obrazuje budowę geologiczną województwa świętokrzyskiego, gdzie dominujące są pozostałości po jurze oraz kredzie. Badane ujęcia na rysunku przedstawiono numerycznie, gdzie jedynka - Bolechowice (przewaga jury i kredy); dwójka - Kołomań (dominuje trias); trójka - Wola Kopcowa (mieszanka m.in., jury, kambru, czy karbon. Na badanych terenach pojawiają się liczne uskoki co przekłada się na przemieszczanie się radonu. To jak koncentrują się pierwiastki promieniotwórcze w skałach przedstawia tab. 5.3.

Tab. 5.3. Koncentracja uranu i radu w skałach [147]

Rodzaj skały	Uran [Bq/kg]	²²⁶ Ra[Bq/kg]
Piaski	0,01	1-27
Gliny	0,05	77-124,1
Wapienie	0,06	27,8
Granity	0,08	59,2
Bazalty	0,03	11,4
Fosforyny	2.53-5.06 max 16.43	490

6 MODEL SIECI BAYESOWSKICH

Twierdzenie Bayesa jest to twierdzenie teorii prawdopodobieństwa, wiążące prawdopodobieństwa warunkowe dwóch zdarzeń warunkujących się nawzajem, sformułowane przez Thomasa Bayesa. Twierdzenie to stanowi podstawę teoretyczną wnioskowania bayesowskiego, oraz sieci bayesowskich stosowanych w eksploracji danych[150].

Twierdzenie (wzór) Bayesa w swej podstawowej formie mówi, że:

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) P(A)}{P(B)} \quad (6.1.)$$

Gdzie:

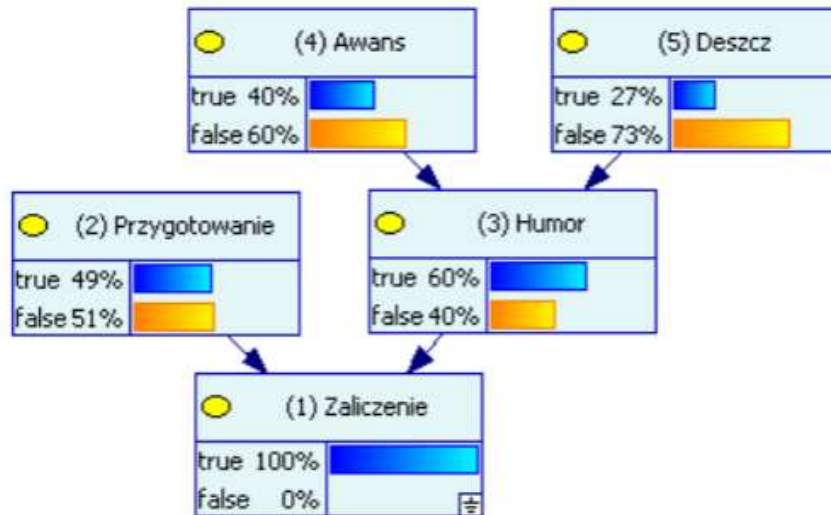
A i B są zdarzeniami oraz $P(B) > 0$, Przy czym

$P(A|B)$ oznacza prawdopodobieństwo warunkowe, tj. prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia A , pod warunkiem, że zajdzie zdarzenie B .

$P(B / A)$ oznacza prawdopodobieństwo warunkowe, tj. prawdopodobieństwo zajścia zdarzenia B , pod warunkiem, że zajdzie zdarzenie A .

Sieć bayesowska (BN) to model probabilistyczny, który prezentuje wiedzę o niepewnej dziedzinie. Każdy węzeł przedstawiony w modelu odpowiada zmiennej losowej, zaś krawędź to warunkowe prawdopodobieństwo dla odpowiednich zmiennych losowych [151]. Sieci BN nazywane są także sieciami przekonań lub sieciami przyczynowymi. Sieci bayesowskie to też inaczej acykliczne grafy skierowane, które reprezentują rozkłady na czynniki wspólnych rozkładów prawdopodobieństwa. Każdy łączny rozkład prawdopodobieństwa dla n zmiennych losowych można rozłożyć na czynniki w $n!$ sposoby i zapisane jako iloczyn rozkładów prawdopodobieństwa każdej ze zmiennych zależnych od innych zmiennych.

Na rys. 6.1. pokazano przykładowe graficzne przedstawienie sieci bayesowskiej odnoszącej się do prawdopodobieństwa zdania egzaminu. Wprowadzone zmienne to: 1. Zaliczenie jako zmienna zależna; 2. Przygotowanie zdającego; 3. Humor zdającego; 4. Awans ulubionego zespołu do mistrzostw; 5. Warunki pogodowe.



Rys. 6.1. Graficzne przedstawienie przykładowej sieci bayesowskiej odnoszącej się do prawdopodobieństwa zdania egzaminu[152]

Zakładając, że przygotowanie zdającego do egzaminu wynosi blisko 50%, jego humor jest całkiem dobry, bo prawdopodobieństwo deszczu jest niskie, a szanse na awans ulubionej drużyny dosyć sporo; prawdopodobieństwo zaliczenia egzaminu w takim układzie jest pewne.

Zostały one wprowadzone przez Judę Pearl w 1988r. Rozkłady prawdopodobieństwa są oparte na pracy, które dotyczą reprezentacji wnioskowania z probabilistyczną niezależnością. Początki takich rozwiązań statystycznych sięgają lat 70 XX wieku i należą do brytyjskiego statystyka A. Philipa Dawida. Sieci bayesowskie oferują intuicyjny i skuteczny sposób reprezentowania znacznych dziedzin, czyniąc modelowanie złożonych systemów praktycznym. Sieci bayesowskie zapewniają wygodny i spójny sposób przedstawiania niepewności w niepewnych modelach i są coraz częściej wykorzystywane do przedstawiania niepewnej wiedzy. Nie będzie przesadą stwierdzenie, że wprowadzenie sieci Bayesowskich zmieniło sposób, w jaki myślimy o prawdopodobieństwie [153].

Proces ten polega u podstaw na powtarzalnym stosowaniu twierdzenia Bayesa w celu aktualizacji rozkładów prawdopodobieństwa wszystkich węzłów w sieci. Różne sposoby zastosowania twierdzenia Bayesa i różna kolejność aktualizacji prowadzą do różnych algorytmów. Zasadniczo istniejące algorytmy wnioskowania w sieciach bayesowskich można podzielić na trzy grupy: przekazywanie wiadomości, redukcja grafu i symulacja stochastyczna. Jawna reprezentacja niezależności pozwala na zwiększoną wykonalność obliczeniową wnioskowania probabilistycznego. Wnioskowanie probabilistyczne w pojedynczo połączonych BN jest bardzo wydajne. Niestety dokładne algorytmy dla wielokrotnie

połączonych sieci są podatne na wykładniczą złożoność liczby węzłów w sieci. Cooper w 1990r wykazał, że problem jest ogólnie trudny [154].

Sieć bayesowska jest migawką systemu w danym czasie i jest używana do modelowania systemów, które znajdują się w pewnym stanie równowagi. Niestety, większość systemów na świecie zmienia się w czasie i czasami jesteśmy bardziej zainteresowani tym, jak te systemy ewoluują w czasie, niż ich stanami równowagi. Zawsze, gdy przedmiotem naszego rozumowania jest zmiana systemu w czasie, potrzebujemy narzędzia zdolnego do modelowania układów dynamicznych.

Tak więc dynamiczną siecią Bayesa (DBN) jest sieć rozszerzona o dodatkowe mechanizmy, które są w stanie modelować wpływy w czasie [155]. Czasowe wydłużenie sieci bayesowskich nie oznacza, że struktura lub parametry sieci zmieniają się dynamicznie, ale że modelowany jest system dynamiczny. Innymi słowy, leżący u podstaw proces, modelowany przez DBN, jest stacjonarny. DBN to model procesu stochastycznego.

Dynamiczny model sieci bayesowskiej pozwala na obliczenie zmian prawdopodobieństwa w czasie. Ma to żywotne znaczenie dla decydentów, którzy zajmują się konsekwencjami swoich decyzji w czasie.

Diagramy wpływu (ID) wprowadzone przez Howarda i Mathesona (1984) to acykliczne skierowane grafy modelujące problemy decyzyjne w warunkach niepewności. Identyfikator koduje trzy podstawowe elementy decyzji: (1) dostępne opcje decyzyjne, (2) czynniki, które są istotne dla decyzji, w tym sposób, w jaki wchodzi one w interakcje między sobą i jaki wpływ na nie będą miały decyzje, a wreszcie (3) preferencje decydenta co do możliwych wyników procesu decyzyjnego. Te trzy elementy są kodowane w identyfikatorach za pomocą trzech rodzajów węzłów: węzłów decyzyjnych, zwykle przedstawianych jako prostokąty, zmiennych losowych, zwykle przedstawianych jako owale, oraz węzłów wartości, zwykle przedstawianych jako romby lub sześciokąty. Najbardziej popularnym typem identyfikatorów są te, w których zarówno opcje decyzyjne, jak i zmienne losowe są dyskretne. Węzeł decyzyjny w dyskretnym identyfikatorze jest zasadniczo listą etykiet reprezentujących opcje decyzyjne. Każda zmienna losowa jest opisana przez tablicę prawdopodobieństwa warunkowego (CPT) zawierającą rozkład prawdopodobieństwa jej wyników zależny od jej rodziców. Każdy węzeł wartości koduje funkcję użyteczności, która reprezentuje liczbową miarę preferencji w stosunku do wyników jego bezpośrednich poprzedników. Identyfikatory mogą być postrzegane jako rozszerzenie Sieci

bayesowskiej z jawną reprezentacją opcji i preferencji decyzyjnych względem możliwych wyników procesu decyzyjnego [156].

Wygodnie jest postrzegać diagramy wpływów jako rozszerzenia sieci bayesowskich. Podczas gdy sieci bayesowskie są modelami systemów świata rzeczywistego pod względem reprezentacji powiązań między zmiennymi modelu (z grubsza na tym polega łączny rozkład prawdopodobieństwa), dodatkowe elementy służą do wyraźnego przedstawienia zarówno opcji decyzyjnych, jak i konsekwencji decyzji .

Model decyzyjny, jak określono powyżej, może być oceniany. Ocena sprowadza się do obliczenia oczekiwanych użyteczności dla każdej kombinacji decyzji.

Podobnie jak sieci bayesowskie, skierowane grafy diagramów wpływów są w stanie wyrazić przyczynowość. Podczas gdy czysty formalizm matematyczny sieci bayesowskich nie wymaga, aby łuki były przyczynowe, na diagramach wpływu wszystkie łuki pochodzące z węzłów decyzyjnych są przyczynowe i wyrażają fakt, że podjęcie decyzji wpływa na węzły na drugim końcu łuków. Kiedy łuk wskazuje na węzeł szansy, decyzja będzie miała wpływ na ten węzeł szansy. Gdy łuk wskazuje węzeł wartości, oznacza to, że decyzja ma bezpośredni wpływ na wartość [157,158].

Sieci bayesowskich, diagramy wpływu można osadzać w niestandardowych programach i interfejsach internetowych, pomagając w obliczaniu istotności obserwacji i podejmowaniu decyzji.

7 CHARAKTERYSTYKA BADANYCH UJEĆ

7.1 Sieci wodociągowe – budowa

Wodociągiem nazywamy zespół skoordynowanych oraz współpracujących urządzeń inżynierskich, a także obiektów mających na celu zaopatrzenie ludności oraz gospodarki przemysłowej w wodę. Każda sieć wodociągowa powinna spełniać określone wymagania. Jednym z podstawowych jest to, aby dostarczała wodę w takiej ilości jaka jest potrzebna odbiorcom, ma być pod odpowiednim ciśnieniem i spełniać jak najwyższe standardy dla najlepszej jakości wody. Wodociągi muszą też zapewnić niezawodność i elastyczność funkcjonowania danej sieci. Pozostałymi wymaganiami są: najtańszy koszt budowy i jej późniejszej eksploatacji, a przy tym sieć ma być trwała i długowieczna; muszą być odpowiednie układy sieci przewodów sieci, właściwy dobór materiałów do budowy, rur (odpowiednie średnice) oraz ich połączeń [159]. W praktyce często wymagania te się wykluczają, ponieważ dąży się m.in. do pewnego rodzaju kompromisu pomiędzy kosztami inwestycyjnym w stosunku do eksploatacji danego rurociągu.

Dla zaopatrzenia w wodę miast oraz aglomeracji miejskich, czy też przemysłowych musi być zaprojektowany odpowiedni system. Systemy zaopatrzenia w wodę są złożonymi systemami wodociągowymi i mają istotne znaczenie gospodarcze. Często obejmują rozległe tereny danego regionu, czy kraju, aby dostarczać wodę, która będzie wykorzystywana w różny sposób przez odbiorcę. Taki system tworzy układ współdziałających ze sobą elementów, na który składa się ujęcie wody, pompownia I stopnia, która będzie przepompowywała wodę z danego ujęcia do stacji uzdatniania. Kolejnymi elementami systemu zaopatrzenia w wodę będą zbiorniki wody czystej uzdatnionej. Następnie pojawią się pompownie II stopnia, które ze zbiorników będą pompować wodę do sieci, a na końcu zbiornik wyrównawczy sieciowy co przedstawia rys. 7.1.

W aspekcie funkcjonalności danego systemu zaopatrzenia w wodę wyróżniamy [159]:

- System ogólnego przeznaczenia – za pomocą jednej sieci przewodów przemysłowych i rozprowadzających, a także wspólnego ujęcia ma na celu zaopatrzenie ludzi i przemysł w wodę. System rozdzielczy – system ten to 2 niezależne układy w tym komunalny oraz przemysłowy, dodatkowo uwzględnia podział na potrzeby konsumpcyjne, a także gospodarcze.

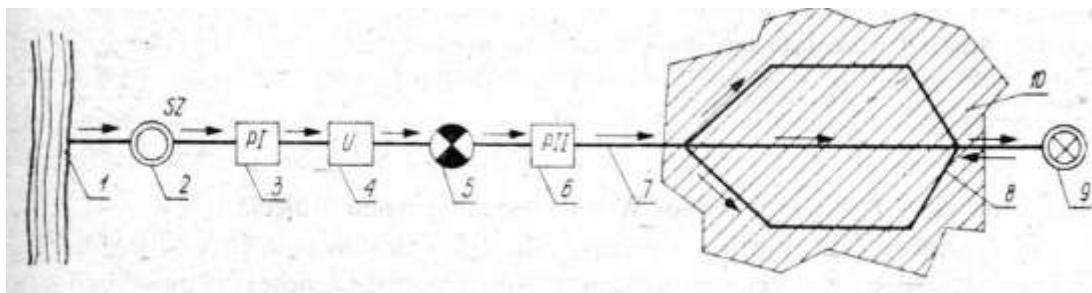
- System półrozdzielczy – system ten to 2 niezależne układy, które pokrywają oddzielnie potrzeby ludności oraz przemysłu.

System zaopatrzenia w wodę można podzielić również ze względu a zasięg [159]:

- System centralny – system ten zaopatruje w wodę większe aglomerację oraz miejscowości satelitarne.
- System lokalny – system ten zaopatruje w wodę jedną, konkretną miejscowość lub zakład przemysłowy.
- System grupowy – system ten zaopatruje w wodę kilka miast, lub osiedli, a także zakładów przemysłowych.
- System okręgowy – system ten zaopatruje w wodę znacznie większe obszary regionu, a także kraju, w czego skład wchodzi wiele aglomeracji, miast oraz zakładów przemysłowych.

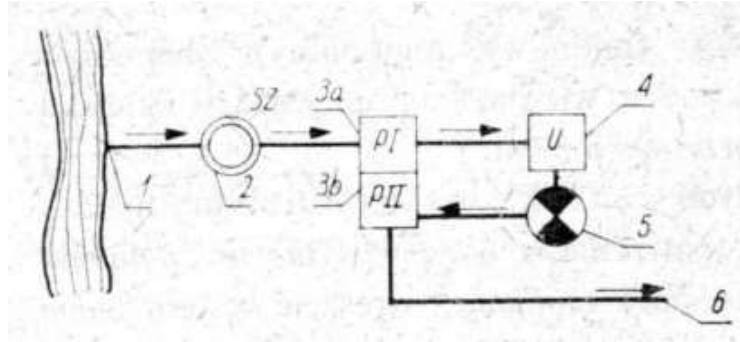
Ostatni podział systemu zaopatrzenia w wodę to podział ze względu na budowę oraz działanie:

- Ze względu na strukturę – z jednym źródłem lub z wieloma źródłami; jednostrefowe oraz wielostrefowe oraz mieszane.
- Ze względu na warunki hydrauliczne – grawitacyjne (rys7.4.), pompowe (rys. 7.2.) oraz mieszane.



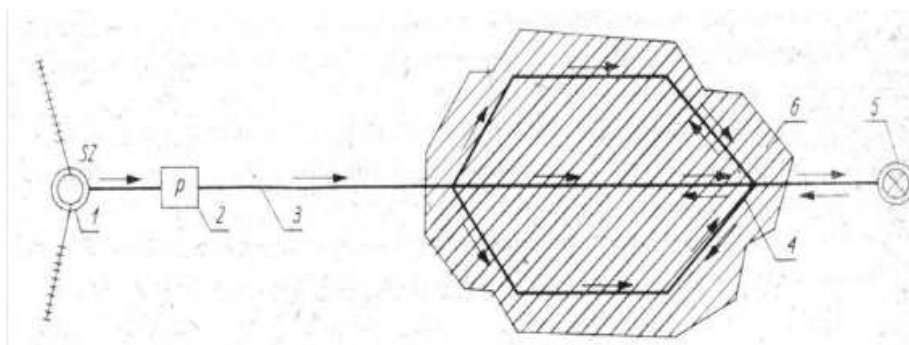
- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1. ujęcie wody | 6. pompownia II stopnia |
| 2. studnia zbiorcza | 7. przewód tłoczony tranzytowy |
| 3. pompownia I stopnia | 8. sieć rozdzielcza |
| 4. stacja uzdatniania wody | 9. zbiornik końcowy (górnym) |
| 5. zbiornik wodociągowy (dolny) | 10. obszar zasilania |

Rys. 7.1. Schemat ideowy ogólny wodociągu [159]



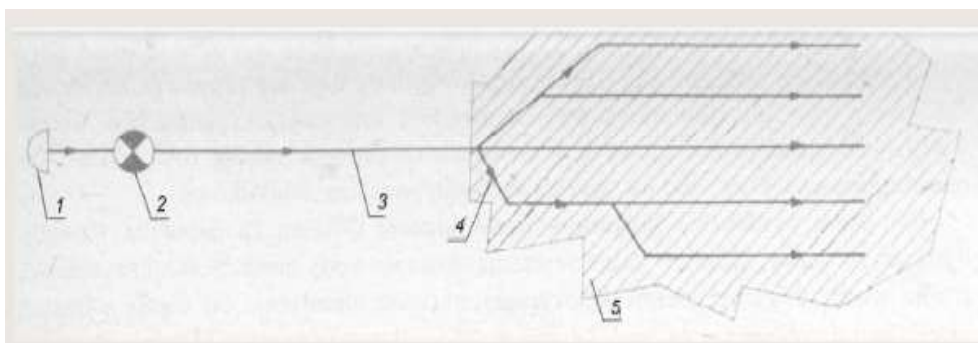
- | | |
|---|---------------------------------|
| 1. ujęcie wody | 4. stacja uzdatniania wody |
| 2. studnia zbiorcza | 5. zbiornik wodociągowy (dolny) |
| 3. budynek stacji pomp (3a-pompa I stopnia,
3b-pompa II stopnia) | |

Rys. 7.2. Schemat wodociągu z pompami zlokalizowanymi w jednym budynku [160]



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. ujęcie wody podziemnej | 4. sieć rozdzielcza |
| 2. pompownia | 5. zbiornik wyrównawczy |
| 3. rurociąg tranzytowy | 6. obszar zasilania |

Rys. 7.3. Schemat wodociągu bez stacji uzdatniania [159]



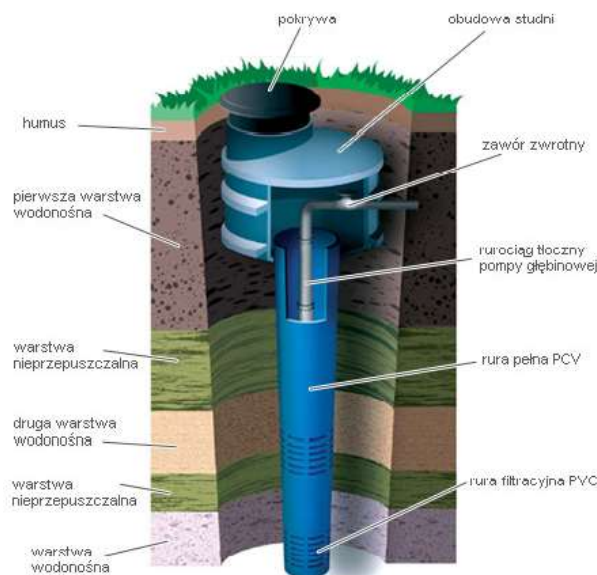
- | | |
|--|----------------------|
| 1. ujęcie wody źródlanej | 4. sieć rozdzielacza |
| 2. zbiornik ujęciowy terenowy, przepływowy | 5. obszar zasilania |
| 3. rurociąg grawitacyjny tranzytowy | |

Rys. 7.4. Schemat wodociągu grawitacyjnego [159]

Części składowe danego systemu mogą się zmieniać w zależności od potrzeb danej miejscowości - odbiorców, ale również naturalnych warunków danego terenu.

7.2 Studnia głębinowa – zastosowanie

Studnie głębinowe wiercone mają szerokie zastosowanie do ujmowania wód podziemnych z głęboko położonych warstw wodonośnych, które są przykryte warstwami gruntu nieprzepuszczalnego. W obecnych czasach jest jednym z najlepszych rozwiązań dla gospodarstw domowych. W tego rodzaju studniach wodę ujmuje się ze znacznie większych głębokości jak w porównaniu do studni kopanych lub studni posiadających filtr wbijany. Studnia wiercona ma znacznie większą wydajność również ze względu na ogromne zasoby wody w tych warstwach. Kolejną zaletą tego rodzaju studni jest mniejsze narażenie wody na zanieczyszczenia. Najprościej można opisać studnię wierconą jako głęboki otwór o niewielkiej średnicy w ziemi, który na całej długości zabezpieczony jest ścianą z rur tworzącą przewód, który podnosi wodę czerpaną z głębi ziemi.



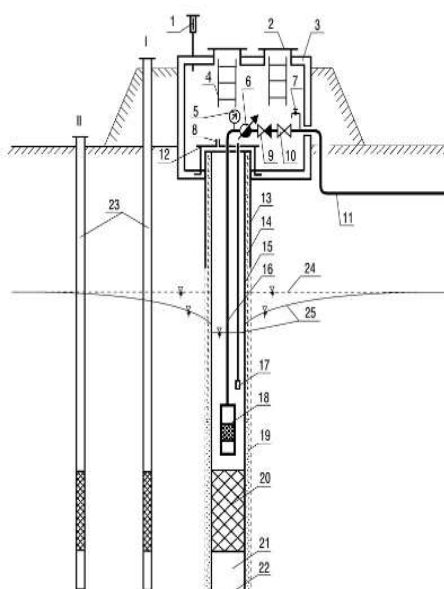
Rys. 7.5. Studnia głębinowa – położenie w warstwach wodonośnych [160]

Studnia złożona jest z następujących elementów [160]:

- kolumna okładzinowa - ma za zadanie zabezpieczać ściany otworu wiertniczego przed przedostawaniem się do wnętrza studni materiałów ziarnistych, tworzy się ją z połączonych rur stalowych, które zabezpiecza się przed korozją,
- kolumna filtrowa – ma za zadanie umożliwienie dopływu wody do wnętrza studni, tworzą ją następujące elementy: rury podfiltrowe (umieszczone poniżej filtru, spełniają rolę osadnika dla drobnych cząsteczek mineralnych, długość 1-5m), filtr właściwy (ma za zadanie umożliwić dopływ wody z warstwy wodonośnej do

wnętrza studni), rury nadfiltrowej (tworzy uszczelnienie między sobą, a rurą okładzinową, a także do umieszczenia w ściankach rury wycięcia do opuszczenia oraz wyjmowania filtru, długość 2-3m),

- obudowa studni – ma za zadanie zabezpieczać przed uszkodzeniem oraz zanieczyszczeniami, jest zakończeniem górnej części studni.



- | | |
|--|----------------------------------|
| 1. wentylacja | 14. uszczelnienie z ichtu |
| 2. właz | 15. rura nadfiltrowa |
| 3. obudowa studni | 16. rura stalowa |
| 4. drabina | 17. automatyczny wyłącznik pompy |
| 5. manometr | 18. pompa głębinowa |
| 6. wodomierz | 19. obsypka piaskowa |
| 7. zawór czerpalny do pobierania próbek wody | 20. filtr |
| 8. otwór do pomiaru zwierciadła wody | 21. rura podfiltrowa |
| 9. zawór zwrrotny | 22. korek |
| 10. zawór odcinający | 23. piezometr |
| 11. przewód doprowadzający wodę do stacji uzdatniania wody | 24. statyczne zwierciadło wody |
| 12. głowica studni | 25. dynamiczne zwierciadło wody |
| 13. rura okładzinowa | |

Rys. 7.6. Schemat studni wierconej [159]

Studnie głębinową wierconą można wykonać w dwóch wariantach. Pierwszy to studnia z rurą osłonową. Ma ona zastosowanie w sytuacji, kiedy wodę ujmujemy z głębszych warstw wodonośnych. W przygotowany wiertnicą otwór w gruncie opuszcza się rurę osłonową, po czym w nią perforowaną rurę filtracyjną w taki sposób, aby znalazła się w warstwie wodonośnej. Jeśli chodzi o dno studni jest zaślepione. Na końcu opuszcza się na dno studni pompę głębinową. W przypadku górnej części studni jest ona zakończona obudową wykonaną z kręgów

betonowych lub obudową z tworzywa sztucznego. W obudowie występuje zakończenie rury osłonowej, głowica pełni rolę elementu łączącego rurociąg tłoczony pompy głębinowej z przyłączem wodociagowym. W skład tej studni wchodzi również zawory służące do zamknięcia przepływu wody z rurociągu doprowadzając wodę ze studni oraz zasilania pompy.

Drugim rozwiązaniem jest studnia bez rury osłonowej, inaczej studnia wąskorurowa. Taką studnię można wykonać jeśli poziom wody w studni podniósł się pod wpływem ciśnienia artezyjskiego i znajdują się kilka metrów poniżej terenu. Otwór w gruncie wykonuje się w taki sam sposób jak otwór w studni posiadającej osłonę rur. Jednak pozostaje w nim tylko rura filtracyjna, która jest opuszczana do warstwy wodonośnej. W tego rodzaju studni ze względu na podniesiony poziom wody stosuje się pompę ssącą, pompę napędzaną ręcznie zopuszczonym tłokiem lub małą pompę głębinową pod warunkiem, że średnica rury filtracyjnej na to pozwala. Obudową studni jest betonowy krąg.

Oba przedstawione warianty studni, w celu poprawienia dopływu wody wykonuje się obsypkę – warstwę gruboziarnistego żwiru, którą nasypuje się od góry do dołu za pomocą węża. Jeśli chodzi o teren wokół takiej studni powinien być w promieniu min. 1m wyłożony brukiem ze spadkiem na zewnątrz [159].

7.3 Ujęcia Bolechowice- charakterystyka

Ujęcie Bolechowice położone jest w gminie Sitkówka Nowiny w miejscowości Bolechowice. Zasila w wodę część zachodnią i centralną gminy Sitkówka - Nowiny tj. od linii kolejowej Warszawa -Kraków do zachodnich granic Gminy. Jest to ujęcie wód podziemnych posiadające 3 studnie 2 podstawowe (nr 4a i 5a) oraz jedną awaryjną (nr 4). Dewon środkowy jest warstwą geologiczną z której pobierana jest woda. Według aktualnej klasyfikacji posiada klasę I czystości ujmowanej wody (w oparciu o Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 21.12.2015r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych wód podziemnych). Wydajność ujęcia mierzona w m³/d wynosi 3260 (Qdśr wg pozwolenia wodnoprawnego). Omawiane ujęcie nie posiada stacji uzdatniania wody. Zbiornik Zagrody oraz Zbiornik Bolechowice to 2 zbiorniki wyrównawcze wody przy ujęciu. Pierwszy ma pojemność 2x300m³ i skonstruowany jest z żelbetu. Drugi natomiast ma pojemność zbiornika 4x50m³ i skonstruowany jest ze stali.

Wodociąg Bolechowice – Zagrody zaopatruje w wodę 6599 osób z 13 miejscowości, które należą do 3 gmin.

- a) Gmina Kielce : ul. Tarasowa, Ustronie, Stacyjna, Klembowskiego oraz ks. Żrałka;
- b) Gmina Sitkówka – Nowiny:
- Bolechowice: bez budynków nr 84,85A(Jadar),85C,86,87,88,89a,90, dz.201/1 (Przedsiębiorstwo Kamienia Budowlanego) - 30os., które zasilane są z wodociągu stanowiącego własność gminy Chęciny (przedłużenie ul. Panek w Chęcinach) eksploatowanego przez ZGK w Chęcinach. Umowy na indywidualną dostawę wody do w/w budynków posiadają „Wodociągi Kieleckie”, jednocześnie posiadające umowę na hurtowy zakup wody z ZGK w Chęcinach. Od 1 października 2018r. rozliczenie hurtowego zakupu wody przez Spółkę od ZGK Chęciny odbywa się na podstawie wskazań wodomierza w centralnej studni zlokalizowanej na granicy gmin (ul. Panek);
 - Wola Murowana;
 - Słowik Markowizna;
 - Zagrody;
 - Zgórsko.
 - Szewce;
 - Zawada.
 - Trzcianki;
 - Os. Nowiny;
 - Sitkówka.
- c) Gmina Chęciny:
- Dobrzączka: dot. budynków nr 6,6A,6B,6C,6E,7,7B,8,9,10,11,12,dz.296/1, dz.316 – sprzedaż hurtowa wody przez „Wodociągi Kieleckie” do ZGK Chęciny, który rozlicza się z mieszkańcami w/w budynków na podstawie indywidualnych umów; woda podawana z Wodociągu Bolechowice przewodem wodociągowym centralną studnią wodomierzową na granicy gmin do sieci wodociągowej na terenie Dobrzączki pozostającej w eksploatacji ZGK w Chęcinach;
- dot. budynków nr 14,15, 16,16A,17 – sprzedaż hurtowa wody przez „Wodociągi Kieleckie” do ZGK Chęciny, który rozlicza się z mieszkańcami w/w budynków na podstawie indywidualnych umów; woda podawana z Wodociągu Bolechowice przewodami wodociągowymi z opomiarowaniem wodomierzami zainstalowanymi na

- dot. obiektów Jaskinia Raj oraz zajazdu – sprzedaż hurtowa wody przez „Wodociągi Kieleckie” do ZGK Chęciny, który rozlicza się z Przedsiębiorstwem Turystycznym ŁYSOGÓRY na podstawie indywidualnej umowy; woda podawana z Wodociągu Bolechowice przewodem wodociągowym /przyłączem/ z opomiarowaniem wodomierzem w studni centralnej na przyłączy do w/w obiektów;

- Chęciny ul. Sitkówka: dot. 7 budynków przy ul. Sitkówka na wysokości budynków w Bolechowicach nr 68 – 74 – sprzedaż hurtowa wody przez „Wodociągi Kieleckie” do ZGK Chęciny, który rozlicza się z mieszkańcami w/w budynków na podstawie indywidualnych umów; woda podawana z Wodociągu Bolechowice przewodami wodociągowymi /przyłączami/ z opomiarowaniem wodomierzami zainstalowanymi na przyłączach w/w nieruchomości.

Ogólna wielkość szacunkowa produkcji wody dla 3 ww. gmin zaopatrywanych w nią z ujęcia Bolechowice oparta na sprzedaży wody dla danej gminy wynosi 1111,4m³/d z czego największe zużycie wody przypada na gminę Sitkówka Nowiny - 1080,6m³/d [14].

7.3.1 Struktura budowy wodociągu

Całkowita długość sieci wodociągowej wynosi 60,48km. Z czego 28,88km wykonana jest z PCV; 26,70km – PE; 0,41km- stal; 0,74km – żeliwo oraz 3,75km to żeliwo sferoidalne.

- Gmina Kielce – całkowita długość wodociągu wynosi 1,79km z czego 0,56km w 1994r. zostało wykonane z PCV, a 1,23km w 2008r. z żeliwa sferoidalnego.
- Gmina Sitkówka Nowiny – całkowita długość wodociągu wynosi 58,69km z czego 28,32km to PCV, 26,70km – PE, 0,41km – stal, 0,74km – żeliwo oraz 2,52km – żeliwo sferoidalne. Struktura budowy wodociągu zmieniała się na przełomie przedstawia tab. 7.1.

Tab. 7.1. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1983 – 2018 [14]

Rok wykonania odcinka sieci	Ilość (km)	Tworzywo
1983	6,27 0,32	PCV stal
1987	7,72 0,10	PCV Żeliwo
1990	0,67	PCV
1991	2,46 0,09	PCV Stal
1996	2,97	PCV
1997	0,79 0,04 0,01	PCV PE Żeliwo

2000	0,20 0,18	PCV PE
2001	2,33	PE
2002	7,24 0,07	PCV PE
2003	1,22	PE
2004	6,73	PE
2005	1,10 0,41	PE żeliwo sferoidalne
2006	0,14	PE
2007	4,78	PE
2008	1,44 0,67 0,63	PE żeliwo sferoidalne żeliwo
2009	0,78 0,21	PE żeliwo sferoidalne
2010	0,54	PE
2011	0,70 0,16	PE żeliwo sferoidalne
2012	1,27 0,12	PE żeliwo sferoidalne
2013	0,19 0,52	PE żeliwo sferoidalne
2014	0,31	PE
2015	0,62	PE
2016	1,62	PE
2017	1,07 0,42	PE żeliwo sferoidalne
2018	1,57 0,01	PE żeliwo sferoidalne

c) Gmina Chęciny – brak danych

7.4 Ujęcia Kołomań - charakterystyka

7.4.1 Ogólna charakterystyka

Ujęcie Kołomań położone jest w gminie Zagnańsk i zasila jej zachodnią część tj. miejscowości Tumlin, Umer, Kołomań, Długojów i Szałas. Jest to ujęcie wód podziemnych posiadające jedną studnię ujmowania wody. Zalicza się do II klasy czystości wody (w oparciu o Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 21.12.2015r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych wód podziemnych). Trias jest warstwą geologiczną, z której pobierana jest woda. Wydajność omawianego ujęcia mierzona w m³/d wynosi 647,00 (Q_{dśr} wg pozwolenia wodno-prawnego. Nie posiada ono stacji uzdatniania wody. Na Zbiornik Tumlin oraz Zbiornik Długojów składają się 2 zbiorniki wyrównawcze wody przy ujęciu. Pierwszy ma pojemność 300m³ i skonstruowany jest z żelbetu. Drugi natomiast ma pojemność 145m³ i skonstruowany jest ze stali.

Wodociąg zaopatruje w wodę 2 gminy - Zagnańsk oraz Miedzianą Górę do których należy 9 miejscowości.

a) Gmina Zagnańsk:

- Kołomań;
- Umer;
- Tumlin Osowa;
- Tumlin Zacisze;
- Tumlin Dąbrówka;
- Tumlin Węgle;
- Szałas;
- Długojów.

b) Gmina Miedziana Góra:

- Tumlin Wykień: budynki nr 1,2,2B,3,4,5,6,6A,6B,8,11 – dostawę wody Wodociągu Kołomań zapewnia w/w budynkom ZGK w Miedzianej Górze, który zakupuje wodę od „Wodociągów Kieleckich” i rozlicza się bezpośrednio z tymi odbiorcami.

Łącznie z wodociągu korzysta 2711 osób. Ogólna wielkość szacunkowa produkcji wody dla 2 ww. gmin zaopatrywanych w nią z ujęcia Kołomań oparta na sprzedaży wody dla danej gminy wynosi 211,54m³/d z czego największe zużycie wody przypada na gminę Zagnańsk – 202,7m³/d [14].

7.4.2 Struktura budowy wodociągu

Całkowita długość sieci wodociągowej wynosi 34,37km. Z czego 31,56km wykonana została z PCV, a 2,81km z PE. Dane te dotyczą głównie gminy Zagnańsk, ponieważ informacji związanych z gminą Miedziana Góra nie udało się pozyskać. Struktura budowy wodociągu zmieniała się na przełomie lat, co przedstawia tab. 7.2.

Tab. 7.2. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1993 – 2017 [14]

Rok wykonania odcinka sieci	Ilość (km)	Tworzywo
1993	15,76	PCV
1994	7,20 0,17	PCV PE
1998	8,60	PCV
1999	0,33	PE
2006	1,93	PE
2007	0,15	PE
2009	0,10	PE
2015	0,08	PE
2016	0,03	PE
2017	0,02	PE

7.5 Ujęcie Wola Kopcowa – charakterystyka

7.5.1 Ogólna charakterystyka

Ujęcie Wola Kopcowa zasila całą gminę Masłów z wyłączeniem miejscowości Domaszowice i Dąbrowa. Podobnie jak ujęcie Bolechowice oraz Kołomań jest to ujęcie wód podziemnych. Posiada 2 studnie ujmowania wody (nr 1 – podstawowa, nr 2 – awaryjna). Dewon środkowy jest warstwą geologiczną z której pobierana jest woda. Klasa II jest klasą czystości ujmowanej wody wg aktualnej klasyfikacji (w oparciu o Rozporządzenie Ministra Środowiska z dn. 21.12.2015r. w sprawie kryteriów i sposobu oceny stanu jednolitych wód podziemnych). Wydajność ujęcia mierzona w m³/d wynosi 1440 (Q_{dśr} wg pozwolenia wodnoprawnego). Wodociąg zaopatruję w wodę 7261 osób w 9 miejscowościach gminy Masłów:

- Wola Kopcowa - bez budynków zasilanych w wodę z wodociągu stanowiącego własność gminy Górnoi eksploatowanego przez ZUK w Górnice: ul. Świętokrzyska nr 10a, 38; ul. Wspólna 1A,2A,2B,2C,2D,2E,2F,2G,2H,2I,2J,2K,4,6,7,8A,8B,10,12,13,14,17,17, 29, 31, dz.267/6; ul. Kielecka nr 2,3,5,7;ul. Kopcówki nr 11,13,15,17,21,bud. obok bud.21,23;
- Masłów I - bez ul. J.P. II nr 21 do 156 – należy do Wodociągu Kieleckiego;

- Dąbrowa - budynki od nr 379A do 394 – pozostałe należą do Wodociągu Kieleckiego;
- Masłów II;
- Mąchocice Scholasteria, Mąchocice Kapitulne;
- Barcza;
- Brzezinki;
- Ciekoty – z Radostową.

Ogólna wielkość produkcji wody wynosi 747,2m³/d z czego 583,8m³/d w rozbięciu na poszczególne gminy zaopatrywane przez wodociąg [14].

7.5.2 Struktura budowy wodociągu

Całkowita długość sieci wynosi 70,82km, z czego 15,86km wykonana jest z PCV; 53,51km z PE; 1,39km z żeliwa sferoidalnego, a 0,06km z żeliwa. Struktura budowy wodociągu zmieniała się w przełomie przedstawia tab. 7.3.

Tab. 7.3. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1993 – 2004 [14]

Rok budowy odcinkasieci	Ilość (km)	Tworzywo
1993	1,76	PCV
1997	4,72	PCV
	1,11	PE
1998	9,34	PCV
2001	1,84	PE
2002	3,97	PE
2003	7,71	PE
	0,04	PCV
2004	11,29	PE
2005	2,23	PE
2006	5,89	PE
2007	0,99	PE
2009	0,63	PE
	0,05	żeliwo sferoidalne
2011	0,27	PE
2012	0,16	PE
2013	9,69	PE
	0,06	Żeliwo
2014	5,38	PE
	1,34	żeliwo sferoidalne
2015	0,42	PE
2017	1,18	PE
2018	0,60	PE
2019	0,15	PE

8 METODYKA BADAŃ

8.1 Badania jakości wody

Wodę do badań pobierano przez 24 miesiące (2021-2022 r.) po 3 próbki z jednego ujęcia. Punkty poboru wody były tak rozłożone, aby uzyskać dane na temat jakości wody na początku, w środku oraz na końcu sieci wodociągowej. Próbkę wody pobierano w litrowych, szklanych butelkach zgodnie z normami. Następnie zbadano takie parametry fizyko-chemiczne jak: pH, którego pomiaru dokonano za pomocą pH-metru Elmetron CP-551, zgodnie z normą: PN-EN ISO 15975-2:2013+AC:2012; przewodność - mierzona za pomocą konduktometru Hanna HI 8819, zgodnie z normą: PN-EN 27888:1999; twardość ogólną zmierzono poprzez miareczkowanie wersenianem dwusodowym, zgodnie z normą: PN-ISO 6059:1999; pomiaru chlorków dokonano metodą MOHRA, zgodnie z normą: PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012 Fosforany, jon amonowy mierzono metodą kalorymetryczną, zgodnie z normą PN-C-04576-4:1994; azotany i azotyny mierzono metodą kalorymetryczną z kwasem fenolodisulfonowym, zgodnie z normą: PN-EN ISO 10304-1:2009+AC:2012.

Pozostałe wyniki badań dla lat 2012-2020 związanych z jakością wody zostały pozyskane z Wodociągi Kielce Sp. z o.o.

8.2 Badania stabilności chemicznej wody

Badania stabilności chemicznej wody są możliwe znając m.in. takie parametry jak jej pH, zawartość w niej wapnia, magnezu, żelaza czy zasadowości ogólnej. Wprowadzając wymienione powyżej dane do programu komputerowego PHREEQC uzyskujemy indeksy stabilności chemicznej badanej wody dzięki czemu możemy odczytać jakie minerały będą się z niej wytrącać, które w niej rozpuszczać oraz które pozostaną z nią w równowadze. PHREEQC jest programem, który wywodzi się z FORTRAN PHREEQE. Służy on do wykonywania różnorodnych obliczeń wskaźników jakości wody. Jego szerokie możliwości pozwalają na przewidzenie stanu wody w systemach wodociągowych w określonych warunkach, co może prowadzić do zwiększenia jej stabilności chemicznej [162]. Model geochemiczny programu PHREEQC ma możliwość symulowania reakcji równowagi zachodzących pomiędzy wodą oraz minerałami, zamiennikami jonowymi, roztworami stałymi, a także gazowymi. Wykorzystywana w programie formuła kinetyczna pozwala na modelowanie nierównoważnego rozpuszczania oraz wytrącania się minerałów, reakcji mikrobiologicznych, rozkładu związków organicznych jak i innych reakcji kinetycznych [163].

Poprawność dokonania analizy wody przez program można ocenić w oparciu o:

- a) bilans jonowy wody – analiza jest poprawna, gdy spełniony jest warunek:

$$\frac{|Kt - An|}{Kt + An} * 100 \leq 10\% \quad (8.1)$$

dla

$$Kt = \sum_{i=1}^n m_i^{Kt} z_i^{Kt} \quad (8.2)$$

$$An = \sum_{j=1}^n m_j^{An} z_j^{An} \quad (8.3)$$

gdzie:

m_i^{Kt} – stężenie kationów, [mol/dm³]

m_j^{An} – stężenie anionów, [mol/dm³]

z_i^{Kt} – wartościowość kationów,

z_j^{An} – wartościowość anionów.

Jeśli nie jest spełniony ten warunek, analiza obarczona jest wysokim błędem i nie może być wykorzystywana do dalszych obliczeń składu jonowego wody, czego najczęstszą przyczyną jest brak oznaczeń zawartości sodu i potasu.

- b) porównanie oznaczanego pH wody (pH_{ozn}) z wartością ustaloną w drodze obliczeń (pH_{ob}). Analizę wody jest poprawna, gdy zachodzi nierówność:

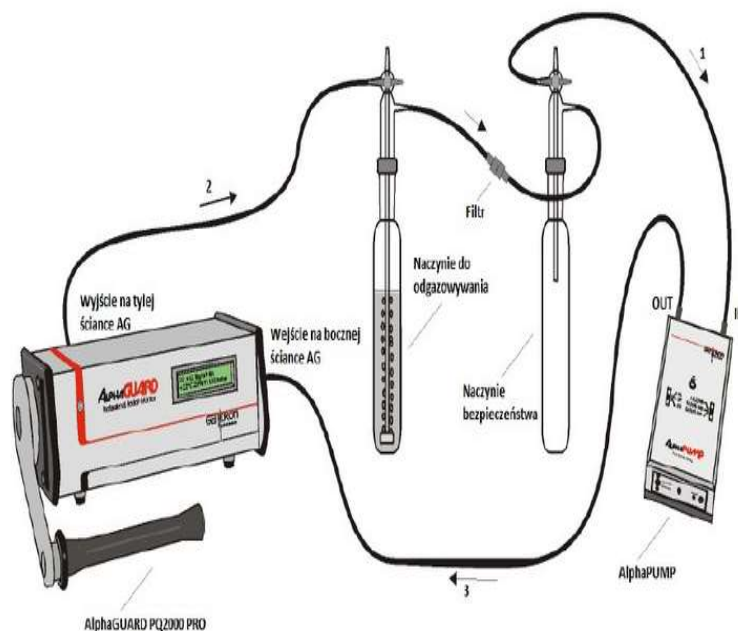
$$|pH_{ozn} - pH_{ob}| \leq 0,2 \quad (8.4)$$

Gdy spełniony jest warunek $I_S^M > 0$ wówczas dany związek wytrąca się z wody. Natomiast jeśli $I_S^M \in (-0,5; 0,5)$ wtedy mówio równowadze chemicznej pomiędzy wodą, a substancją z niej wytrąconą. Znając wartości stężeń jonów występujących w wodzie możemy wyznaczyć indeksy stabilności związków wytrączanych lub w niej rozpuszczanych [59].

8.3 Pomiar stężenia radonu w sieci wodociągowej

Badania aktywności ^{222}Rn w wodzie prowadzi się z wykorzystaniem specjalistycznego sprzętu. Aby uzyskane wyniki badań były poprawne należy pamiętać, że połowiczny rozpad radonu - ^{222}Rn wynosi zaledwie 3,825 dnia. Stąd też pobrana próbka wody musi jak najszybciej trafić do laboratorium. W poniższym rozdziale zostaną podane przykłady sprzętu jakim badane są próbki wody w zależności od źródła pochodzenia.

Woda znajdująca się w sieci wodociągowej powinna zostać pobrana do pomiaru aktywności radonu po kilku minutach swobodnego spływu (ważne jest, aby zaznaczyć czas spływu). Następnie może ona zostać poddana badaniom na zestawie AquaKIT (produkcji Genitron GmbH), który połączony jest z komorą jonizacyjną AlphaGUARD PQ200PRO przedstawioną na rys.8.1.



Rys. 8.1. Zestaw do pomiaru stężenia ^{222}Rn w próbkach wody [126]

Zestaw służący do pomiaru stężenia ^{222}Rn w próbkach wody przedstawiony na rysunku 8.1. składa się z przenośnego monitora radonowego (AlphaGUARDTM); gazoszczelnej pompki o skokowo regulowanym przepływie gazu w zakresie od $0,03$ do $1,0\text{dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$ (AlphaPUMPTM) oraz gazoszczelny zestaw służący do odgazowania próbki wody, a co najważniejsze do uwolnienia rozpuszczonego w niej radonu.

Wyżej wymienione elementy są połączone w hermetycznie zamknięty obieg. W skład stanowiska pomiarowego wchodzi również termometr zanurzeniowy (mierzy temperaturę wody w czasie wykonywanego pomiaru); stoper odmierzający dokładny czas pomiaru; „doker” (dzięki niemu możliwe jest włączenie w system strzykawki z pobraną próbką wody, a także

strzykawkę wchodzącą w zestaw AquaKIT™ o objętości 100cm³. Dzięki połączeniu monitora AlphaGUARD™ z komputerem przesyłane i gromadzone są wszystkie dane z pomiaru, a następnie wykonywane są potrzebne obliczenia. Monitor ten jest podstawowym urządzeniem występującym na stanowisku pomiarowym (stanowisko przedstawia rysunek 8.2.), ponieważ wykonuje on właściwy pomiar stężenia ²²²Rn. Pomiar następuje w komorze jonizującej wyposażonej w filtry zatrzymujące radioaktywne produkty rozpadu radonu, a także zanieczyszczenia. Do komory radon dostaje się wraz z powietrzem atmosferycznym dzięki pompce AlphaPUMP™. Powietrze przed dostaniem się do komory pompowane jest przez szklane naczynie mające na celu odgazowanie próbkę wody, po czym przez naczynie asekuracyjne zwane też osuszającym, gdzie zatrzymywany jest nadmiar wilgoci istnieje możliwość skraplania się pary wodnej (chroni to komorę jonizacyjną przed uszkodzeniem).

Badaną próbkę wody umieszcza się bezpośrednio w naczyniu odgazującym poprzez przyłączenie do „dokera” wylotu strzykawki i delikatne wstrzyknięcie wody, w taki sposób, aby nie wywołać turbulentnego przepływu, co mogłoby spowodować częściową ucieczkę radonu. Niezwłocznie po wprowadzeniu próbki wody o objętości 100 cm³ do naczynia odgazującego zamykane są zawory w tym naczyniu oraz w naczyniu asekuracyjnym w celu hermetycznego zamknięcia układu pomiarowego. Po przeniesieniu próbki wody o objętości 100 cm³ do układu pomiarowego i jego hermetycznym zamknięciu oraz włączeniu AlphaGUARD'a™ w jednonominutowym cyklu pomiarowym, w trybie przepływowym, następuje właściwy pomiar stężenia radonu w próbce wody, a właściwie w powietrzu komory jonizacyjnej, do którego ²²²Rn został z wody wyekstrahowany. W ciągu pierwszych 10 minut pomiaru pracuje AlphaPUMP™ przepompowując 0,3 dm³ · min⁻¹ powietrza w obiegu zamkniętym: AlphaPUMP™–AlphaGUARD™–AquaKIT™. Po upływie 10 minut pomiaru pompka jest wyłączana, a pomiary są wykonywane nadal, przez kolejne 20 minut. Po 30 minutach od rozpoczęcia pomiaru (włączenia pompki) wyłączany jest AlphaGUARD™, co kończy pomiar. Podczas obróbki uzyskanych danych wykorzystane jest oprogramowanie AlphaEXPERT™. W programie tym możliwa jest także wstępna obróbka danych, m.in. odczytanie średnich wartości stężenia ²²²Rn i niepewności jego oznaczenia dla każdego 30-minutowego pomiaru. Średnie stężenie ²²²Rn wraz z niepewnością oznaczenia podawane są w Bq·m⁻³. Przeliczenie tej wartości na stężenie ²²²Rn w próbce wody możliwe jest przy wykorzystaniu równania zaproponowanego przez producenta zestawu

$$c_{pw} = \frac{c_{pp} \left(\frac{V_{sys} - V_{pw}}{V_{pw}} + \omega \right) - c_0}{1000} \quad (8.5)$$

gdzie:

c_{pw} – stężenie ^{222}Rn w badanej próbce wody, Bq/l (w czasie pomiaru),

c_{pp} – stężenie ^{222}Rn , Bq/l, zmierzone w powietrzu komory jonizacyjnej; wartość średnia z 24–28 jednoczynowych pomiarów,

c_0 – początkowe stężenie ^{222}Rn w powietrzu systemu pomiarowego (przed rozpoczęciem pomiaru); przy dokładnym przewentylowaniu systemu po poprzednim pomiarze równe jest stężeniu ^{222}Rn w powietrzu laboratorium i wynosi kilka (1–3) Bq/l; najczęściej wartość c_0 jest co najmniej o 3 rzędy wielkości mniejsza od wartości c_{pp} , w związku z czym w większości przypadków można ją zaniedbać przy obliczeniach,

V_{sys} – objętość całego systemu pomiarowego, cm^3 ; w przypadku mniejszego naczynia odgazowującego, stosowanego dla próbki wody o objętości 100 cm^3 wynosi ona 1122 cm^3 ,

V_{pw} – objętość próbki wody, cm^3 ,

ω – temperaturowy współczynnik rozpuszczalności radonu w wodzie.

Otrzymaną wartość c_{pw} przeliczano na stężenie ^{222}Rn w chwili pobrania próbki – c_{ppw} . W tym celu korzysta się z równania rozpadu promieniotwórczego:

$$\frac{c_{pw}}{c_{ppw}} = e^{-\frac{(\ln 2) \cdot t}{T_{1/2}}} \quad (8.6)$$

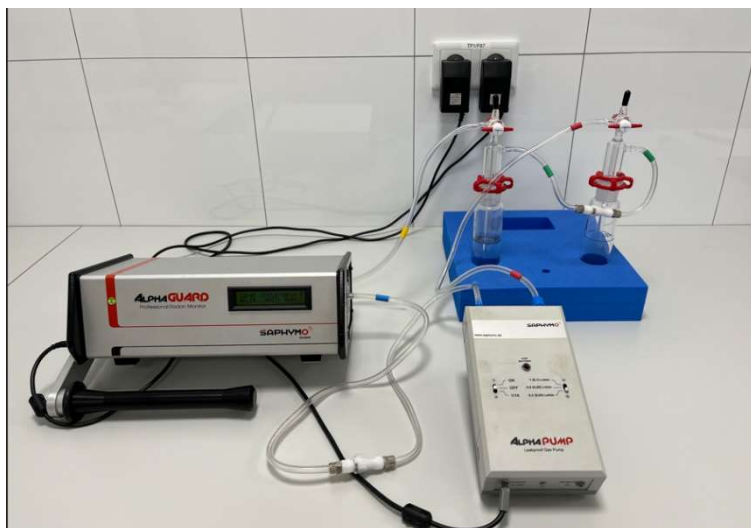
$$c_{ppw} = \frac{c_{pw}}{e^{-\frac{(\ln 2) \cdot t}{T_{1/2}}}} \quad (8.7)$$

gdzie:

$T_{1/2}$ – okres półrozpadu ^{222}Rn , $5504,256 \pm 2,592$ minuty;

t – czas mierzony od chwili pobrania próbki wody do połowy pomiaru, tj. z włączeniem pierwszych 15 minut trwania pomiaru, w min. [40].

Badania aktywności ^{222}Rn w wodzie do niniejszej pracy były możliwe dzięki współpracy z Uniwersytetem Opolskim, który posiada laboratorium wyposażone w specjalistyczny sprzęt AquaKIT (produkcji Genitron GmbH). Stanowisko pomiarowe przedstawia poniższy rysunek.



Rys. 8.2. Stanowisko do pomiaru aktywności ^{222}Rn w wodzie (fotografia własna)

8.4 Analiza statystyczna

Model sieci bayesowskich to algorytm pozwalający zobrazować zależności w zbiorze danych. Strzałki na grafie sieci bayesowskiej oznaczają zależności między cechami. W przypadku niniejszej pracy zależności między poszczególnymi wskaźnikami jakościowymi wody, w tym radonu zostały wyznaczone algorytmem grow-shrink.

Analiza statystyczna została wykonana dla wartości każdego wskaźnika jakościowego wody oraz wartości indeksów stabilności chemicznej minerałów mogących pojawić się w wodzie w odniesieniu do czasu (okres od 2012 r. do 2022 r. z wyszczególnieniem każdej wartości dla poszczęólnego miesiąca). Analiza dotyczyła każdego ujęcia z osobna w celu udzielania odpowiedzi na postawioną w pracy pierwszą hipotezę badawczą, której założeniem jest, że stabilność chemiczna wód ujmowanych ulega pogorszeniu w funkcji czasu eksploatacji ujęcia wobec hipotezy alternatywnej o braku istotnego pogorszenia stabilności chemicznej wody. W tym celu wykorzystano program R w wersji 4.3.1.R (R Project for Statistical Computing), który jest jednocześnie językiem programowania, środowiskiem obliczeniowym oraz graficznym. Celem twórców tego programu było stworzenie platformy do obliczeń statystycznych, służącej do prezentowania danych w nowy sposób, oraz tworzenia ciekawych wizualizacji np. w postaci wykresów 3D. Dzięki swojemu przystosowaniu do obliczeń statystycznych został zaadaptowany przez wiele potężnych firm, w tym facebook, czy google.

Kolejna analiza dotyczyła korelacji pomiędzy badanymi wskaźnikami jakościowymi wody. W tym przypadku posłużono się dwoma testami Pearsona oraz Spearmana przy założeniu 5% poziomu istotności. Z racji dużej ilości wyników badań, dodano do pracy jako

załącznik wyniki, gdzie korelacja między poszczególnymi wskaźnikami wskazywała min. wartość -0,27 lub 0,27[163].

Dla wyznaczenia istotnej wartości R^2 wykorzystano test Fishera Snedecora, przy założeniu błędu odrzucenia 1%.

W pracy wykonano również ranking wielokryterialny, który pozwolił na określenie punktu poboru wody dla którego woda wykazała najlepszą jakość. W tym celu spośród wskaźników jakościowych wybrano te, które dla wody będą stymulantami (cecha statystyczna, której wzrost powoduje lepszą pozycję w rankingu) oraz te, które będą destymulantami (cecha statystyczna, której wzrost powoduje gorszą pozycję w rankingu). Do analizy wybrano następujące stymulanty: pH, zasadowość ogólną oraz magnez oraz destymulanty to: przewodnictwo właściwe, twardość ogólna, żelazo, chlorki, azotyny, azotany, amonowy jon, fosforany, wapń, radon oraz dodatkowo parametr związany z równowagą chemiczną wody – wartość bezwzględna z indeksu stabilności kalcytu. pH jest stymulantą, ponieważ jego zakres mieści się w przedziale 6,5-9,5. Dla ujmowanych wód sieci wodociągowych nie ma przekroczeń tych wartości. Wody o większych wartościach pH są mniej agresywne dla instalacji sanitarnych. Jony magnezu – jest ich stosunkowo mało w badanych wodach, a jest on bardzo pożądanym w organizmie ludzkim, dla jego prawidłowego funkcjonowania, natomiast jeśli zasadowość ogólna jest wysoka wobec twardości niewęglanowej jest to bardzo korzystne dla wody.

Stymulanta została obliczona ze wzoru:

$S = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$, zaś destymulanta:

$D = (X_{\max} - X) / (X_{\max} - X_{\min})$

Gdzie:

X – wartość wskaźnika jakościowego wody,

X_{\max} – wartość maksymalna wskaźnika jakościowego wody,

X_{\min} – wartość minimalna wskaźnika jakościowego wody.

9 WYNIKI BADAŃ

W celu analizy jakości wody na przestrzeni 10 lat uwzględniono średnie roczne wartości wskaźników jakościowych wody dla każdego z badanych ujęć. W celu weryfikacji istotności korelacji wykorzystano test Fishera Snedecora, przy założeniu liniowej linii trendu. Weryfikacja istotności korelacji testem F wymaga określenia tzw. bazowej wartości charakterystyki [164]:

$$F = \frac{(n-2) \cdot R^2}{(1-R^2)} \quad (9.1)$$

Porównano otrzymany wynik z wartościami z tablic rozkładu $F_{\alpha,1,n-2}$

Dla zadanego poziomu ufności $\alpha=0,01$ (średni błąd odrzucenia $H_0 \leq 1\%$), przy $n=12$ uzyskano:

$$F = \frac{(12-2) \cdot R^2}{(1-R^2)} \quad (9.2.)$$

Wartości współczynnika determinacji wyższe niż 0,51 są wystarczające dla potwierdzenia istotności poniższych korelacji (rys. 9.1. –9.33.)

wobec powyższego wartość charakterystyki dla $R^2=0,51$ wyniosła:

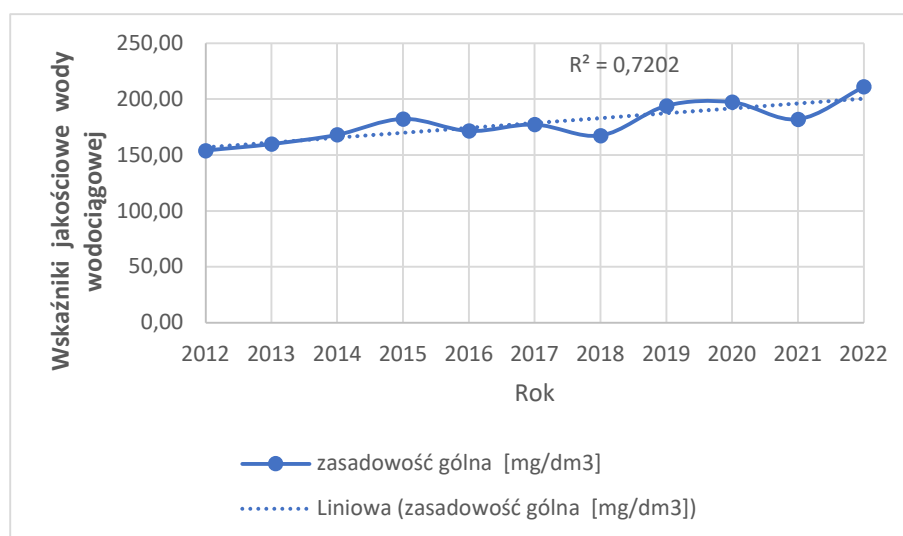
$$F = \frac{(12-2) \cdot 0,51}{(1-0,51)} \quad (9.3.)$$

$$F = 10,04$$

Wartość z tablic dla testu Fishera – Snedecora [165]: $F_{kr} = 10,04$

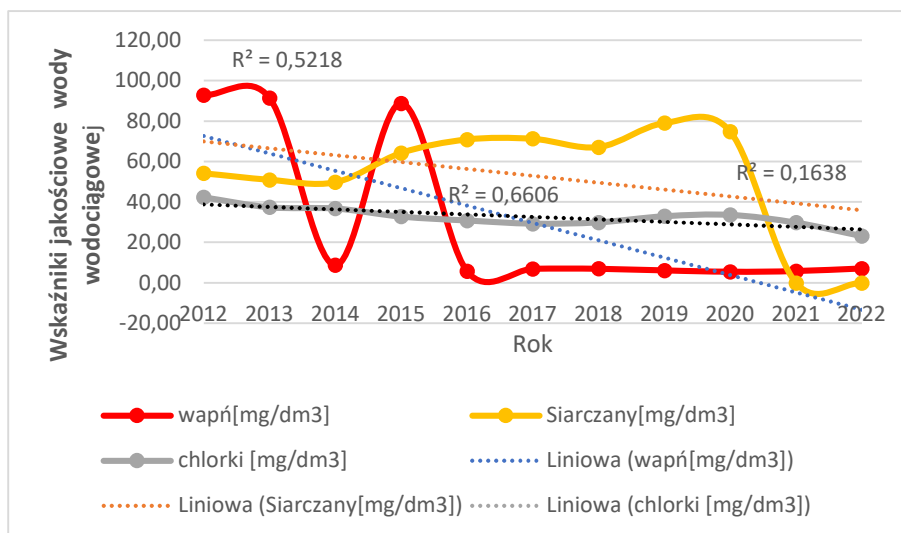
Przy założeniu, że $R^2 > 0,51$ wówczas $F > F_{kr}$

9.1 Bolechowice - jakość wody



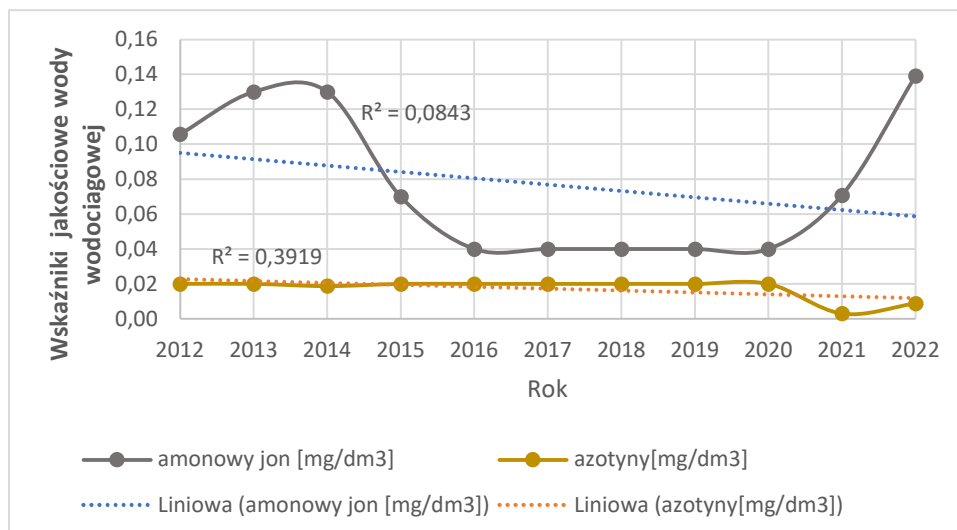
Rys. 9.1 Średnie roczne wartości: zasadowość og. dla ujęcia Bolechowice

Rys. 9.1 przedstawia średnie roczne wartości zasadowości ogólnej dla ujęcia Bolechowice. Przez 9 lat utrzymuje się ona w granicach 150[mg/dm³] do 190[mg/dm³], swoją największą wartość osiąga w 2022r. przekraczając wartość 200[mg/dm³]. Linia trendu wskazuje na tendencję wzrostu tej wartości w czasie.



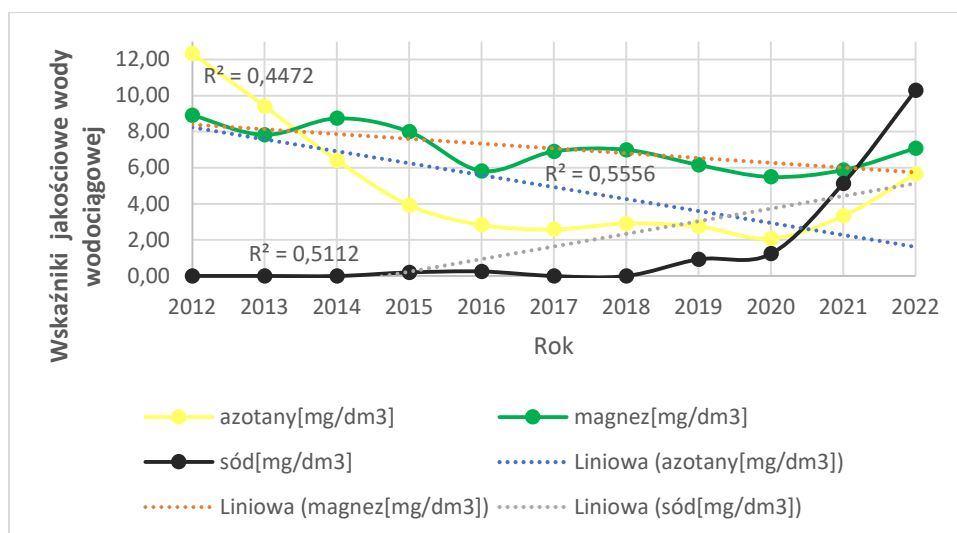
Rys. 9.2 Średnie roczne wartości: jony wapnia, siarczany, chlorki dla ujęcia Bolechowice

Na rys. 9.2 przedstawiono średnie roczne wartości dla jonów wapnia, siarczanów oraz chlorków. W przypadku jonów wapnia największą wartość obserwuje się w 2012r. Do 2015r. wartości stężenia tego pierwiastka są zmienne. Od 2016r. stężenie jonów wapnia znacznie maleje i taki stan utrzymuje się do 2022r. Siarczany w wodzie wodociągowej ujęcia Bolechowice osiągają wartości od 49,83mg/dm³ do maksymalnie 79,08mg/dm³ w 2019r. w 2021r. oraz w 2022r. w badanej wodzie nie pojawiają się siarczany. Zawartość chlorków w badanej wodzie największą wartość – 42,33mg/dm³ w 2012r. zaś najmniejszą w 2022r. widoczna jest tendencja spadkowa zawartości tego pierwiastka w wodzie z ujęcia Bolechowice. Linia trendu dla zawartości w wodzie jonów wapnia oraz siarczanów wykazuje tendencję spadkową. Chlorki natomiast utrzymują w miarę stałe wartości, jednak przy R² jego wartości stężeni mają tendencję spadkową w czasie.



Rys. 9.3 Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Bolechowice

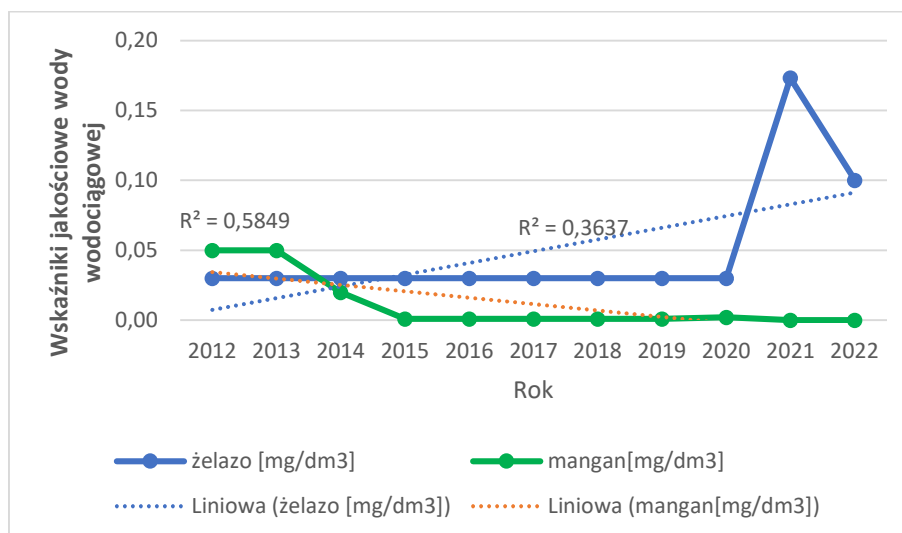
Na rys. 9.3 przedstawiono średnie roczne wartości amonowego jonu oraz azotynów dla ujęcia Bolechowice. Amonowy jon od 2012r. do 2014r. przyjmuje w miarę stałe wartości utrzymujące się na poziomie ok 0,13mg/dm³. Przez kolejnych 6 lat widoczny jest spadek stężenia amonowego jonu do 0,04mg/dm³. 2021-2022r. to kolejny wzrost zawartości amonowego jonu w wodzie wodociągowej. Azotyny w wodzie utrzymują się na stałym poziomie nie przekraczającym 0,03mg/dm³. Współczynnik R² jest zbyt niski, aby mówić o zachowaniu tendencji spadkowej dla wartości amonowego jonu oraz stałej dola azotynów na przestrzeni czasu.



Rys. 9.4. Średnie roczne wartości: azotany, jony magnezu, jony sodu dla ujęcia Bolechowice

Na rys. 9.4 przedstawiono średnie roczne wartości dla azotanów, magnezu oraz jonów sodu dla ujęcia Bolechowice. Liczba azotanów z ponad 12mg/dm³ znacznie spada do 2016r. do wartości poniżej 4mg/dm³. Następnie utrzymuje się na podobnym poziomie do 2020r.

wzrastając zaledwie do 6mg/dm³ w 2022r. Linia trendu dla azotanów pokazuje spadek wartości w czasie. Jony magnezu w tej wodzie utrzymuje stałe wartości dla badanych 10 lat. Jony sodu przez pierwsze 8 lat badań zachowuje stałe wartości. Następnie wzrasta do ponad 10mg/dm³ co nie wpływa na pogorszenie jakości wody wodociągowej dla ujęcia Bolechowice. Chociaż tendencja wzrostu stężenia sodu w ostatnich latach przy współczynniku R² przyjmującym wartość poniżej 0,5 nie jest statystycznie istotna, to jednak warta odnotowania.

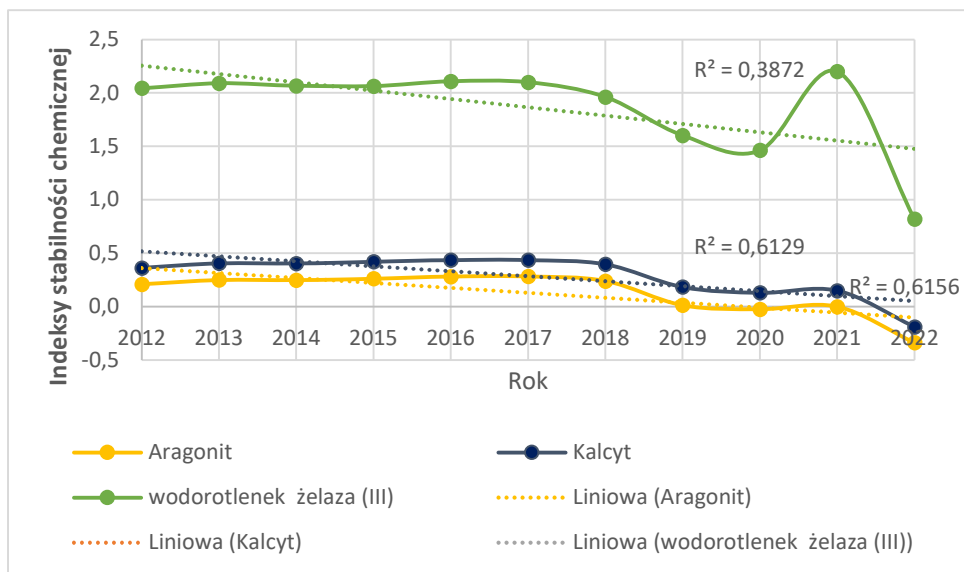


Rys. 9.5. Średnie roczne wartości: jony żelaza, jony manganu dla ujęcia Bolechowice

Na rys. 9.5. przedstawia średnie roczne wartości jonów żelaza oraz jonów manganu dla ujęcia Bolechowice. Jony żelaza do 2020r. przyjmuje stałe wartości oscylując w granicach 0,03mg/dm³. W 2021r. osiąga najwyższą wartość która jest bliska przekroczenia normy dla wody pitnej. Linia trendu wykazuje tendencję rosnącą dla tego wskaźnika. Patrząc na jony manganu do 2015r. obserwuje się nagły spadek do 0mg/dm³ po czym wartości utrzymują się na stałym poziomie.

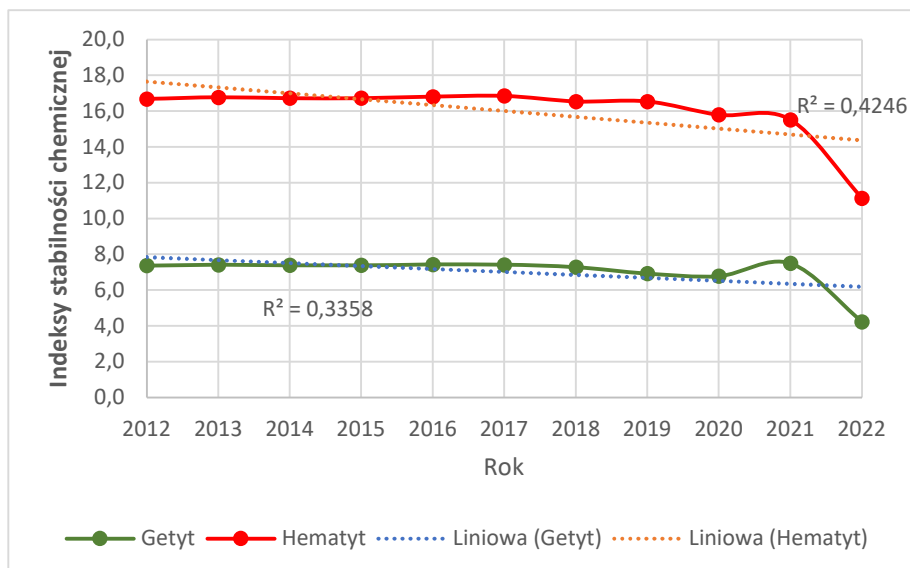
9.1.1 Bolechowice – stabilność chemiczna wody

Indeksy stabilności chemicznej wody zostały obliczone w programie komputerowym PHREEQC dzięki wprowadzeniu informacji o wynikach przedstawiających jakość wody dla badanego ujęcia.



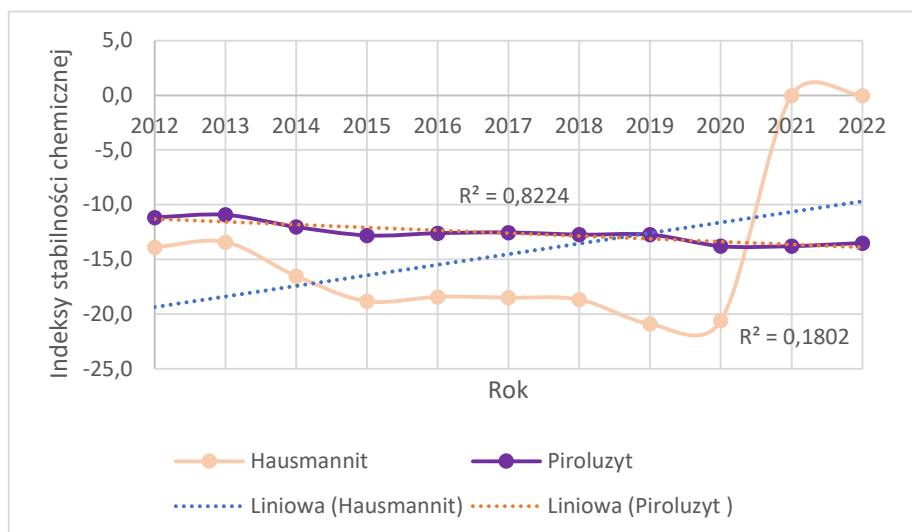
Rys.9.6. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza dla ujęcia Bolechowice

Na rys. 9.6. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza (III) dla ujęcia Bolechowice. Są to minerały, które w większości będą się wytrącać z wody. Do 2018r. zawartość aragonitu utrzymuje się na stałym poziomie. W 2019r. obserwuje się spadek tej wartości. Jednak utrzymuje się ona w granicach -0,5 co świadczy o tym, że woda z tym minerałem pozostaje w równowadze. Podobna sytuacja jest z kalcytem. Wodorotlenek żelaza (III) również do 2018r. zachowuje stałe wartości, jednak są one na poziomie, który nie daje mu równowagi z wodą. Sytuacja zmienia się i wartość zaczyna spadać do wartości bliższej zera. Odnotowuje się jeszcze pojedynczy wzrost indeksu stabilności chemicznej w 2021r. i osiąga ona najwyższą wartość w badanym okresie z wynikiem 2,2. Wartość współczynnika R^2 jest stosunkowo niska, więc można wnioskować, że tendencja spadkowa linii trendu, gdzie wartości dążą do zera nie zapewni wodorotlenkowi żelaza (III) dojścia do stanu równowagi z wodą.



Rys. 9.7. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Bolechowice

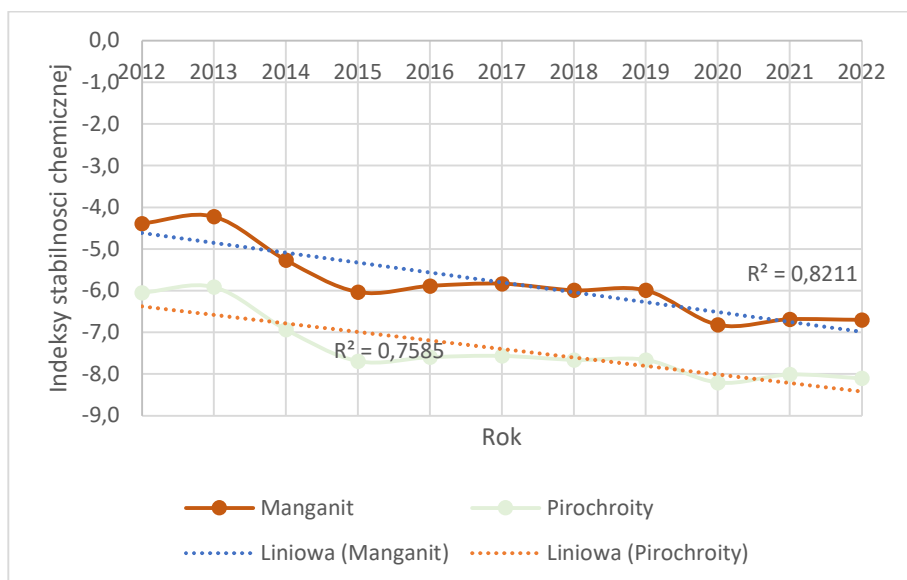
Na rys. 9.7. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak getyt oraz hematyt. Są to minerały, które będą się z wody wytrącać, ponieważ ich wartości są dodatnie. Getyt osiąga w miarę stałe wartości do 2020r. po czym po wzroście w 2021r. wartości indeksów stabilności chemicznej zaczynają spadać co oznacza, że dążą do 0, a tym samym do pozostawiania w równowadze z wodą. Sytuacja z hematytem jest podobna do getytu. Linia trendu dla obu minerałów jest zbyt niska, aby mówić o tendencji spadkowej w czasie.



Rys. 9.8. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: hausmanit oraz piroluzyt dla ujęcia Bolechowice

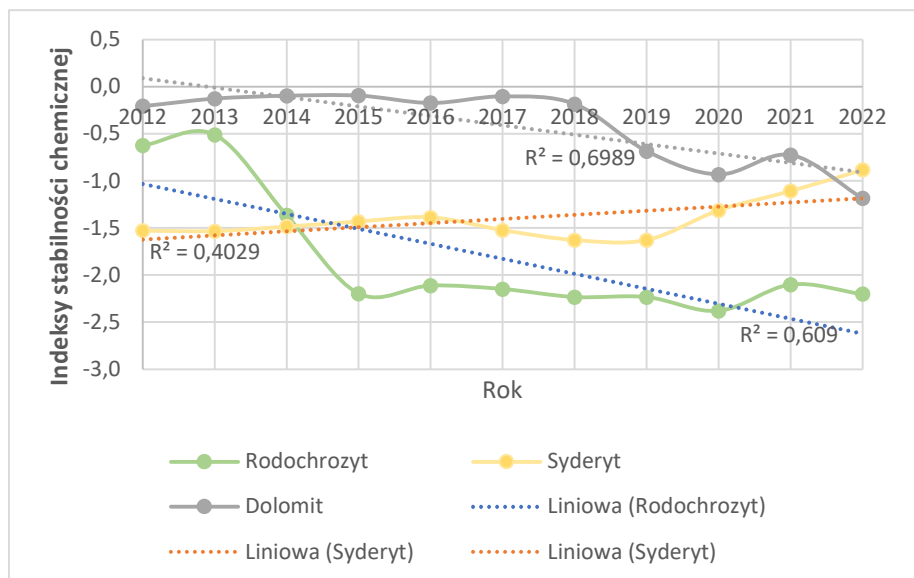
Na rys. 9.8. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak hausmanit oraz piroluzyt. Są to minerały, które będą w większości rozpuszczać się w wodzie, ponieważ ich wartości są ujemne.

Indeksy stabilności dla piroluzyt są stałe na przestrzeni czasu i nie pozostawiają go w równowadze z wodą. R^2 dla tego minerału wskazuje, że będzie się on zawsze rozpuszczał w wodzie na przestrzeni czasu. Hausmanit na przestrzeni lat oddala swoje wartości indeksów stabilności od zera. W 2021r. oraz w 2022r. uzyskuje wartość równą 0 co sprawia, że pozostaje on w równowadze z wodą. Jednak współczynnik R^2 jest dosyć niski, więc nie można określić, że linia trendu jest rosnąca.



Rys. 9.9. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroity dla ujęcia Bolechowice

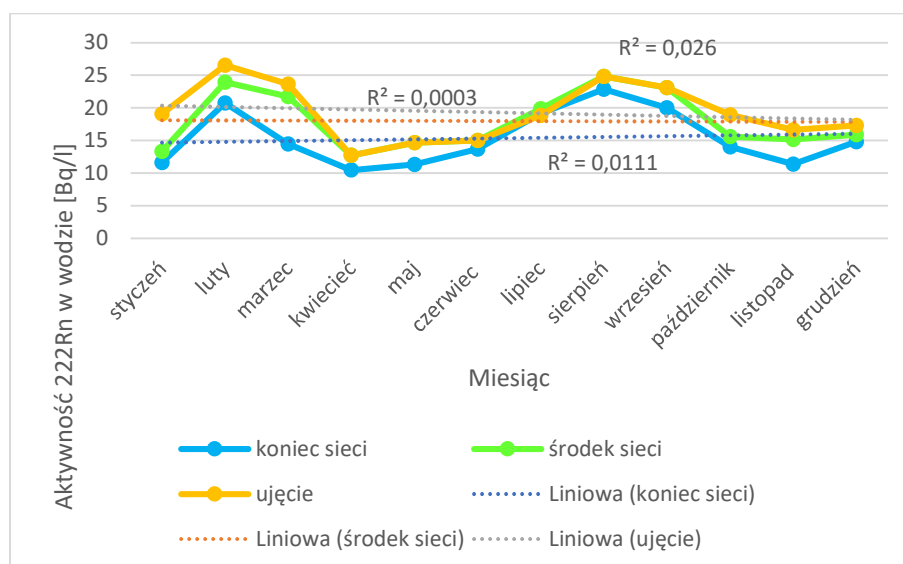
Na rys. 9.9. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak manganit oraz pirochroity. Są to minerały, które będą się w wodzie rozpuszczać. Manganit przyjmuje wartości poniżej -4, natomiast pirochroity poniżej -6. Dla obu minerałów linia trendu przy dosyć wysokim R^2 pokazuje tendencję spadkową co wskazuje na to, że nie ma możliwości, aby pozostawały one w równowadze z wodą.



Rys. 9.10. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: dolomit, syderyt, rodochrozyt dla ujęcia Bolechowice

Na rys. 9.10. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak dolomit, syderyt, rodochrozyt. Są to minerały, które w wodzie będą się rozpuszczać. Dolomit pozostaje w równowadze z wodą do 2018r. następnie jego wartości indeksów stabilności chemicznej maleją, co oznacza, że oddala się od pierwotnego stanu i jego stabilność się pogarsza. Syderyt osiąga maksymalną wartość -1,5 w 2012r. i podobny stan utrzymuje się do 2019r. od 2020r. zaczyna wzrastać i dążyć do wartości bliższej -0,5. Jednak przy za niskiej wartości R^2 tendencja wzrostu jest mało istotna.

9.1.2. Bolechowice – aktywność ^{222}Rn w wodzie

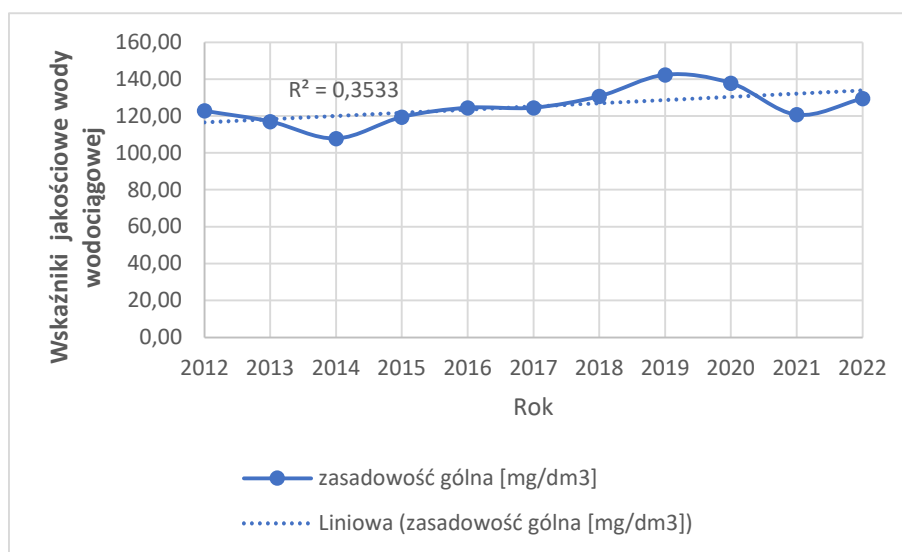


Rys. 9.11. Aktywność ^{222}Rn – ujęcie Bolechowice

Na rys. 9.11 przedstawiono aktywność ^{222}Rn dla ujęcia Bolechowice, badaną przez okres 12 miesięcy w 2022r. dla 3 wybranych punktów na sieci – ujęcie, środek sieci oraz koniec.

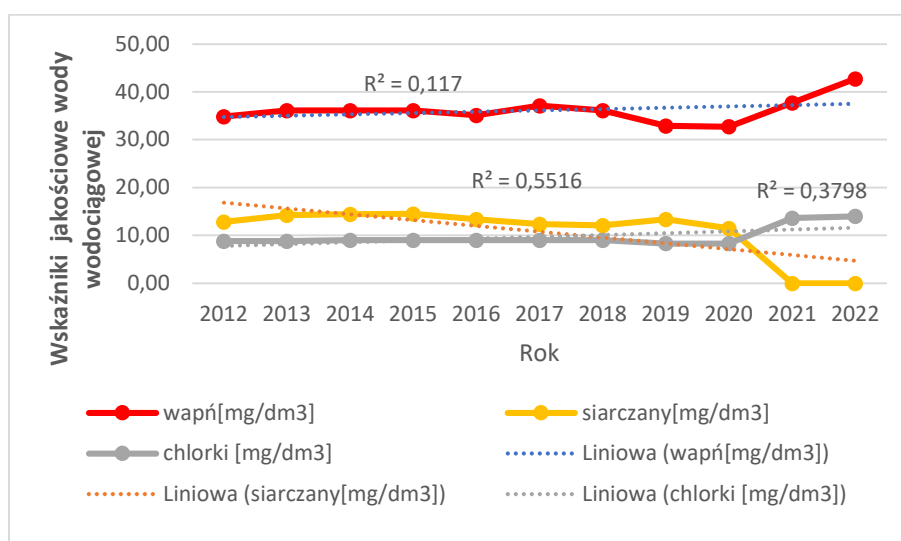
Prowadzone badania wykazały, że woda z ujęcia wykazywała najwyższą aktywność radonu w wodzie wodociągowej, natomiast pobierana ze środka sieci miała już niższą wartość, a dla końca sieci najniższą. Dzieje się tak za sprawą ucieczki radonu do powietrza. Najwyższa wartość to 26,55 Bq/l. Nie jest to jednak wartość, która zagraża potencjalnemu odbiorcy w spożywaniu tej wody. Po przegotowaniu pierwiastek ten jest z niej całkowicie usuwany.

9.2 Kołomań – jakość wody



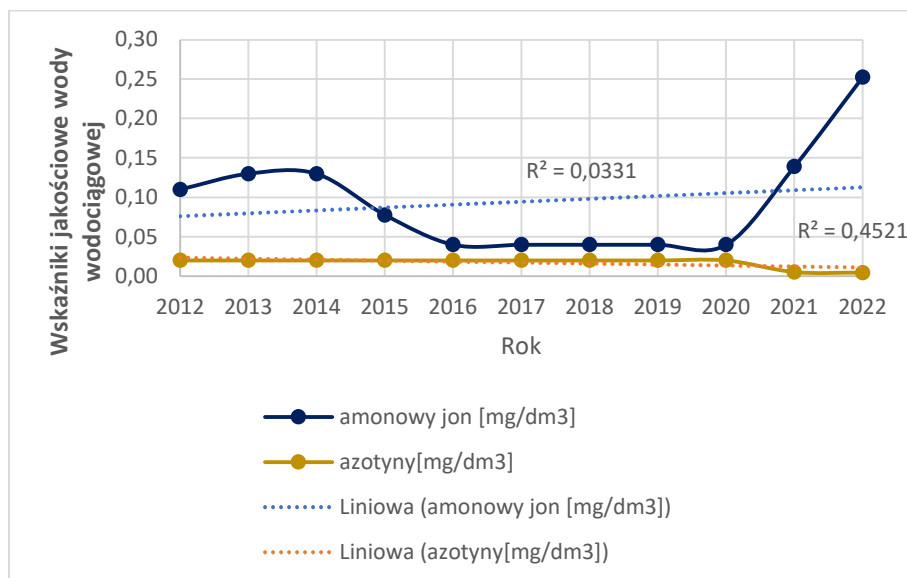
Rys. 9.12. Średnie roczne wartości: zasadowość ogólna dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.12. przedstawiono średnie roczne wartości zasadowości ogólnej dla ujęcia Kołomań. Utrzymuje się ona przez 9 lat w granicach 150mg/dm³ do 190mg/dm³, swoją największą wartość osiąga w 2022r. przekraczając wartość 200mg/dm³. Linia trendu wskazuje na zachowanie nieistotnych zmian wartości tego pierwiastka w czasie.



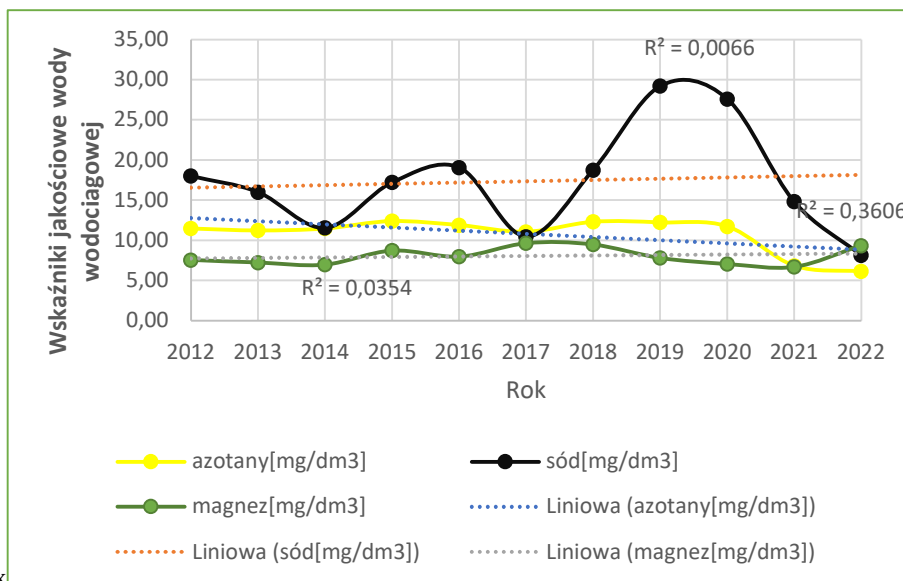
Rys. 9.13. Średnie roczne wartości: jony wapnia, siarczanów oraz chlorków dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.13. przedstawiono średnie roczne wartości jonów wapnia, siarczanów oraz chlorków w wodzie dla ujęcia Kołomań. W przypadku wapnia największą wartość obserwuje się w 2012r. Do 2015r. wartości stężenia tego pierwiastka są zmienne. Od 2016r. stężenie wapnia znacznie maleje i taki stan utrzymuje się do 2022r. Siarczany w wodzie wodociągowej ujęcia Bolechowice osiągają wartości od 49,83mg/dm³ do maksymalnie 79,08mg/dm³ w 2019r. w 2021r. oraz w 2022r. w badanej wodzie nie pojawiają się siarczany. Zawartość chlorków w badanej wodzie największą wartość – 42,33mg/dm³ w 2012r. zaś najmniejszą w 2022r. widoczna jest tendencja spadkowa zawartości tego pierwiastka w wodzie z ujęcia Bolechowice. Linia trendu dla wapnia oraz chlorków pokazuje trend wzrostu, jednak nie jest on istotny przy niskim współczynniku R², natomiast linia trendu dla siarczanów jest malejąca, przy współczynniku R² powyżej 0,5 może to wskazywać na pojawianie się jego śladowych ilości na przełomie czasu w wodzie.



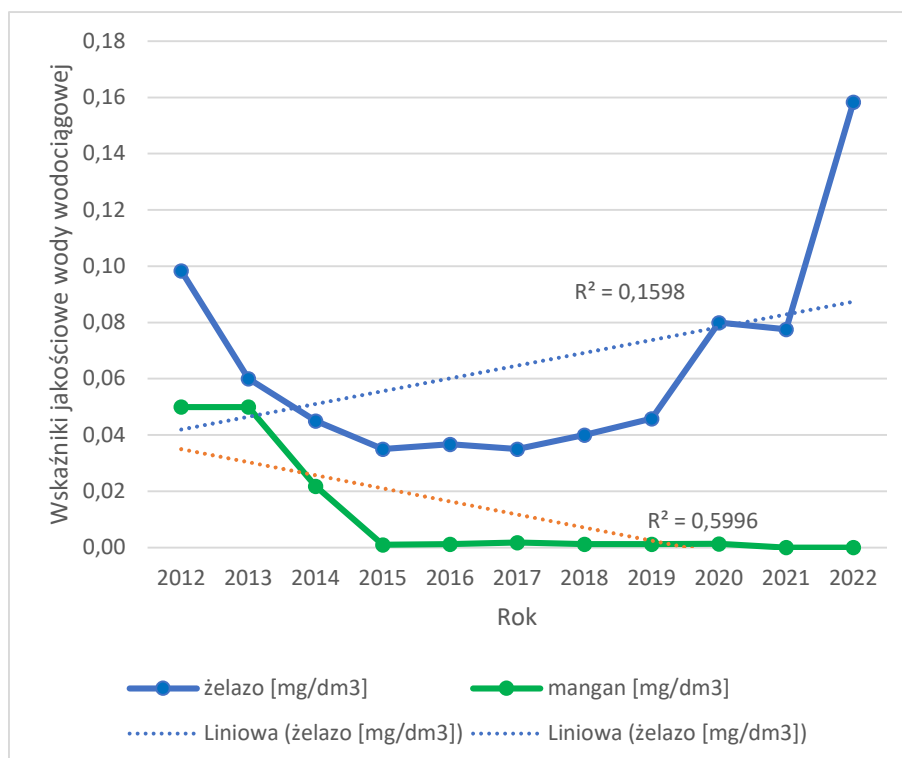
Rys. 9.14. Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.14. przedstawiono średnie roczne wartości amonowego jonu oraz azotynów w wodzie dla ujęcia Kołomań. Amonowy jon przyjmuje do 2021r. wartości poniżej 0,15mg/dm³. Okres od 2016r. do 2020r. to czas, gdzie stężenie tego związku w wodzie nie przekracza 0,05mg/dm³. W 2022r. osiąga najwyższe stężenie z wynikiem 0,25mg/dm³. Dla azotynów wartości nie przekraczają wartości 0,2mg/dm³. Od 2021r. obserwuje się spadek tej wartości. Linia trendu wskazuje na zachowanie stałych wśród wartości dla azotynów. Linia trendu dla amonowego jonu jest rosnąca, jednak przy stosunkowo niskim współczynniku R² nie jest ona istotna w odniesieniu do czasu.



Rys. 9.15. Średnie roczne wartości: azotany, sól oraz jony magnezu dla ujęcia Kołomań

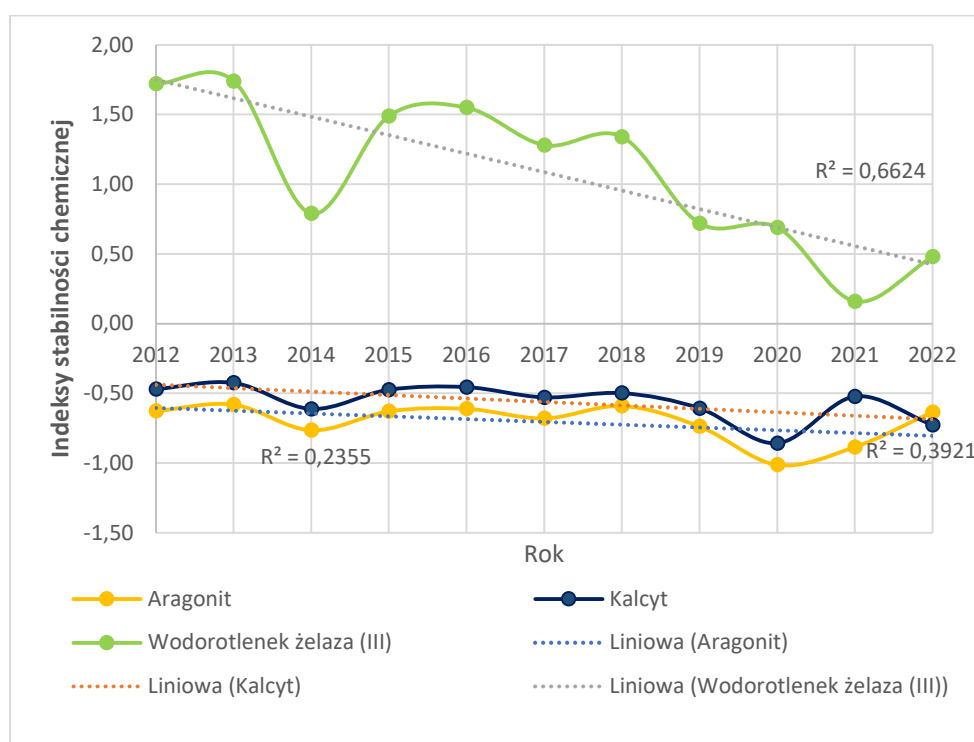
Na rys. 9.15. przedstawiono średnie roczne wartości azotanów, jonów sodu oraz jonów magnezu w wodzie dla ujęcia Kołomań. Dla jonów sodu wartości są zmienne na przestrzeni lat. Jednak nie przekraczają dozwolonej. W przypadku sodu oraz magnezu wartości trzymają się na podobnym poziomie w odniesieniu do badanych lat. Współczynnik R^2 jest dla wszystkich omawianych na tym rysunku wskaźników jakościowych zbyt niski, aby mówić o istotności zachowania linii trendu w czasie.



Rys. 9.16. Średnie roczne wartości: jony żelaza oraz jony manganu dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.16. przedstawiono średnie roczne wartości jonów żelaza oraz jonów manganu w wodzie dla ujęcia Kołomań. W przypadku jonów żelaza widoczny jest znaczny spadek, a następnie od 2014r. do 2019r. wartości zachowują w miarę stałą wartość nie przekraczającą $0,05\text{mg}/\text{dm}^3$. Od 2020r. obserwuje się znaczny wzrost tej wartości. Jednak nie przekracza ona dopuszczalnej dawki. Linia trendu pokazująca wzrost nie jest istotna przy stosunkowo niskim współczynniku R^2 . Jony manganu w wodzie w najwyższym stężeniu $0,05\text{mg}/\text{dm}^3$ pojawia się w badanej wodzie na początku badanego okresu czyli rok 2012 oraz 2013. Następnie widoczny jest spadek wartości do 2015r., od którego to już stężenie tego pierwiastka jest bliskie zeru dla badanego ujęcia, przy znaczącej linii trendu ze spadkiem wartości w czasie.

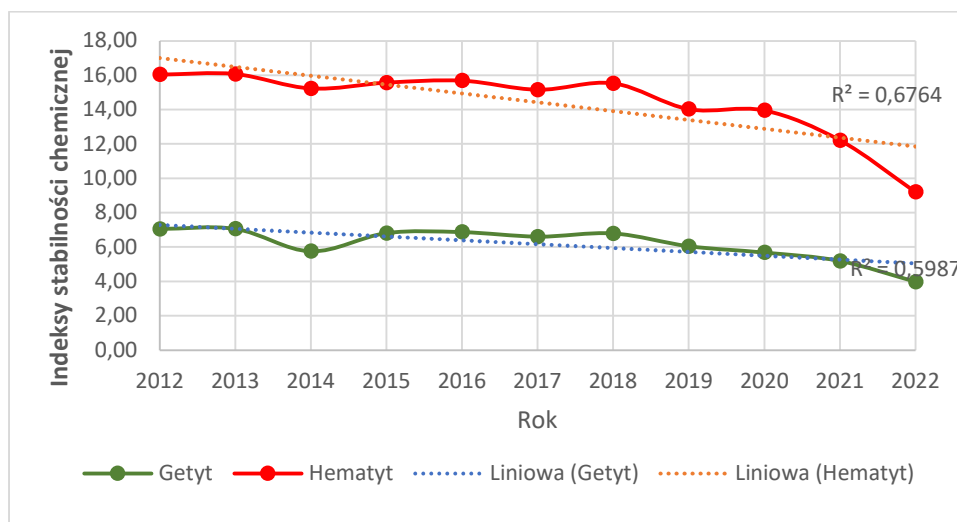
9.2.1 Kołomań – stabilność chemiczna



Rys. 9.17. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza dla ujęcia Kołomań

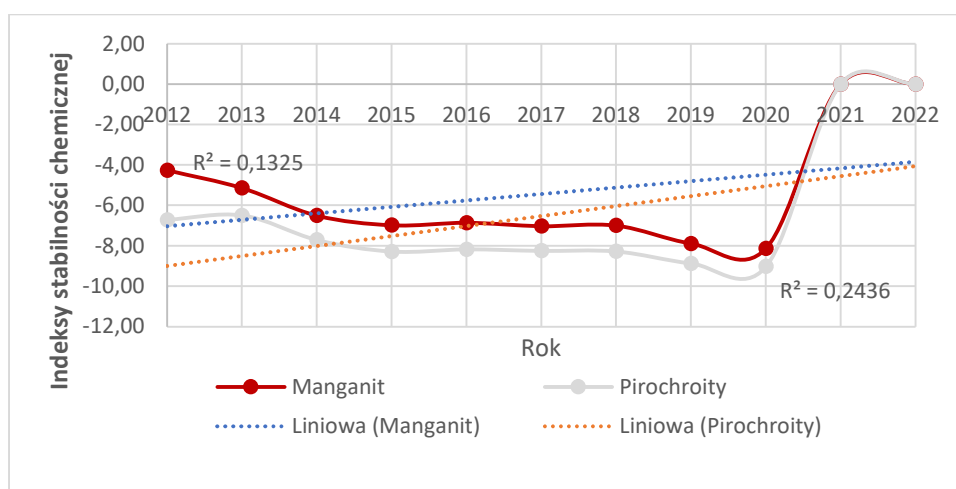
Na rys. 9.17. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza (III) dla ujęcia Kołomań. Są to minerały, które w większości będą się wytrącać z wody. Do 2018r. zawartość aragonitu utrzymuje się na stałym poziomie. W 2019r. obserwuje się spadek tej wartości. Jednak utrzymuje się ona w granicach $-0,5$ co świadczy o tym, że woda z tym minerałem jest bliska stanu równowagi. Podobna sytuacja jest z kalcytem. Wodorotlenek żelaza (III) również do 2018r. zachowuje stałe wartości, jednak są one na poziomie, który nie daje mu

równowagi z wodą. Sytuacja zmienia się i wartość zaczyna spadać do wartości bliższej zeru. Odnotowuje się jeszcze pojedynczy wzrost indeksu stabilności chemicznej w 2021r. i osiąga ona najwyższą wartość w badanym okresie z wynikiem 2,2. Wartość współczynnika R^2 jest wysoka, co sprawia, że tendencja spadkowa linii trendu spowoduje, że wodorotlenek żelaza (III) dojdzie do stanu równowagi z wodą.



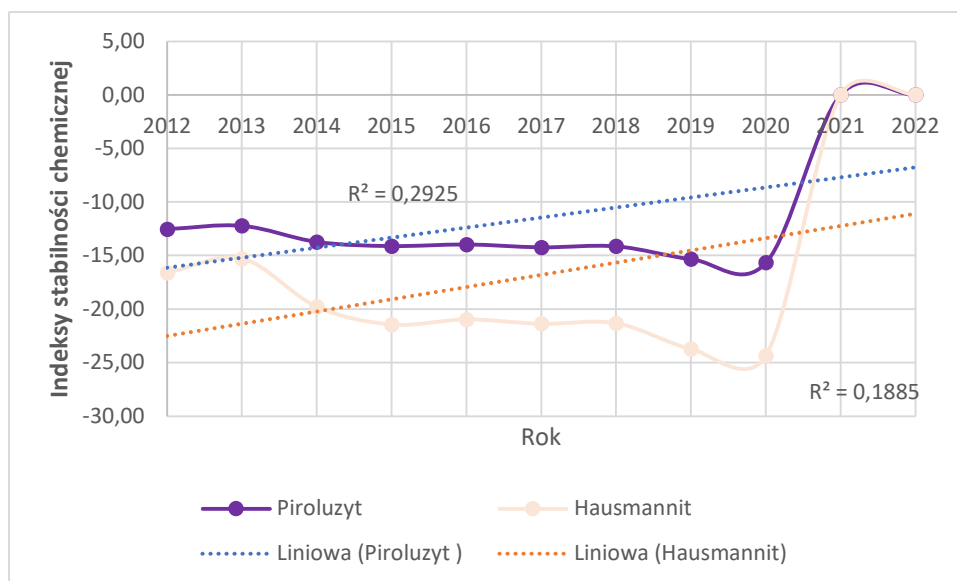
Rys. 9.18. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.18. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak getyt oraz hematyt. Są to minerały, które będą się z wody wytrącać, ponieważ ich wartości są dodatnie. Getyt zachowuje wartości indeksów stabilności chemicznej w przedziale 4-8 z tendencją spadku w czasie. W przypadku hematytu jest to przedział 10-16 również z istotną tendencją do spadku w czasie.



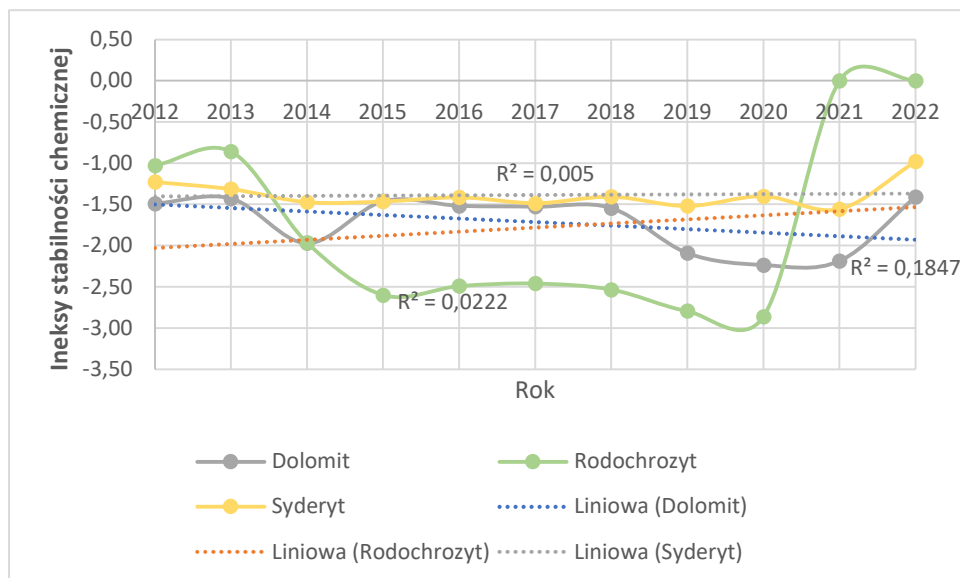
Rys. 9.19. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroity dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.19. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak manganit oraz pirochroity. Są to minerały, które będą się w wodzie rozpuszczać. Manganit przyjmuje wartości poniżej -4, natomiast pirochroity poniżej -6. Wartości dla obu minerałów w czasie dążą do zera po 2020 r. oznacza to, że dwóch ostatnich badanych latach pozostają te minerały w równowadze z wodą. Dla obu minerałów linia trendu pokazuje tendencję do wzrostu w czasie jednak przy niskim współczynniku R^2 nie są one istotne.



Rys. 9.20. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: piroluzyt, hausmanit dla ujęcia Kołomań

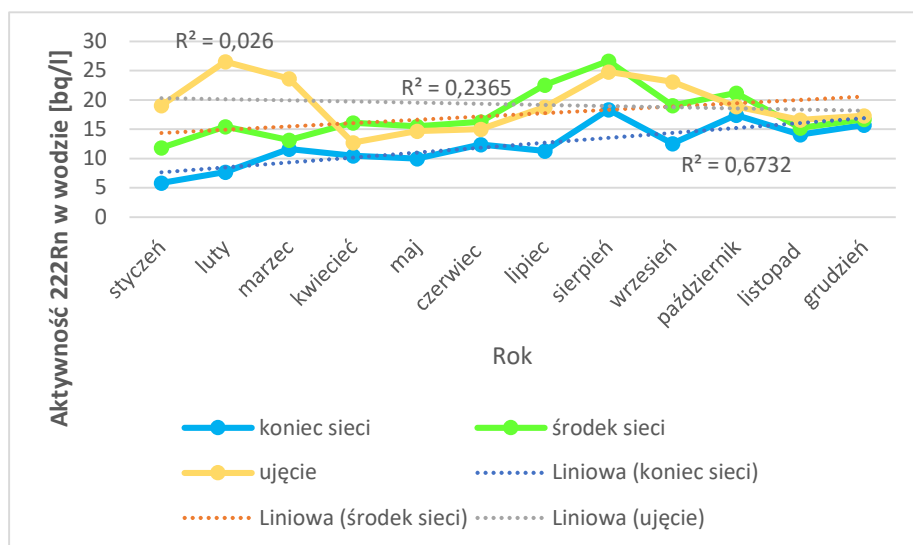
Na rys. 9.20. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak hausmanit oraz piroluzyt. Są to minerały, które będą w większości rozpuszczać się w wodzie, ponieważ ich wartości są ujemne. Indeksy stabilności dla piroluzytu są stałe do 2020 r. Podobna sytuacja jest w przypadku hausmanitu. 2021 r. oraz 2022 r. to czas kiedy oba minerały pozostają w równowadze z wodą. Linia trendu wskazująca na wzrost wartości dla obu wskaźników w czasie nie jest istotna przy niskim współczynniku R^2 .



Rys. 9.21 Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Kołomań

Na rys. 9.21 przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla takich minerałów mogących pojawić się w wodzie jak dolomit, syderyt, rodochrozyt. Są to minerały, które w wodzie będą się rozpuszczać. Wartości indeksów dla dolomitu nie przekraczają -2; dla syderytu -1,5. Najbardziej rozproszone punkty są dla rodochrozytu. 2012 i 2013 r. wartość indeksu nie przekracza -1, następnie spada do 2015 r. do -2,5 i utrzymuje się do 2020 r. 2021 i 2022 r. to czas kiedy rodochrozyt pozostaje w równowadze z wodą. Linie trendu dla wszystkich pokazanych minerałów na powyższym wykresie nie są istotne z racji niskiego współczynnika R^2 .

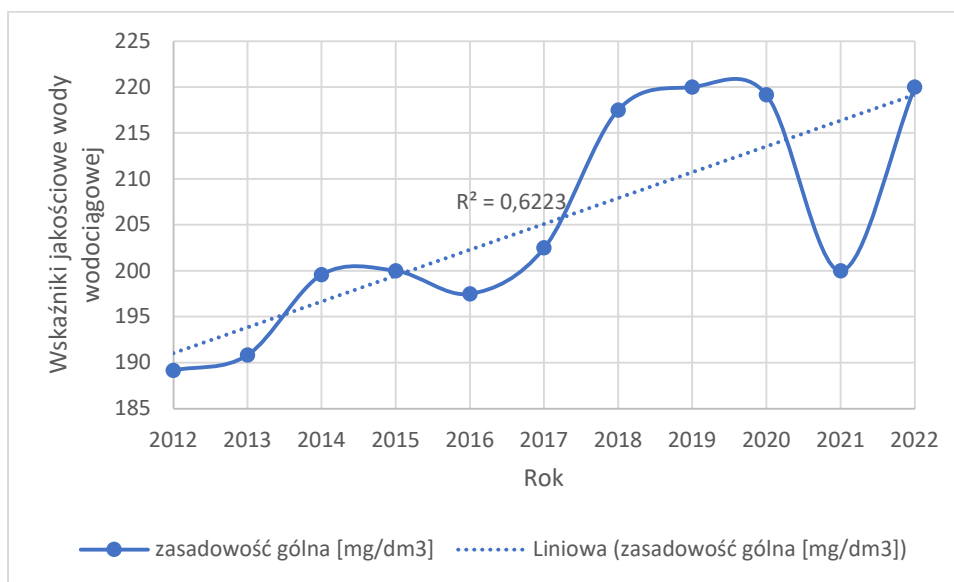
9.2.2 Kołomań – aktywność ^{222}Rn w wodzie



Rys. 9.22. Aktywność ^{222}Rn w wodzie dla ujęcia Kołomań

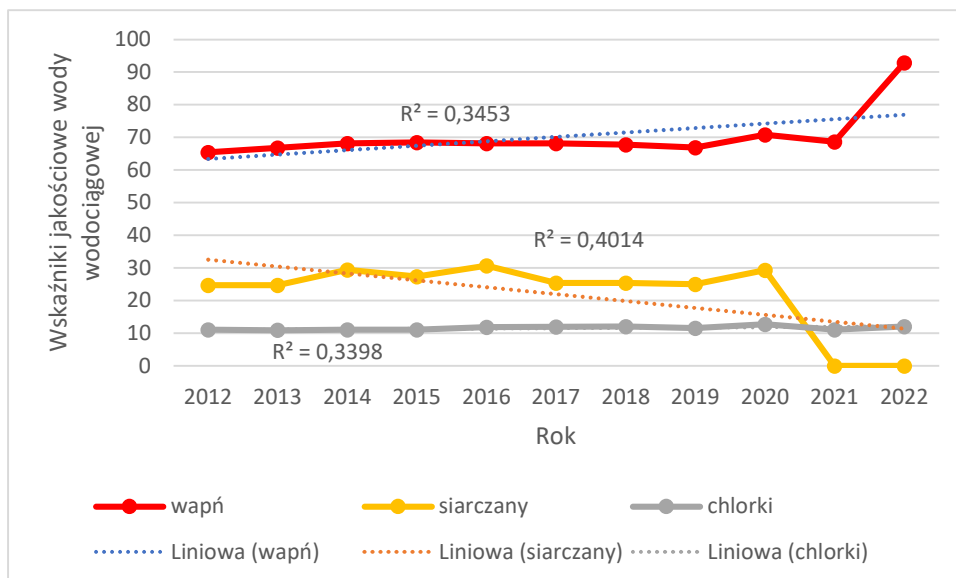
Na rys. 9.22 przedstawiono aktywność ^{222}Rn dla ujęcia Kołomań, badaną przez okres 12 miesięcy w 2022r. dla 3 wybranych punktów na sieci – ujęcie, środek sieci oraz koniec. Prowadzone badania wykazały, że woda z ujęcia wykazywała najwyższą aktywność radonu w wodzie wodociągowej, natomiast pobierana ze środka sieci miała już niższą wartość, a dla końca sieci najniższą. Dzieje się tak za sprawą ucieczki radonu do powietrza. Najwyższa wartość to 26,68 Bq/l. Współczynnik R^2 jest najbardziej istotny dla wartości dla końca sieci wodociągowej, sugerowany jest zatem wzrost aktywności wraz z upływem czasu.

9.3 Wola Kopcowa – jakość wody



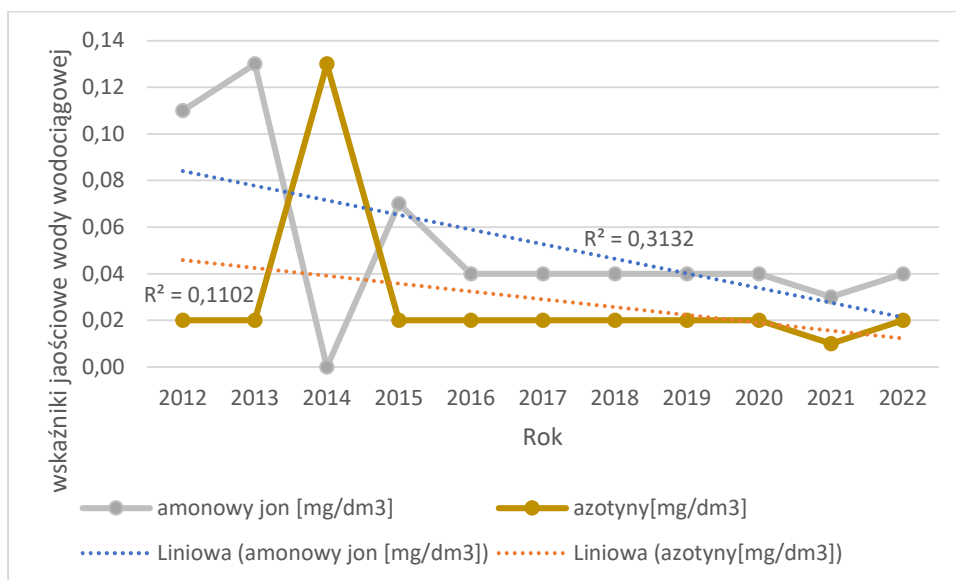
Rys. 9.23. Średnie roczne wartości: zasadowość og. dla ujęcia Wola Kopcowa

Na rys. 9.23 przedstawiono średnie roczne wartości zasadowości ogólnej dla ujęcia Wola Kopcowa. Wykres przyjmuje różne wartości w zakresie od 190 do 220mg/dm³. Po dużym wzroście w 2018 r. do 220mg/dm³, zaś w 2021 r. wartość spada do 200mg/dm³. Widać zmienne wartości w czasie, jednak uwzględniając linię trendu z tendencją wzrostu, można sugerować, że wartości te będą rosły w czasie.



Rys. 24 Średnie roczne wartości wapń, siarczany, chlorki dla ujęcia Wola Kopcowa

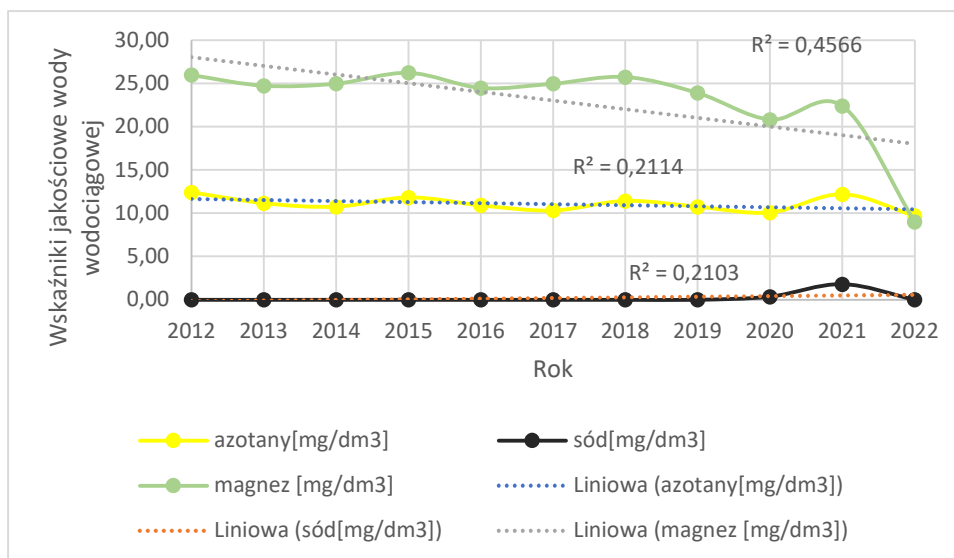
Na rys. 24. przedstawiono średnie roczne wartości jonów wapnia, siarczanów oraz chlorków dla ujęcia Wola Kopcowa. Jony wapnia do 2021 r. wykazuje stałe wartości w granicach od 65 do 70mg/dm³. W 2022 r. obserwuje się znaczny wzrost. Jednak przy niskim współczynniku R² wzrost ten jest mało istotny w czasie. Siarczany zachowują wartości w przedziale od 25 do 30mg/dm³ do 2020 r. następnie w kolejnych badanych lata przyjmują wartości równe 0mg/dm³. Linia trendu wskazuje na spadek wartości w czasie, jednak nie jest istotny przy R² poniżej 0,51.



Rys. 25 Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Wola Kopcowa

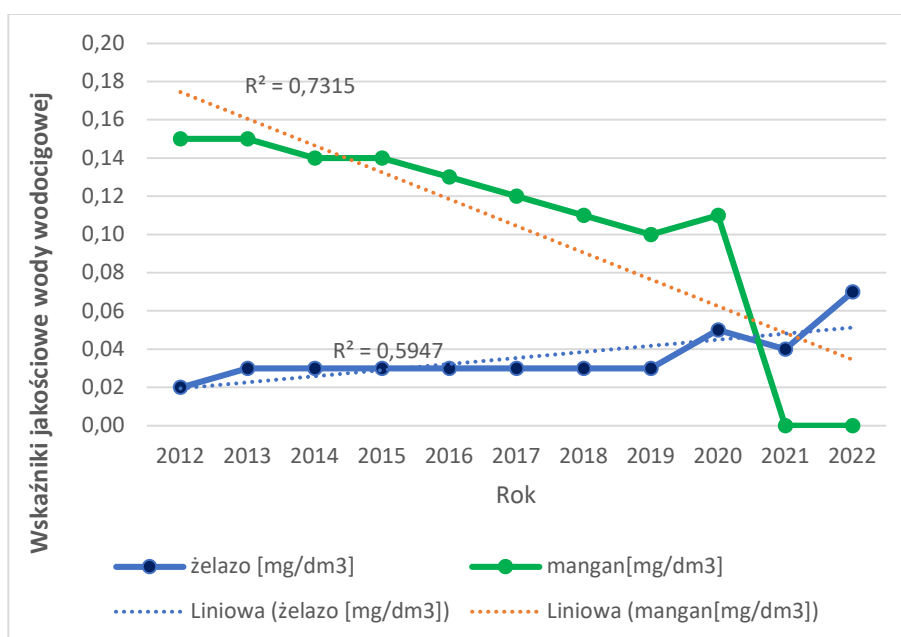
Na rys. 25 przedstawiono średnie roczne wartości amonowego jonu oraz azotynów dla ujęcia Wola Kopcowa. Amonowy jon utrzymując wartość powyżej 0,1mg/dm³ spada do zera w 2014 r. po czym zachowuje wartości bliskie 0,05mg/dm³. W przypadku azotynów po

utrzymaniu stałej, zerowej wartości przez pierwszy dwa lata badania w 2014 r. obserwuje się znaczny wzrost do wartości ponad $0,12\text{mg}/\text{dm}^3$ od 2015 r. zachowując stałe wartości równie bądź bliskie $0,02\text{mg}/\text{dm}^3$. Linia trendu dla obu minerałów przyjmuje tendencję spadkową, która nie jest istotna w czasie z racji zbyt niskiego współczynnika R^2 .



Rys. 26. Średnie roczne wartości: azotany, sód, magnez dla ujęcia Wola Kopcowa

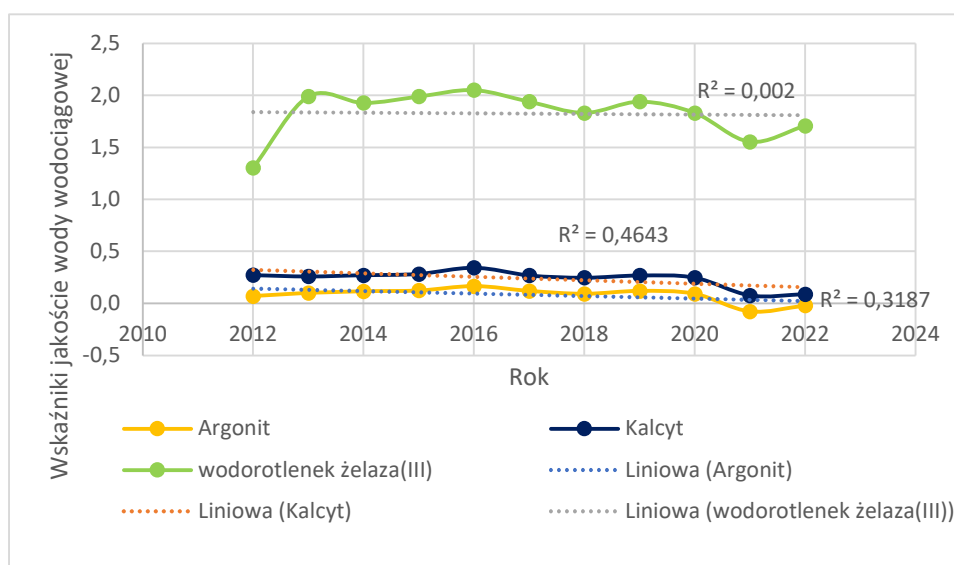
Na rys. 26 przedstawiono średnie wartości dla azotanów, jonów sodu oraz jonów magnezu dla ujęcia Wola Kopcowa. Azotany przyjmują wartości w granicach od 10 do $13\text{mg}/\text{dm}^3$. Sód utrzymuje się na poziomie bliskim $0\text{mg}/\text{dm}^3$. Jony magnezu utrzymuje wartości od 20 do $27\text{mg}/\text{dm}^3$. W 2022 r. widoczny jest znaczny spadek do $9\text{mg}/\text{dm}^3$. Dla magnezu linia trendu wskazuje na możliwość spadku wartości w czasie. Dla azotanów i sodu linia trendu jest nieistotna.



Rys. 27. Średnie roczne wartości: żelazo, mangan dla ujęcia Wola Kopcowa

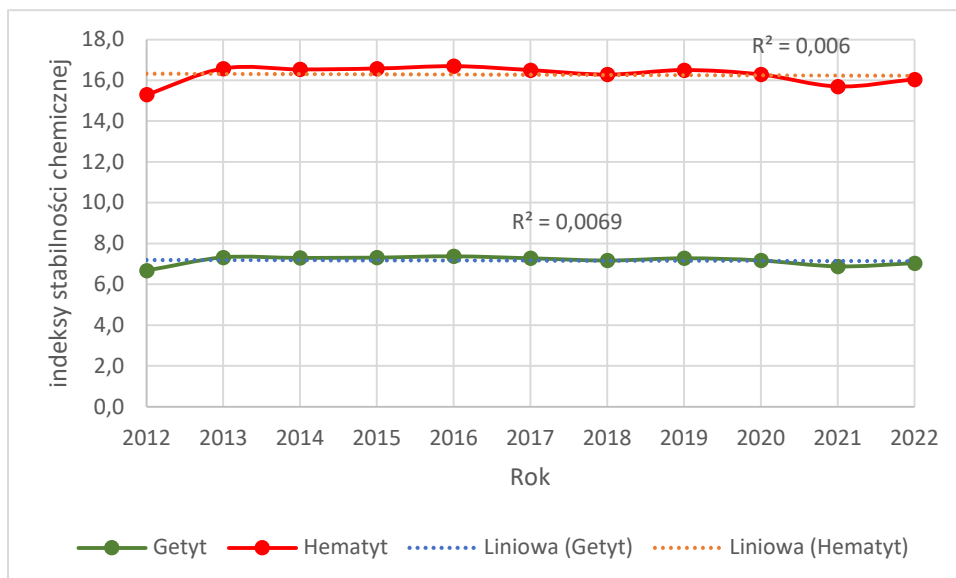
Na rys. 27 przedstawiono średnie roczne wartości dla jonów żelaza oraz jonów manganu dla ujęcia Wola Kopcowa. Żelazo do 2019r. przyjmuje wartości nie przekraczające $0,04\text{mg}/\text{dm}^3$, następnie maksymalnie osiąga wartość $0,07\text{mg}/\text{dm}^3$. Linia trendu dla tego pierwiastka pokazuje tendencje wzrostu w czasie. Zawartość manganu zaś stopniowo maleje od największej wartości $0,15\text{mg}/\text{dm}^3$ do $0\text{mg}/\text{dm}^3$ w 2021 r.

9.3.1 Wola Kopcowa – stabilność chemiczna wody



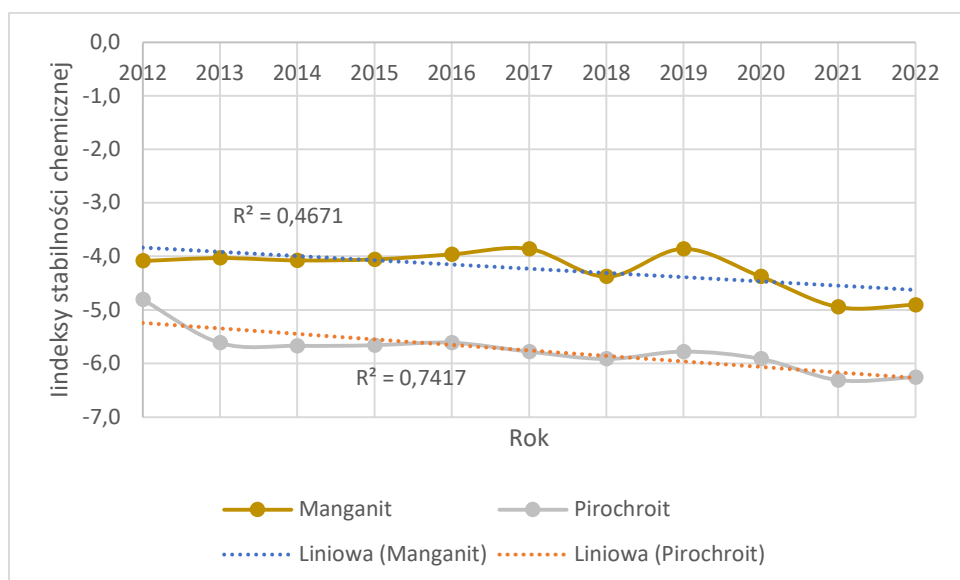
Rys. 28. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza (III) dla ujęcia Wola Kopcowa

Na rys. 28. przedstawiono średnie roczne wartości aragonitu, kalcytu oraz wodorotlenku żelaza (III) dla ujęcia Wola Kopcowa. Są to minerały, które będą się w większości będą się wytrącać z wody. Aragonit oraz kalcyt zachowują równowagę z wodą na przełomie lat 2012-2022 r. Linia trendu wykazuje do zachowania stałych wartości w czasie. Wodorotlenek żelaza(III) mieści się w przedziale od 1,3 do maksymalnie 2. Linia trendu dla wodorotlenku żelaza (III) oraz aragonitu nie wykazuje istotnej stałości w czasie z racji zbyt niskiego współczynnika R^2 .



Rys. 29. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Wola Kopcowa

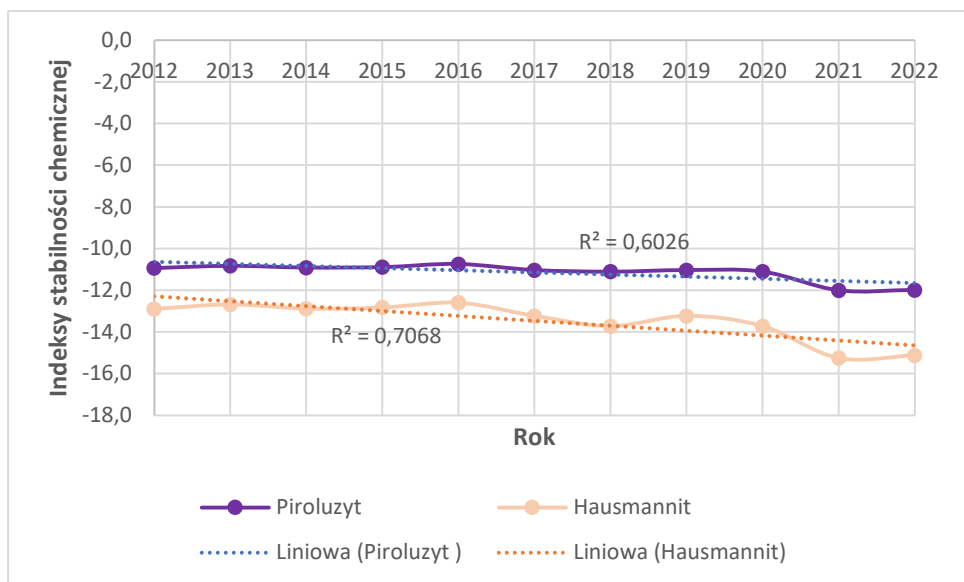
Na rys. 29. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów mogących pojawić się w wodzie jak getyt oraz hematyt dla ujęcia Wola Kopcowa. Oba minerały będą się wytrącać z wody. Getyt zachowuje stałe wartości balansujące w granicach 16. Hematyt zaś w granicach 6. Oba minerały nie pozostają w równowadze w wodzie. Linia trendu pokazuje tendencję do utrzymania się stałych wartości w czasie dla obu minerałów jednak nie jest istotna przy niskim współczynniku R^2 .



Rys. 30. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroit dla ujęcia Wola Kopcowa

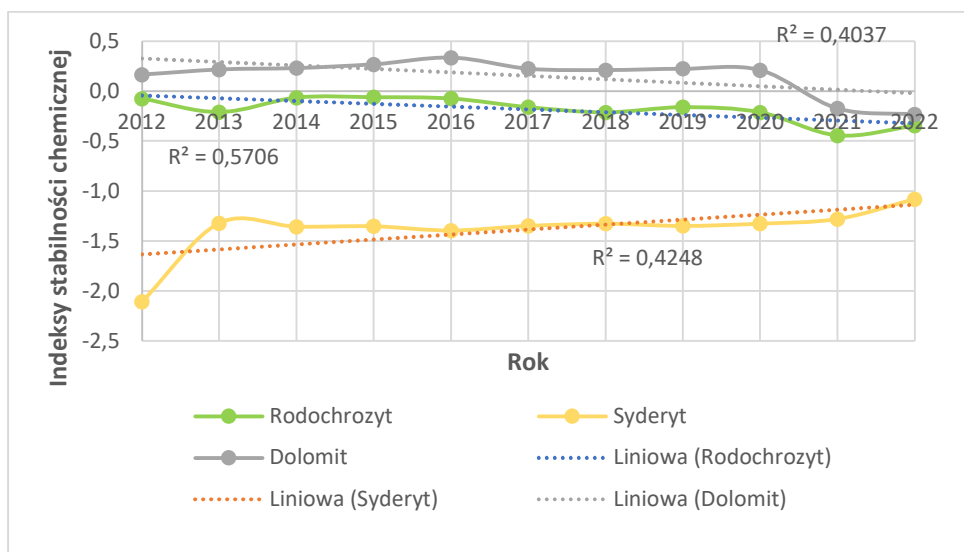
Na rys. 30. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów mogących pojawić się w wodzie jak getyt oraz manganit oraz pirochroit dla ujęcia Wola Kopcowa. Oba minerały będą rozpuszczać się w wodzie. Manganit zachowuje wartości

w granicach od -4,5 do -4. Wartości dla pirochroitu min. osiągają -6,2, zaś maks. -4,8 przy zachowaniu pewnej równowagi na przełomie lat na poziomie wartości ok -6. Linia trendu dla obu minerałów wykazuje tendencję spadkową, co oznacza, że minerały te oddalają się od równowagi z wodą.



Rys. 31. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: piroluzyt, hausmanit dla ujęcia Wola Kopcowa

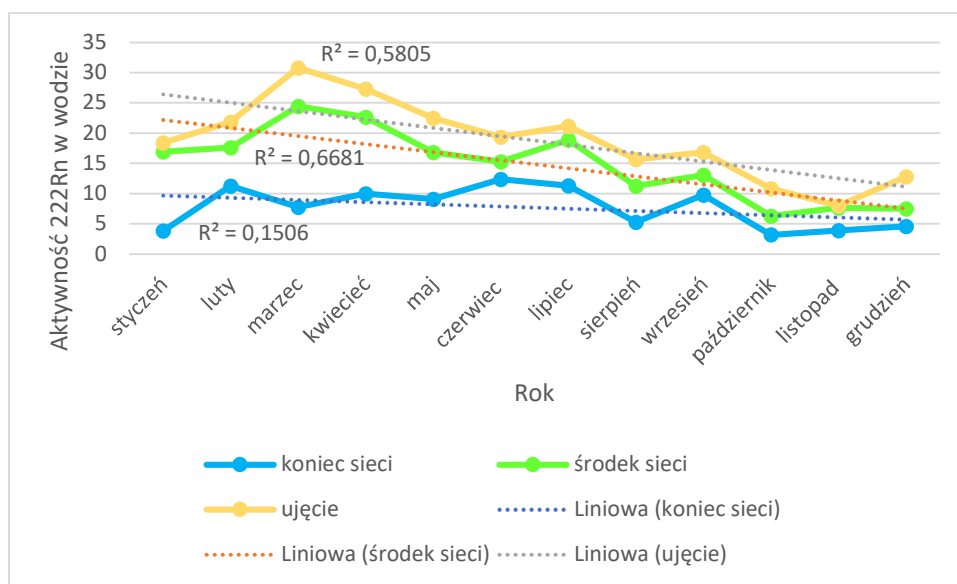
Na rys. 31. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów mogących pojawić się w wodzie jak piroluzyt oraz hausmanit dla ujęcia Wola Kopcowa. Są to minerały, które będą się rozpuszczać w wodzie. Wartości piroluzytu zachowują właściwie stałą wartość na przełomie 10 badanych lat z wynikiem bliskim -11. Hausmanit ma zmienne wartości w granicach od -13 do -15. Linia trendu dla obu minerałów wykazuje tendencję spadkową, co oznacza, że minerały te nie będą pozostawać w równowadze z wodą.



Rys. 32. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: rodochrozyt, syderyt, dolomit dla ujęcia Wola Kopcowa

Na rys. 32. przedstawiono średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów mogących pojawić się w wodzie jak rodochrozyt, syderyt oraz dolomit dla ujęcia Wola Kopcowa. Dolomit może się z wody wytrącać, natomiast rodochrozyt oraz syderyt będą się w niej rozpuszczać. Dolomit z wartościami oscylującymi w granicach 0 – 0,5 zachowuje równowagę z wodą. Rodochrozyt z wartościami w granicach -0,5 – 0 również zachowuje równowagę z badaną wodą. Syderyt w 2012 r. osiąga najniższą wartość równą -2,1. Następnie wartości rosną stopniowo do -1,1 w 2021 r. Linia trendu dla rodochrozytu ma tendencję do zachowania stałych wartości w czasie. Dla syderytu oraz dolomitu linię trendu są nieistotne przy za niskim współczynnikiem R^2 .

9.3.2 Wola Kopcowa – aktywność ^{222}Rn w wodzie



Rys. 9.33. Aktywność ^{222}Rn w wodzie wodociągowej w Woli Kopcowej

Na rys. 9.33. przedstawiono aktywność ^{222}Rn dla ujęcia Wola Kopcowa badaną przez okres 12 miesięcy w 2022r. dla 3 wybranych punktów na sieci – ujęcie, środek sieci oraz koniec. Podobnie jak w przypadku miejscowości Bolechowice oraz Kołomań widać, że na początku badanego ujęcia stężenie ^{222}Rn jest najwyższe. Najwyższa wartość to 30,79 Bq/l. Współczynnik R^2 jest najbardziej istotny dla wartości aktywności radonu dla końca sieci wodociągowej, sugerowany jest zatem spadek aktywności wraz z upływem czasu.

Przedstawione na rys. 9.11.; 9.22. oraz 9.33. wykresy aktywności ^{222}Rn w wodzie wodociągowej dla ujęcia Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa przedstawiają wyniki, dla których wartości w wielu miejscach przekraczają limity EPA – 11Bq/l. Jednak zgodnie

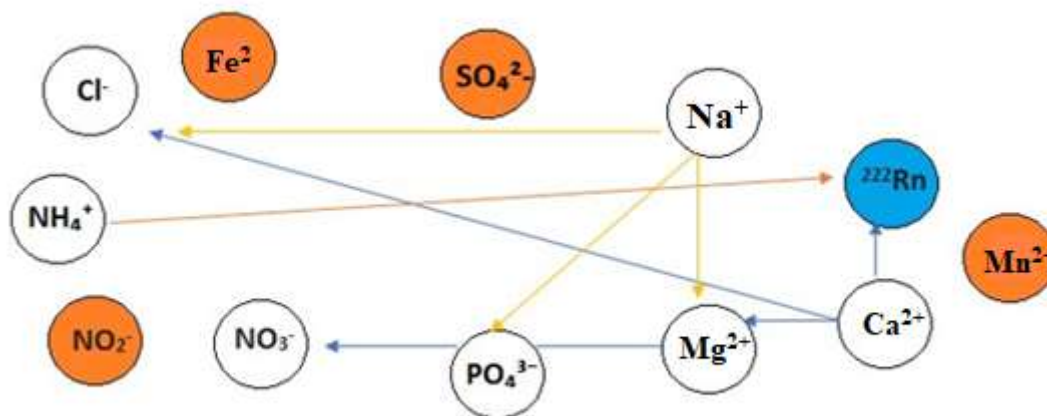
z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi limit ten wynosi 100Bq/l [5].

Hipoteza badawcza druga: Stężenia radonu w sieci wodociągowej są istotnie niższe niż w wodzie bezpośrednio wypływającej z warstwy wodonośnej i nie przekraczają limitów EPA jest potwierdzona dla jednego ujęcia – Wola Kopcowa, dla którego średnia roczna wartość nie przekracza 11Bq/l.

Dla wszystkich omawianych ujęć widoczny jest duży spadek stężenia tego pierwiastka w wodzie wodociągowej wraz z przepływem wody przez sieć wodociągową, co oznacza, że najwyższa aktywność ^{222}Rn w wodzie zawsze, dla każdego z badanych ujęć oraz miesiąca poboru próbek odnotowywana była dla wody pobranej dla pierwszego punktu poboru jakim było ujęcie sieci.

9.4 Opracowanie statystyczne

9.4.1 Model sieci bayesowskich



Rys.9. 34. Model sieci bayesowskich

Na rys. 34. Przedstawiono model sieci, który został stworzony na podstawie wyników otrzymanych z badań wody pod kątem jakościowym wraz z udziałem w niej ^{222}Rn dla 3 badanych ujęć Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa na przełomie 10 lat w celu sprawdzenia, które pierwiastki będą pojawiać się w wodzie wraz z ^{222}Rn . Jak widać na rys. istnieje powiązanie amonowego jonu, a także wapnia z radonem. Żelazo, siarczany, mangan oraz azotyny są poza modelem, co oznacza, że w żaden sposób nie korelują z żadną substancją wprowadzoną do tego układu.

Według sieci bayesowskiej:

^{222}Rn zależy od cech: NH_4^+ oraz Ca^{2+} .

Współczynniki oznaczają, że sieć bayesowska oszacowuje wartość ^{222}Rn za pomocą funkcji:

$$^{222}\text{Rn} = 10,5 + 13,2 \cdot \text{NH}_4^+ + 0,064 \cdot \text{Ca}^{2+} \quad (9.4.)$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem NH_4^+ oraz Ca^{2+} rośnie ^{222}Rn ($13,2 > 0$; $0,064 > 0$).

Cl^- zależy od cech: Ca^{2+} oraz Na^+ .

Współczynniki oznaczają, że sieć bayesowska oszacowuje wartość Cl^- za pomocą funkcji:

$$\text{Cl}^- = 10,5 + 0,18 \cdot \text{Ca}^{2+} + 0,17 \cdot \text{Na}^+ \quad (9.5.)$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem Ca^{2+} oraz Na^+ rośnie Cl^- ($0,18 > 0$; $0 > 0,17$).

NO_3^- zależy od cech: Mg^{2+} .

Współczynniki oznaczają, że sieć bayesowska oszacowuje wartość NO_3^- za pomocą funkcji:

$$\text{NO}_3^- = 4,19 + 0,076 \cdot \text{Mg}^{2+} \quad (9.6.)$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem Mg^{2+} rośnie NO_3^- ($0,076 > 0$).

PO_4^{3-} zależy od cech: Na^+ .

Współczynniki oznaczają, że sieć bayesowska oszacowuje wartość PO_4^{3-} za pomocą funkcji:

$$\text{PO}_4^{3-} = 0,03 + 0,002 \cdot \text{Na}^+ \quad (9.7.)$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem Na^+ rośnie PO_4^{3-} ($0,002 > 0$).

Mg^{2+} zależy od cech: Ca^{2+} oraz Na^+ .

Współczynniki oznaczają, że sieć bayesowska oszacowuje wartość Mg^{2+} za pomocą funkcji:

$$\text{Mg}^{2+} = 81,35 + (-0,82) \cdot \text{Ca}^{2+} + (-0,91) \cdot \text{Na}^+ \quad (9.8.)$$

Oznacza to, że wraz ze wzrostem Ca^{2+} oraz Na^+ maleje Mg^{2+} .

9.4.2. Zestawienie korelacji między wybranymi wskaźnikami jakości wody oraz ^{222}Rn

W niniejszej tabeli przedstawiono korelacje pomiędzy wybranymi wskaźnikami jakościowymi wody, w tym również radonu. Zielonym kolorem zaznaczono istotne korelację między poszczególnymi cechami. Najsilniejsza korelacja jest między wapniem, a magnezem. Co pokazano również w modelu sieci bayesowskich.

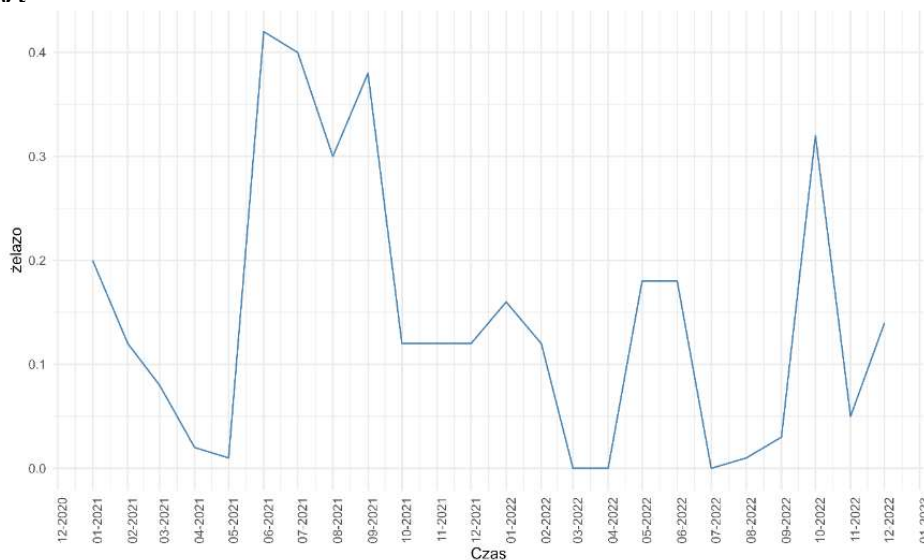
Tab.9.1. Zestawienie korelacji między wybranymi wskaźnikami jakościowi wody oraz ²²²Rn

cecha1	cecha2	Test	Korelacja	p-wartość	Istotna?
wapń	magnez	Pearson	-0,77	6,2·10 ⁻⁴⁴	TAK
wapń	chlorki	Pearson	0,69	7,48·10 ⁻³²	TAK
Chlorki	magnez	Pearson	-0,59	1,2·10 ⁻²¹	TAK
azotany	magnez	Spearman	0,48	7,8·10 ⁻¹⁴	TAK
siarczany	Zasadowość ogólna	Spearman	0,71	2,9·10 ⁻¹²	TAK
amonowy jon	sód	Spearman	0,42	5,6·10 ⁻⁹	TAK
wapń	Zasadowość ogólna	Pearson	0,36	8·10 ⁻⁸	TAK
fosforany	Zasadowość ogólna	Spearman	-0,35	1,5·10 ⁻⁷	TAK
azotany	wapń	Pearson	-0,33	7,7·10 ⁻⁷	TAK
magnez	siarczany	Spearman	-0,54	8,6·10 ⁻⁷	TAK
chlorki	żelazo	Spearman	0,33	9,1·10 ⁻⁷	TAK
azotany	chlorki	Pearson	-0,32	1,4·10 ⁻⁶	TAK
azotany	Zasadowość ogólna	Spearman	0,31	2,6·10 ⁻⁶	TAK
wapń	żelazo	Spearman	0,3	5,2·10 ⁻⁶	TAK
fosforany	sód	Spearman	0,32	1,4·10 ⁻⁵	TAK
Magnez	sód	Spearman	-0,29	7,2·10 ⁻⁵	TAK
wapń	fosforany	Spearman	-0,27	7,3·10 ⁻⁵	TAK
azotany	sód	Spearman	-0,27	0,00023	TAK
azotyny	magnez	Spearman	0,24	0,00035	TAK
azotyny	chlorki	Spearman	-0,23	0,00074	TAK
azotyny	fosforany	Spearman	-0,22	0,00091	TAK
wapń	siarczany	Spearman	-0,37	0,0012	TAK
amonowy.jon	azotyny	Spearman	-0,21	0,0017	TAK
magnez	żelazo	Spearman	-0,21	0,002	TAK
wapń	radon	Pearson	0,35	0,0027	TAK
magnez	radon	Pearson	-0,32	0,0054	TAK
magnez	Zasadowość ogólna	Pearson	0,18	0,0068	TAK
amonowy.jon	siarczany	Pearson	-0,29	0,013	TAK
azotany	azotyny	Spearman	0,17	0,013	TAK
azotyny	Zasadowość ogólna	Spearman	0,17	0,013	TAK
azotyny	sód	Spearman	-0,18	0,015	TAK
amonowy.jon	Zasadowość ogólna	Pearson	-0,16	0,016	TAK
azotany	żelazo	Spearman	-0,16	0,019	TAK
chlorki	Zasadowość ogólna	Pearson	0,16	0,020	TAK
amonowy.jon	radon	Pearson	0,27	0,024	TAK
Wapń	sód	Spearman	-0,16	0,031	TAK
azotyny	radon	Spearman	-0,25	0,033	TAK
sód	Zasadowość ogólna	Spearman	-0,15	0,045	TAK
azotany	siarczany	Spearman	0,23	0,05	NIE
chlorki	siarczany	Pearson	0,18	0,12	NIE
amonowy.jon	fosforany	Spearman	0,1	0,13	NIE
chlorki	sód	Spearman	0,11	0,15	NIE
amonowy.jon	wapń	Pearson	-0,096	0,16	NIE
amonowy.jon	żelazo	Spearman	-0,096	0,16	NIE
radon	Zasadowość ogólna	Spearman	-0,16	0,18	NIE
fosforany	siarczany	Pearson	0,15	0,21	NIE

cecha1	cecha2	Test	Korelacja	p-wartość	Istotna?
zasadowość.ogólna	żelazo	Spearman	0,084	0,22	NIE
azotany	radon	Pearson	-0,12	0,30	NIE
azotyny	wapń	Spearman	-0,055	0,42	NIE
fosforany	radon	Pearson	-0,097	0,42	NIE
chlorki	radon	Pearson	0,091	0,45	NIE
radon	żelazo	Spearman	-0,083	0,49	NIE
amonowy.jon	azotany	Pearson	-0,043	0,53	NIE
sód	żelazo	Spearman	-0,045	0,55	NIE
fosforany	magnez	Spearman	-0,034	0,62	NIE
azotyny	siarczany	Pearson	0,055	0,65	NIE
fosforany	żelazo	Spearman	-0,031	0,65	NIE
sód	radon	Spearman	0,054	0,65	NIE
azotyny	żelazo	Spearman	0,024	0,72	NIE
azotany	fosforany	Spearman	0,015	0,82	NIE
amonowy.jon	magnez	Pearson	-0,011	0,88	NIE
sód	siarczany	Pearson	-0,027	0,88	NIE
amonowy.jon	chlorki	Pearson	-0,0081	0,91	NIE
siarczany	żelazo	Spearman	0,011	0,93	NIE

9.4.3 Analiza stanu jakości wody na przestrzeni czasu dla 3 wybranych punktów na sieci wodociągowej – ujęcie, środek sieci oraz koniec sieci

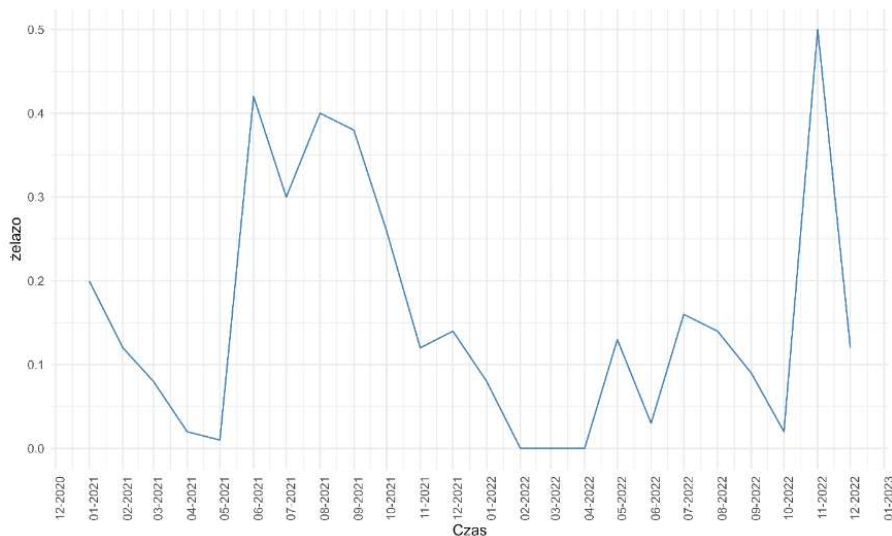
9.4.3.1 Ujęcie Bolechowice



Rys. 9.35. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice

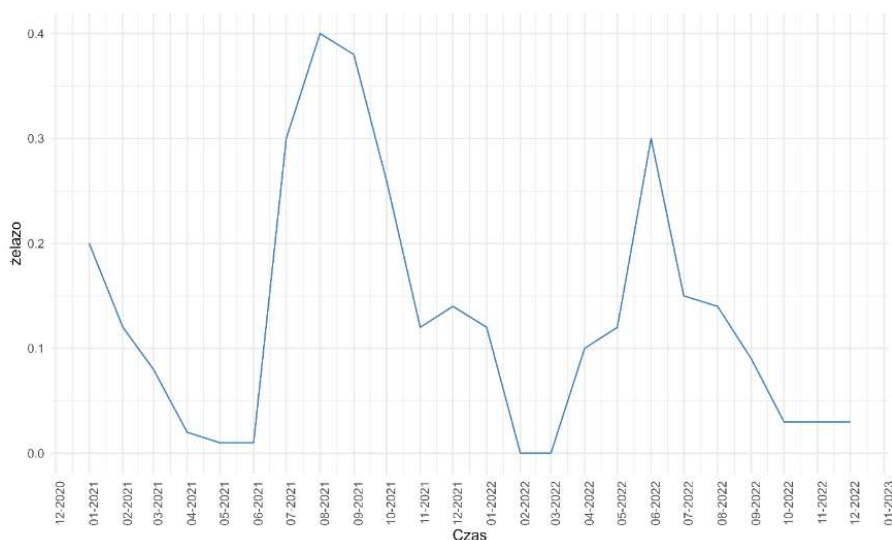
Na rys. 9.35. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Widoczne jest przekroczenie dopuszczalnego stężenia tego pierwiastka dla poszczególnych miesięcy: styczeń, maj,

czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień 2021 r. oraz październik 2022 r. Źródłem żelaza w wodzie mogą być żeliwne elementy konstrukcyjne oraz instalacji wodociągowej.



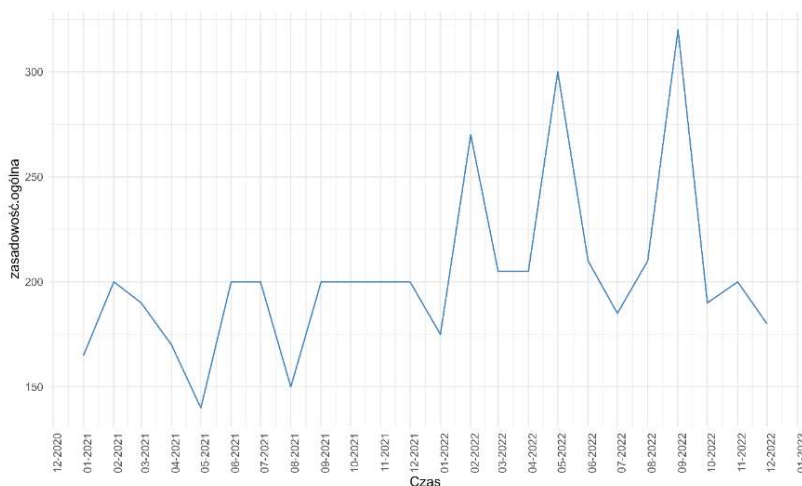
Rys. 9.36. Zawartość jonów żelaza czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.36. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Widoczne jest przekroczenie dopuszczalnego stężenia tego pierwiastka dla poszczególnych miesięcy: styczeń, maj, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik 2021 r. oraz październik, listopad, grudzień 2022 r. W grudniu 2022 r. odnotowano największe przekroczenie bo ponad dwukrotne.



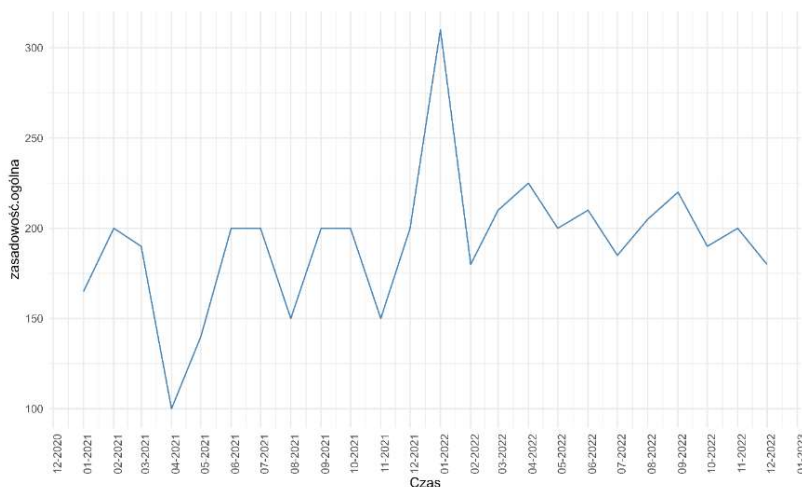
Rys. 9.37. Zawartość jonów żelaza czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.37. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Widoczne jest przekroczenie dopuszczalnego stężenia tego pierwiastka dla poszczególnych miesięcy: styczeń, czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień, październik 2021 r. oraz maj, czerwiec 2022 r. W pozostałych przypadkach wartości są w normie.



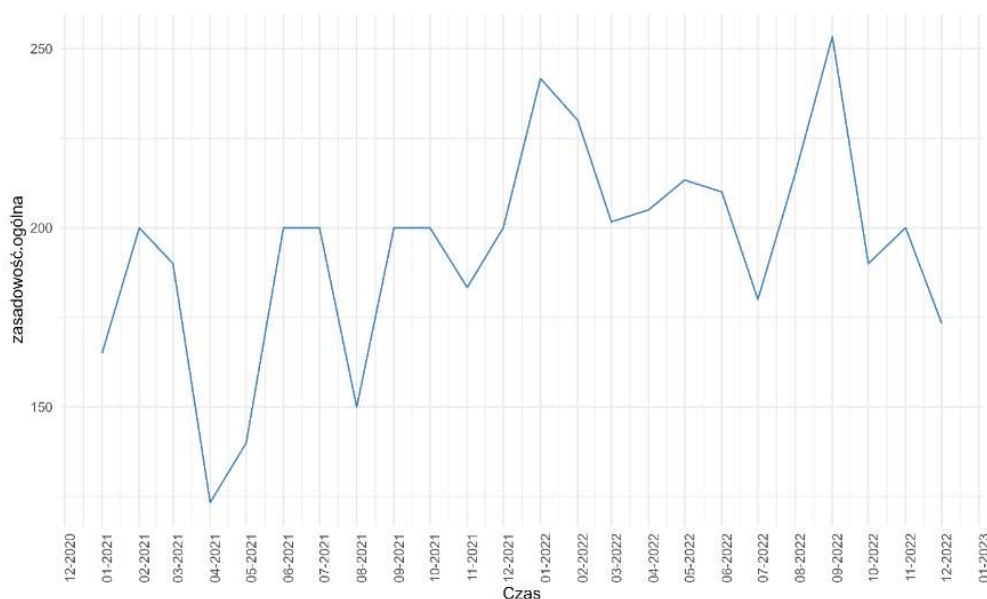
Rys. 9.38. Zawartość zasadowość og. czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.38. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość przekracza 300mg/dm^3 , zaś najniższa nie przekracza 100mg/dm^3 . Określa możliwość zobojętniania kwasów mineralnych w ustalonych warunkach. Ta właściwość wody wynika z obecności węglanów, wodorowęglanów oraz wodorotlenków: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} i nie jest istotna dla jakości wody pitnej, ponieważ niepożądane wodorowęglany rozkładają się po jej przegotowaniu.



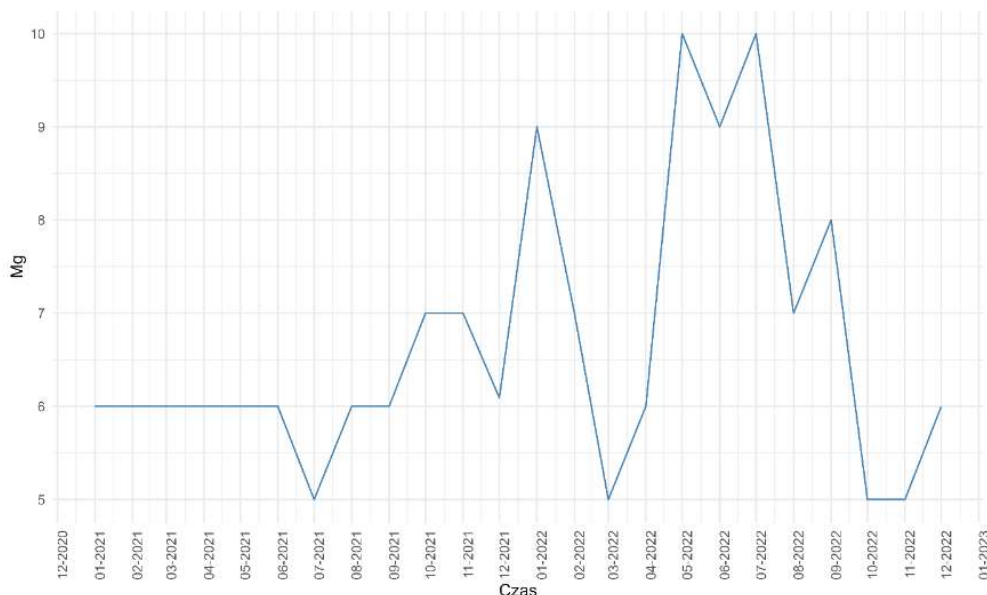
Rys. 9.39. Zawartość zasadowości og. czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.39. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Podobnie jak dla pierwszego punktu poboru najwyższa wartość przekracza 300mg/dm^3 , zaś najniższa nie przekracza 100mg/dm^3 .



Rys. 9.40. Zawartość zasadowości og. czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

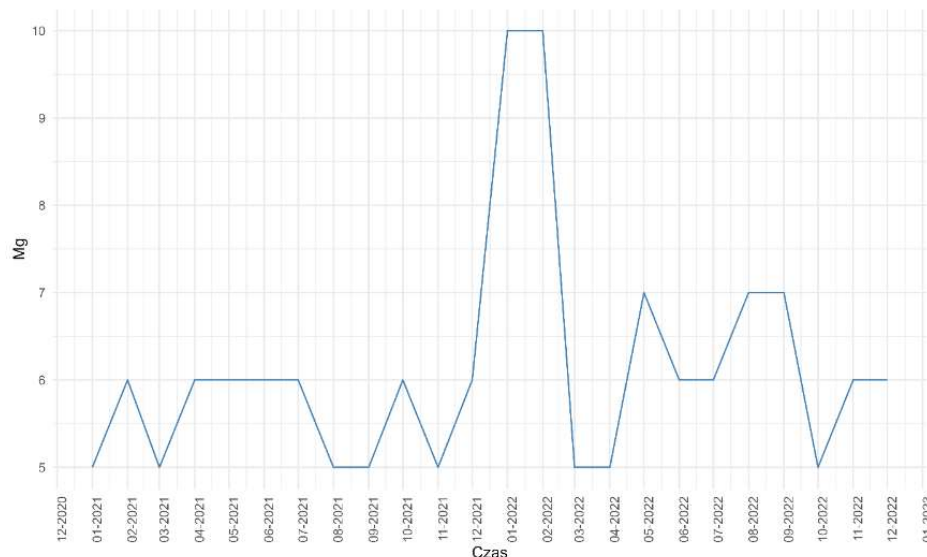
Na rys. 9.40. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość przekracza 250mg/dm^3 , zaś najniższa nie przekracza 125mg/dm^3 .



Rys. 9.41. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

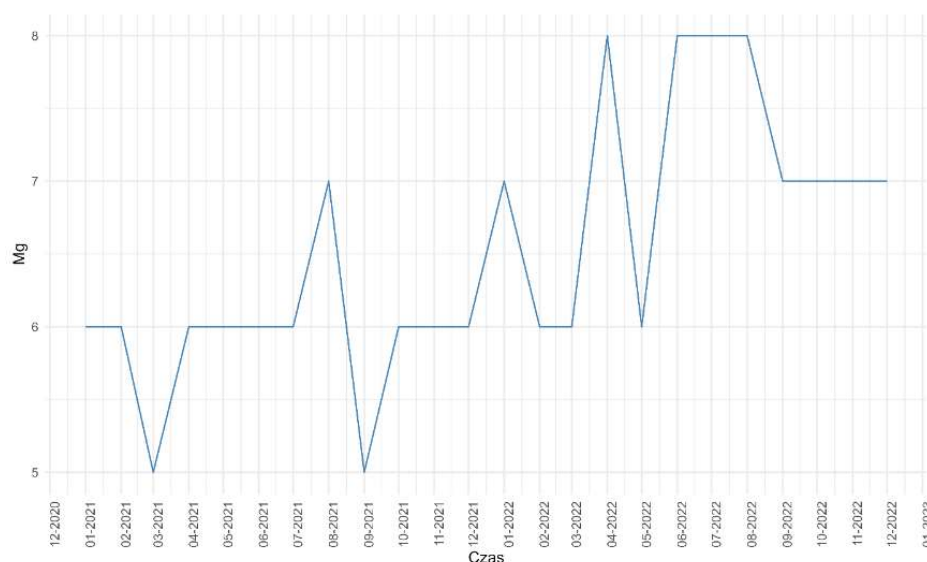
Na rys. 9.41. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość nie przekracza

10mg/dm³, zaś najniższa nie przekracza 5mg/dm³. Są to wartości w granicach dopuszczalnych dla tego pierwiastka w wodzie pitnej oraz stosunkowo niskie, ponieważ może być ich nawet do 125mg/dm³. Magnez jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego.



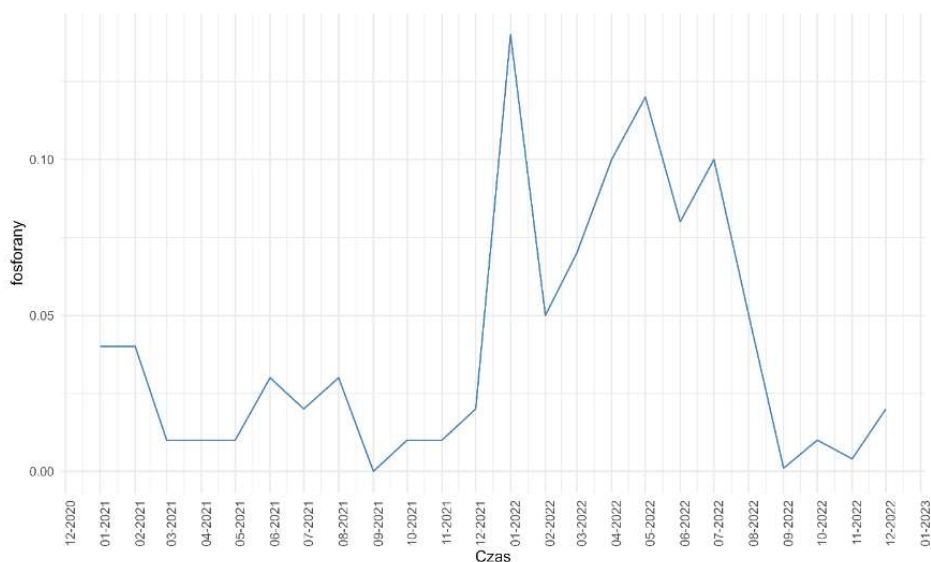
Rys. 9.42. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.42. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Podobnie jak dla pierwszego punktu najwyższa wartość nie przekracza 10mg/dm³, zaś najniższa 5mg/dm³. Magnez pomaga regulować poziom wapnia, a także pochłaniania potasu w organizmie ludzkim.



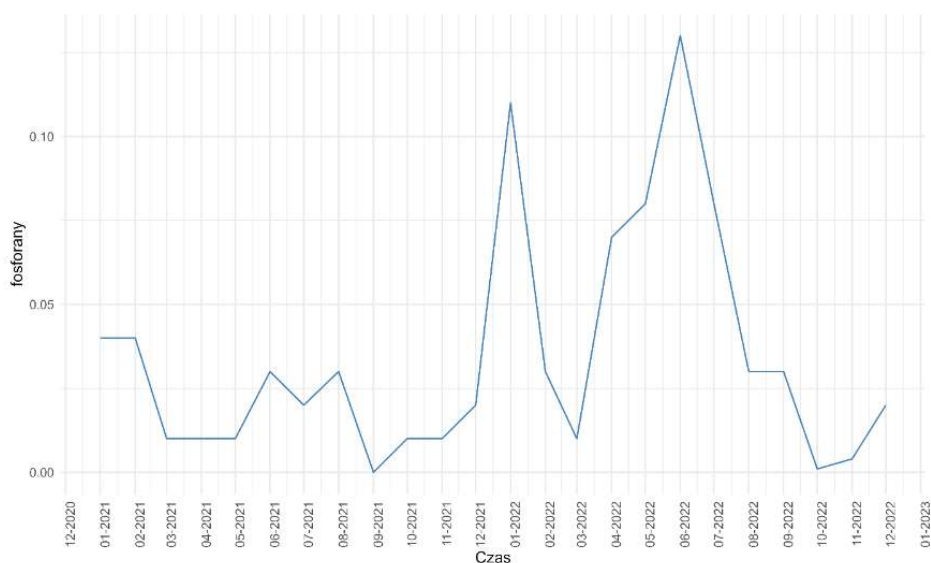
Rys. 9.43. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.43. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Podobnie jak dla pierwszego punktu najwyższa wartość nie przekracza $8\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa $5\text{mg}/\text{dm}^3$. Dla całego ujęcia zachowują się stałe, stosunkowo niskie wartości jonów magnezu.



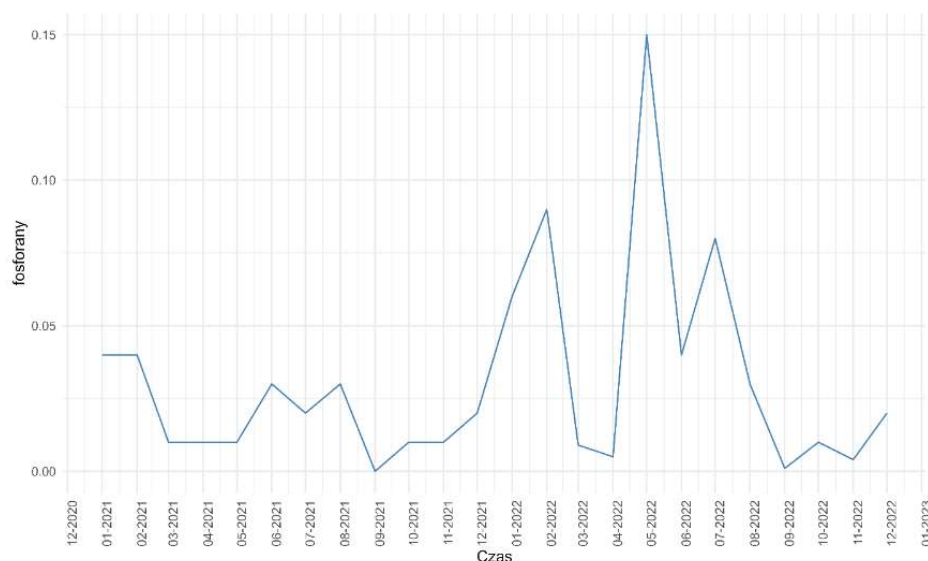
Rys. 9.44. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.44. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość nie przekracza $0,14\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa wynosi $0\text{mg}/\text{dm}^3$. Wartości nie przekraczają dozwolonej normy dla wody pitnej.



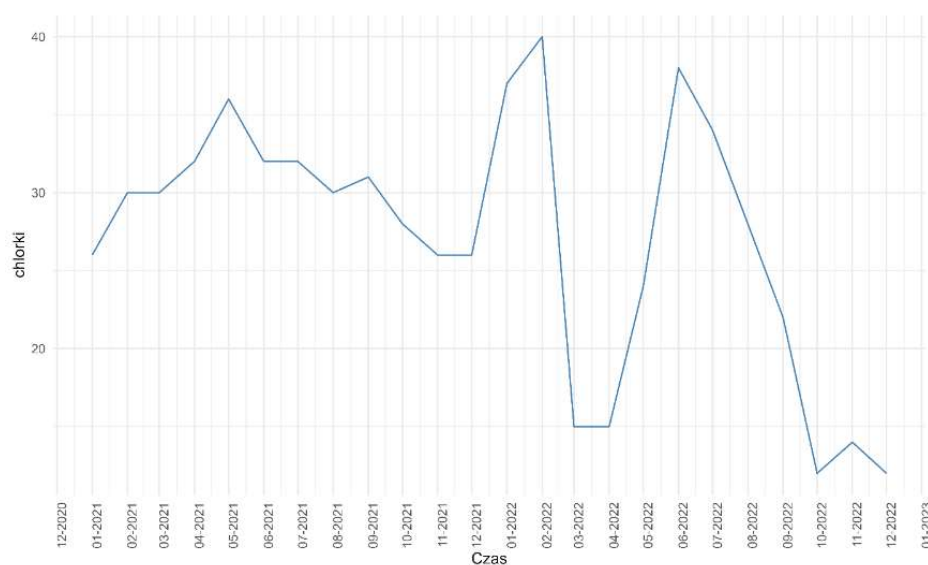
Rys. 9.45 Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.45. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Podobnie jak dla pierwszego punktu poboru najwyższa wartość nie przekracza $0,14\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa wynosi $0\text{mg}/\text{dm}^3$.



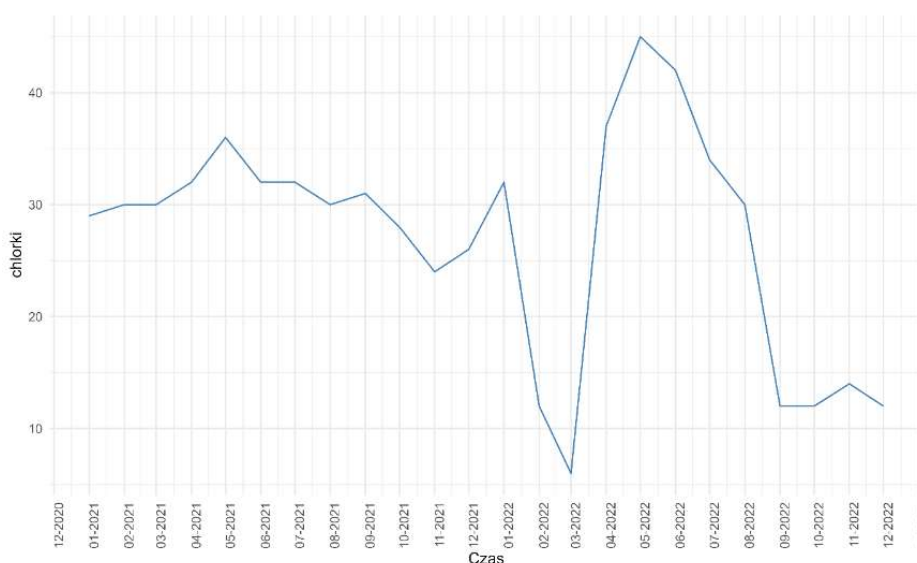
Rys. 9.46. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.46. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość wynosi $0,15\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa $0\text{mg}/\text{dm}^3$. Na całej sieci fosforany zachowują podobne, stosunkowo niskie wartości, nie przekraczają one dopuszczalnej normy wynoszącej $5\text{mg}/\text{dm}^3$. W organizmie ludzkim są odpowiedzialne za zachowanie równowagi kwasowo – zasadowej.



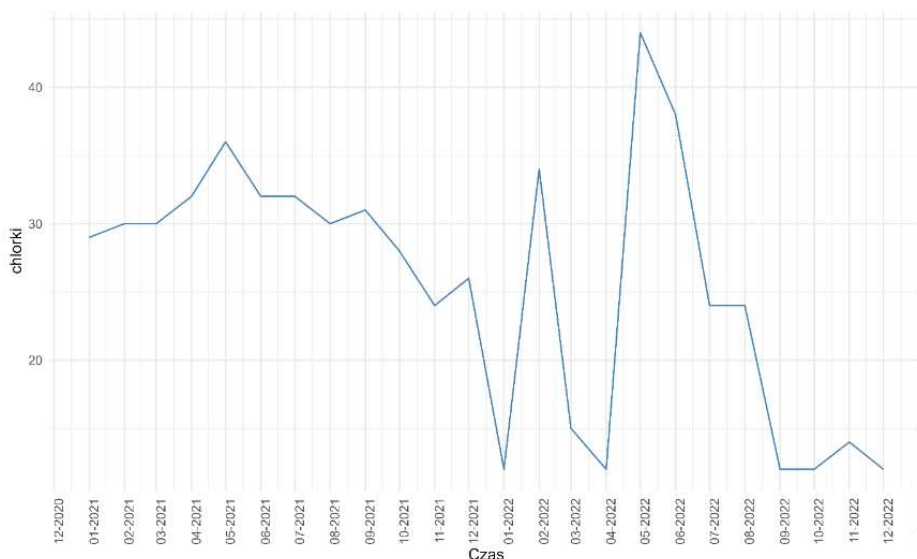
Rys. 9.47. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.47. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość wynosi 40mg/dm^3 , zaś najniższa poniżej 15mg/dm^3 . Stężenie mieści się w granicach dopuszczalnych dla wody pitnej.



Rys. 9.48. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

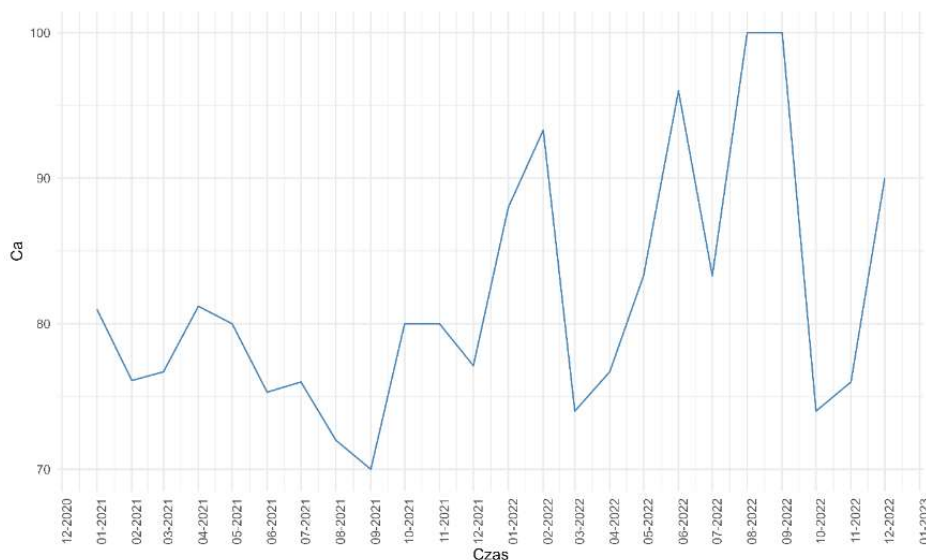
Na rys. 9.48. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości stężenia chlorków są zmienne. Najwyższa wartość wynosi blisko 45mg/dm^3 , zaś najniższa poniżej 10mg/dm^3 .



Rys. 9.49. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

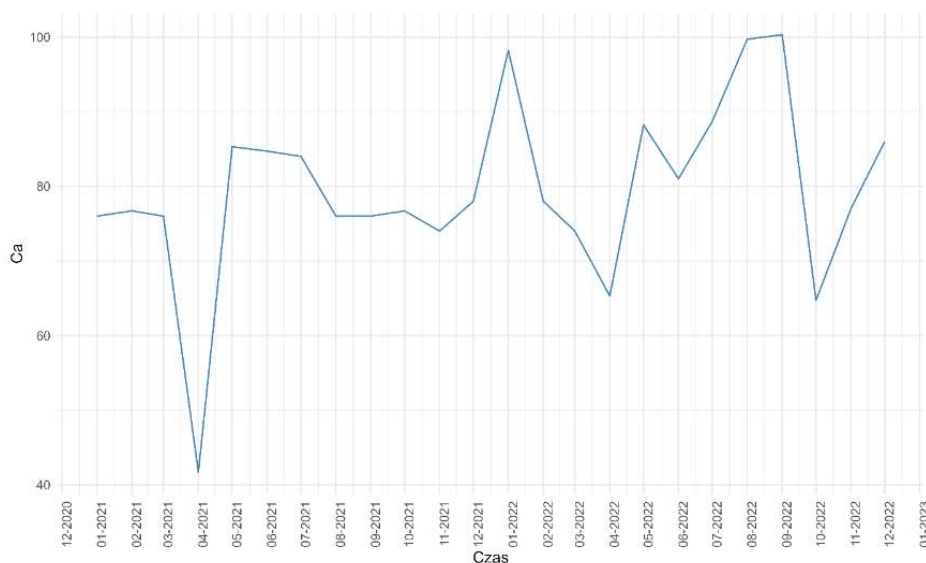
Na rys. 9.49. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Wartości stężenia chlorków są zmienne. Najwyższa wartość wynosi blisko 45mg/dm^3 , zaś najniższa poniżej 15mg/dm^3 . Od lipca 2022 r. widoczny

jest spadek wartości na wykresie dla ostatniego punktu poboru na sieci. Stężenie chlorków na całej sieci jest na podobnym poziomie. Wszystkie mieszczą się w granicach dopuszczalnych stężeń dla wody przeznaczonej do picia. Najczęstszym źródłem chlorków w wodzie jest proces chlorowania wody, który odbywa się na wyjściu przy stacji uzdatniania wody.



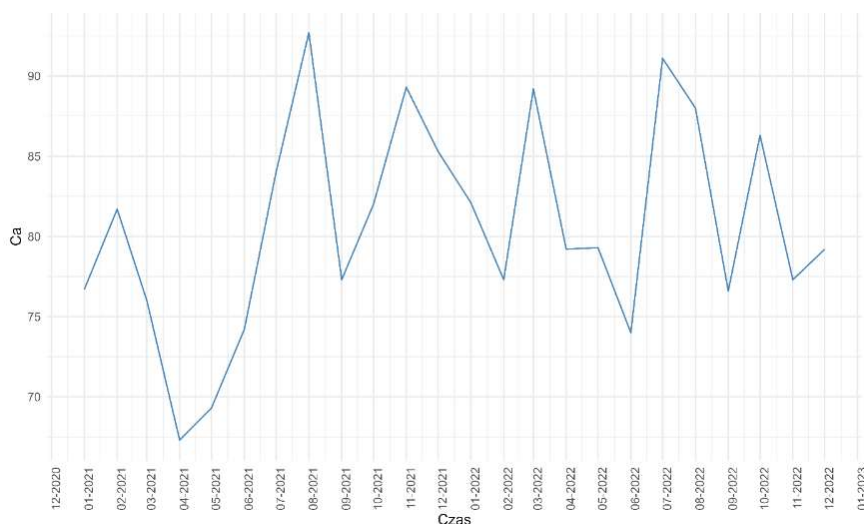
Rys. 9.50. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.50. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Wartości stężenia jonów wapnia są zmienne. Najwyższa wartość wynosi $100\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa $70\text{mg}/\text{dm}^3$. Wartości te nie przekraczają dopuszczalnych stężeń dla wody pitnej.



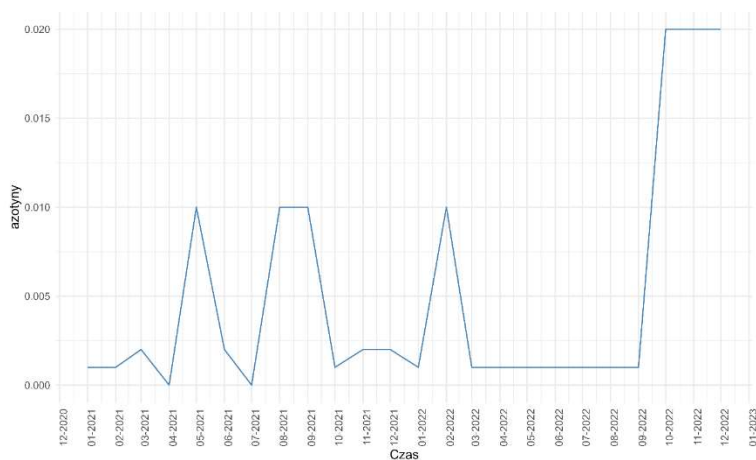
Rys. 9.51. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.51. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości stężenia jonów wapnia są zmienne. Najwyższa wynosi $100\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa bliska jest $40\text{mg}/\text{dm}^3$ i pojawia się zaledwie raz w kwietniu 2021 r., pozostałe wartości są powyżej $60\text{mg}/\text{dm}^3$.



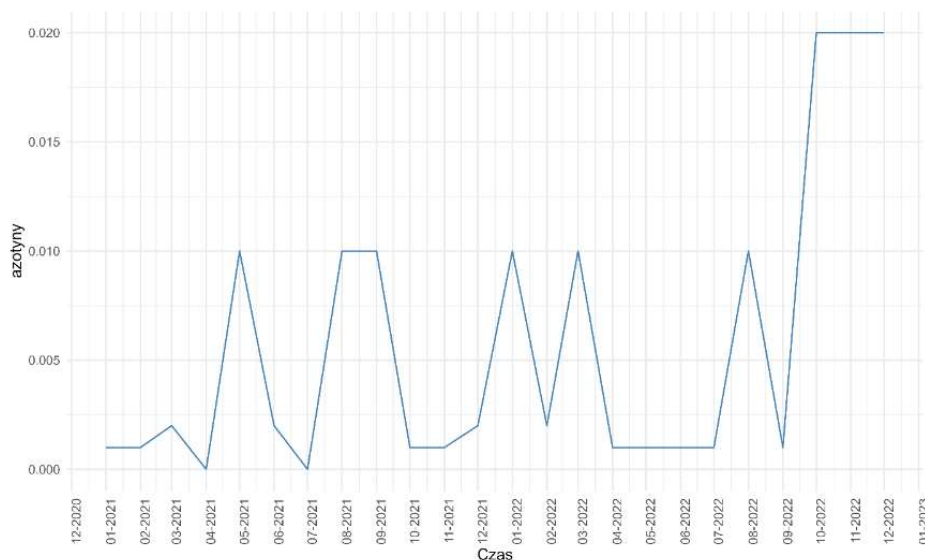
Rys. 9.52. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.52. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Wartości stężenia jonów wapnia są zmienne. Najwyższa wartość wynosi $95\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa bliska jest $65\text{mg}/\text{dm}^3$. Wartości stężenia jonów wapnia dla całej sieci wodociągowej są zbliżone i zmienne w czasie. Wapń podobnie jak magnez jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzkiego. Badanej wodzie będzie nadawał charakter wody miękkiej, czyli bezpiecznej dla eksploatacji np. domowego czajnika, ponieważ nie będzie się osadzał w postaci kamienia.



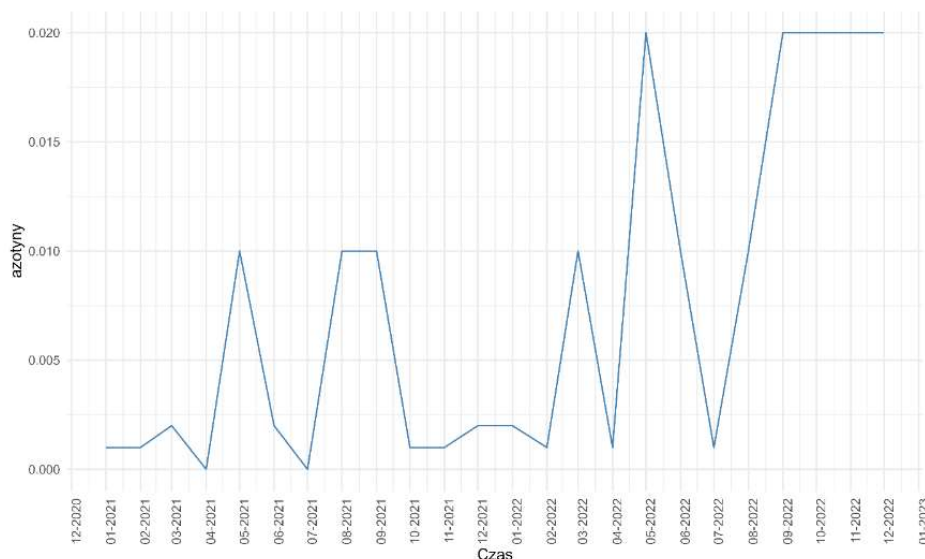
Rys. 9.53. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.53. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Wartości azotynów w wodzi są zmienne, jednak stosunkowo niskie i nie przekraczają maksymalnego stężenia w wodzie, które wynosi $0,05\text{mg}/\text{dm}^3$.



Rys. 9.54. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

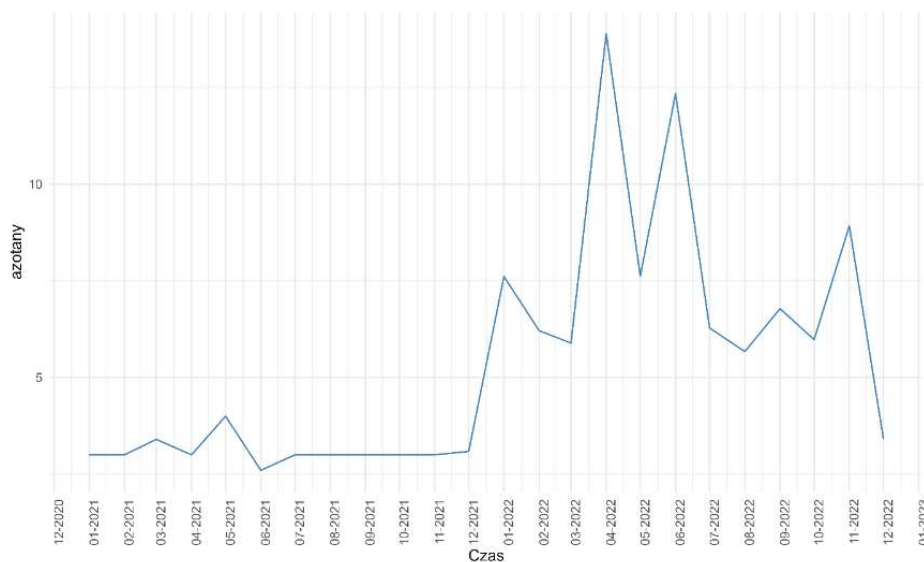
Na rys. 9.54. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości azotynów w wodzie są podobne jak dla pierwszego punktu poboru wody na ujęciu zmienne, jednak stosunkowo niskie.



Rys. 9.55. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

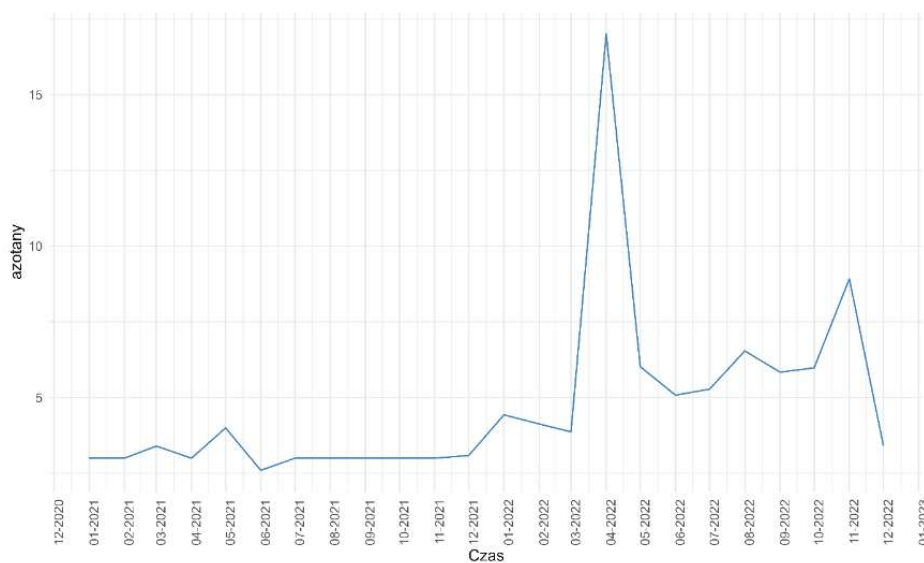
Na rys. 9.55. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Wartości azotynów w wodzie są podobne jak dla

pierwszego oraz drugiego punktu poboru wody na ujęciu zmienne, jednak stosunkowo niskie. Azotyny są niebezpieczne dla zdrowia i życia ludzkiego. Dostając się do organizmu mogą prowadzić do niedokrwistości, a także nowotworów. Dlatego też dobrze, że stężenie tego związku utrzymuje się na niskim poziomie.



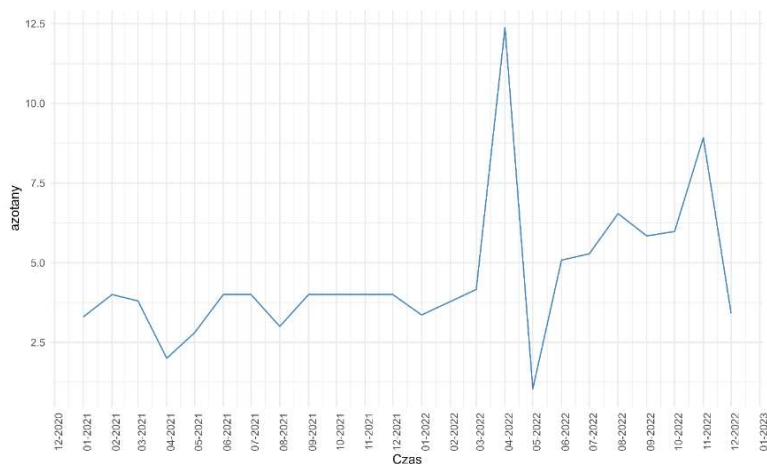
Rys. 9.56. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.56. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Wartości azotanów w wodzie są zmienne. Najwyższa wartość jest równa 18mg/dm^3 , zaś najniższa 2mg/dm^3 . Nie przekraczają one dopuszczalnej wartości stężenia tego związku w wodzie pitnej.



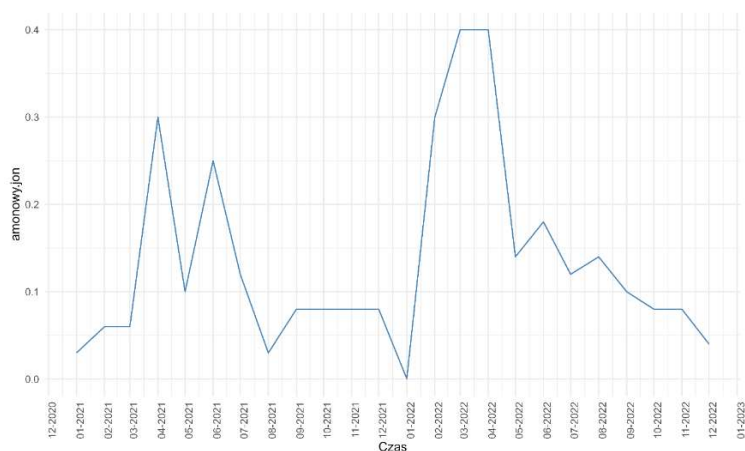
Rys. 9.57. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.57. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości azotanów w wodzie są raczej niskie, nie przekraczające $8\text{mg}/\text{dm}^3$, wyjątkiem jest wartość odnotowana w kwietniu 2022 r. , gdzie wynosi na $18\text{mg}/\text{dm}^3$. Przyczyną takiego wzrostu może być fakt, że w okresie wiosennym jest większe natężenie nawozów w polach uprawnych, a nawozy są bardzo często z zawartością różnych form azotu, który może przedostawać się do warstw wodonośnych.



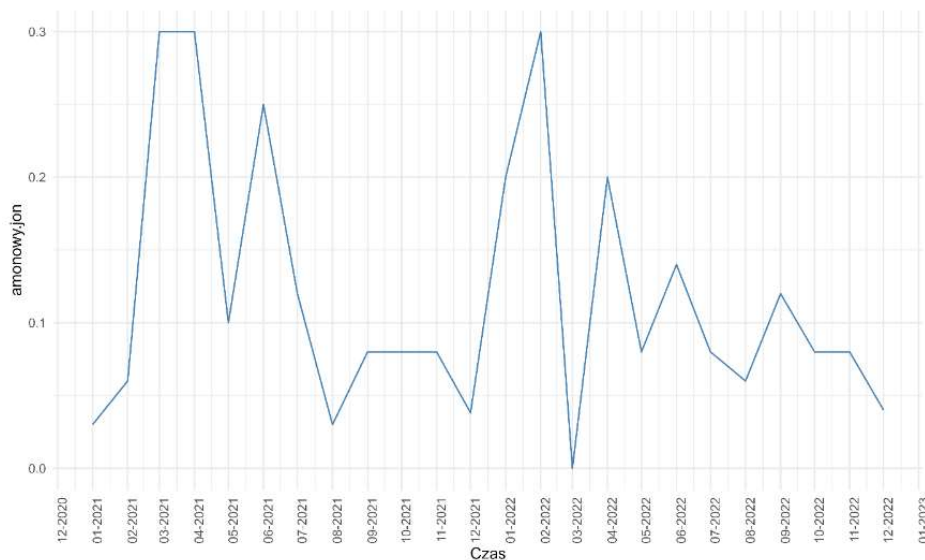
Rys. 9.58. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.58. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Sytuacja jest podobna jak dla drugiego punktu poboru. Wartości azotanów w wodzie są raczej niskie, do lutego 2022r. nie przekraczają one $5\text{mg}/\text{dm}^3$. Najwyższa wartość jest równa $12,5\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa $2\text{mg}/\text{dm}^3$. Widoczny jest spadek azotanów w ostatnim miejscu poboru próbek. Azotanów może być więcej w wodzie, ponieważ nie są związkami toksycznymi w przeciwieństwie do mogących z nich powstawać wcześniej omawianych azotanów.



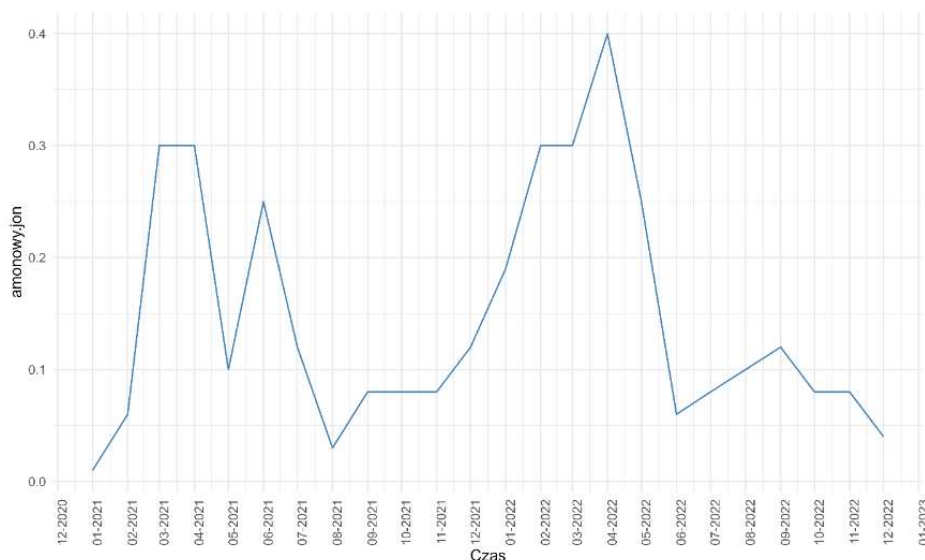
Rys. 9.59. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.59. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Najwyższa wartość jest równa $0,4\text{mg}/\text{dm}^3$ (bliska progu dopuszczalnej wartości stężenia tego związku w wodzie pitnej), zaś najniższa $0\text{mg}/\text{dm}^3$. Najczęściej wartość nie przekracza $0,3\text{mg}/\text{dm}^3$.



Rys. 9.60. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

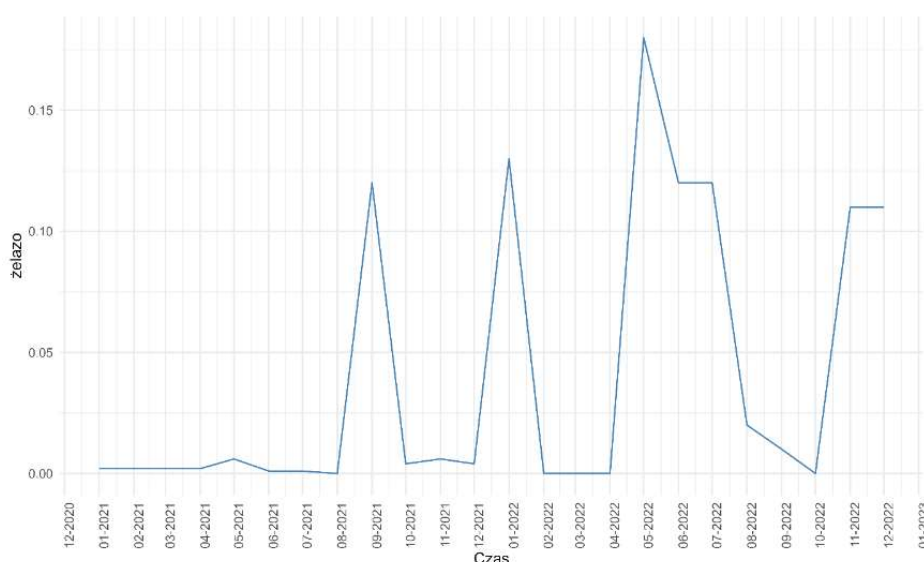
Na rys. 9.60. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości są zmienne. Najwyższa wynosi $0,3\text{mg}/\text{dm}^3$, zaś najniższa bliska jest $0\text{mg}/\text{dm}^3$.



Rys. 9.61. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

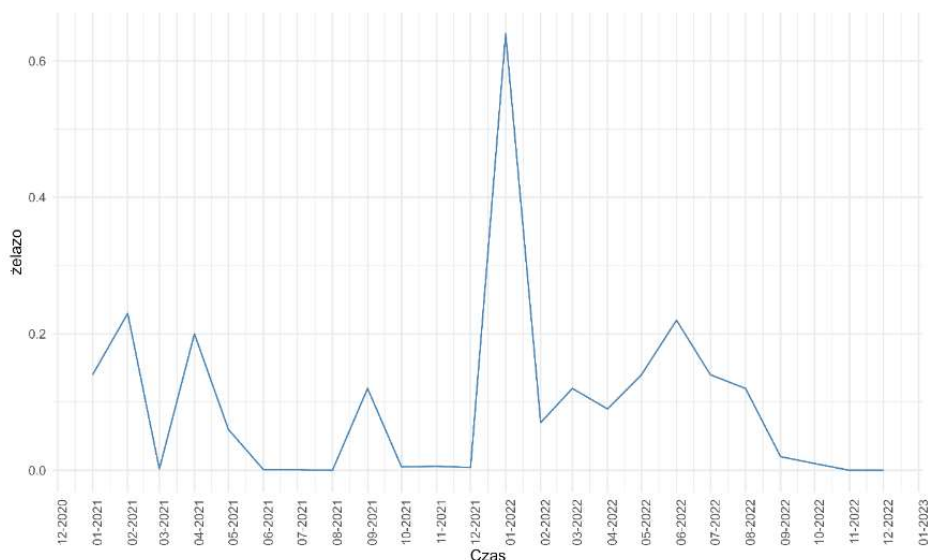
Na rys. 9.61. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Wartości są zmienne. Najwyższa wynosi $0,4\text{mg}/\text{dm}^3$ – pojedynczy przypadek odnotowany w kwietniu 2022r. (podobnie jak dla azotanów może to być przyczyną nawożenia pól w okresie wiosennym) zaś najniższa bliska jest $0\text{mg}/\text{dm}^3$. Najczęściej stężenie jest poniżej $0,2\text{mg}/\text{dm}^3$. Dla całej sieci stężenie tego związku ma zbliżone wartości. Najwyższe wartości są zbliżone do progowej jaka jest dopuszczalna dla tego związku w wodzie ($0,5\text{mg}/\text{dm}^3$) jednak jej nie przekraczają.

9.4.3.2 Ujęcie Kołomań



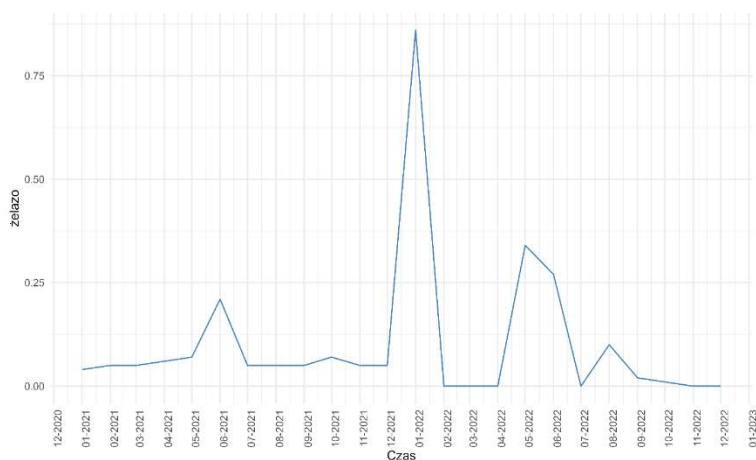
Rys. 9.62. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.62. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Najwyższa wartość przekracza dopuszczalne stężenie w maju 2022 r.; pozostałe wartości nie przekraczają $0,15\text{mg}/\text{dm}^3$.



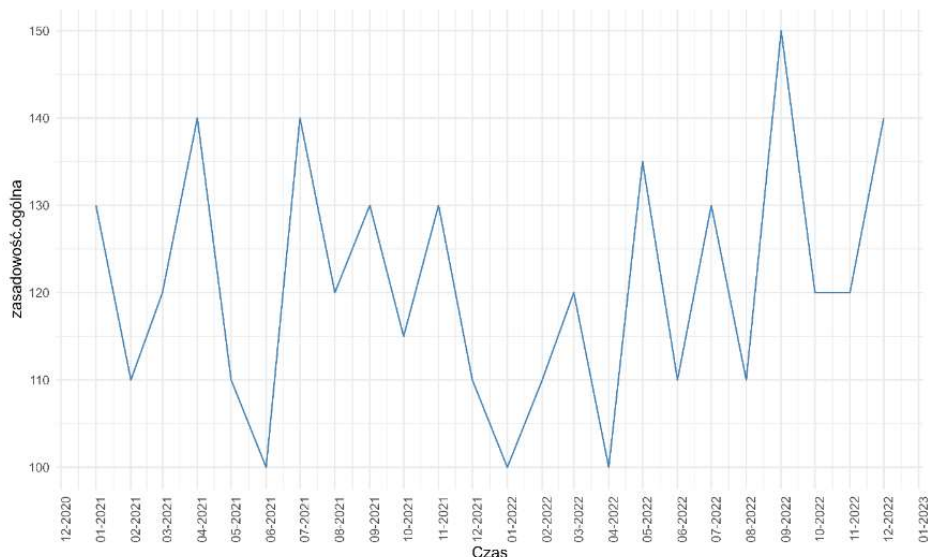
Rys. 9.63. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.63. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Najwyższa wartość trzykrotnie przekracza dopuszczalne stężenie w styczniu 2022 r. Do przekroczenia normy dochodzi również w lutym oraz kwietniu 2021 r., a także w lipcu 2022 r.



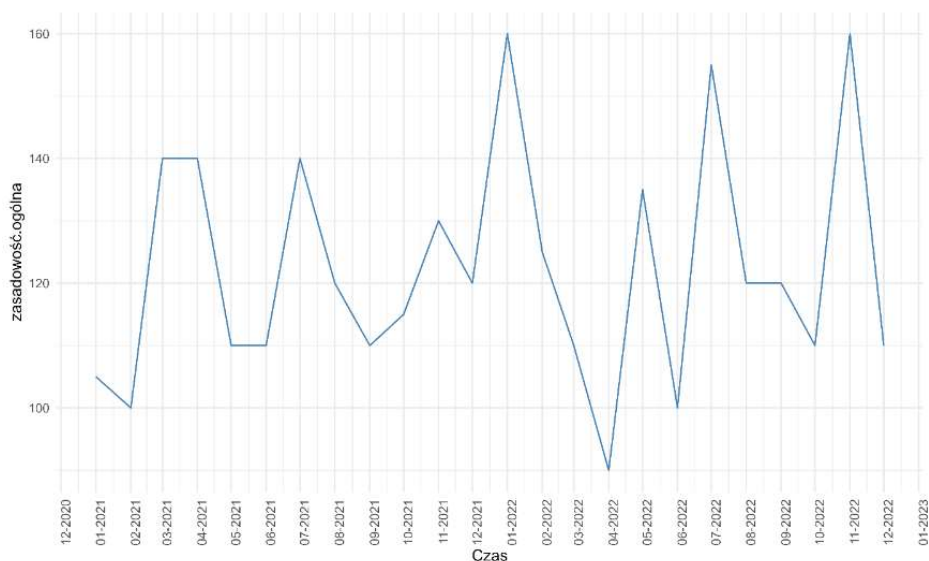
Rys. 9.64. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.64. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Najwyższa wartość ponad trzykrotnie przekracza dopuszczalne stężenie w styczniu 2022 r. Do przekroczenia normy dochodzi również w czerwcu oraz lipcu 2022 r. Jony żelaza utrzymują się na podobnym poziomie dla całego ujęcia. Przekroczenia dopuszczalnych wartości są głównie spowodowane eksploatacją sieci wodociągowej.



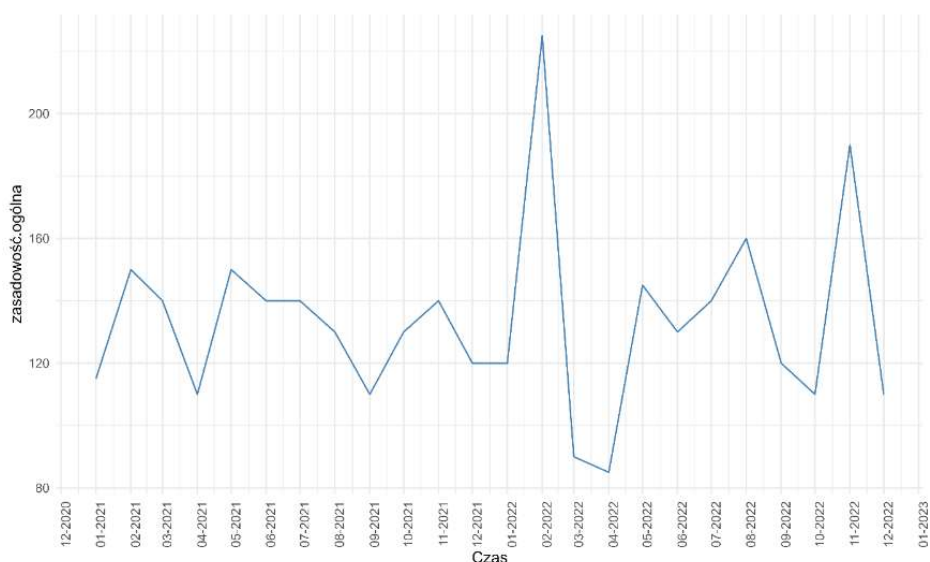
Rys. 9.65. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.65. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 100mg/dm^3 do 150mg/dm^3 .



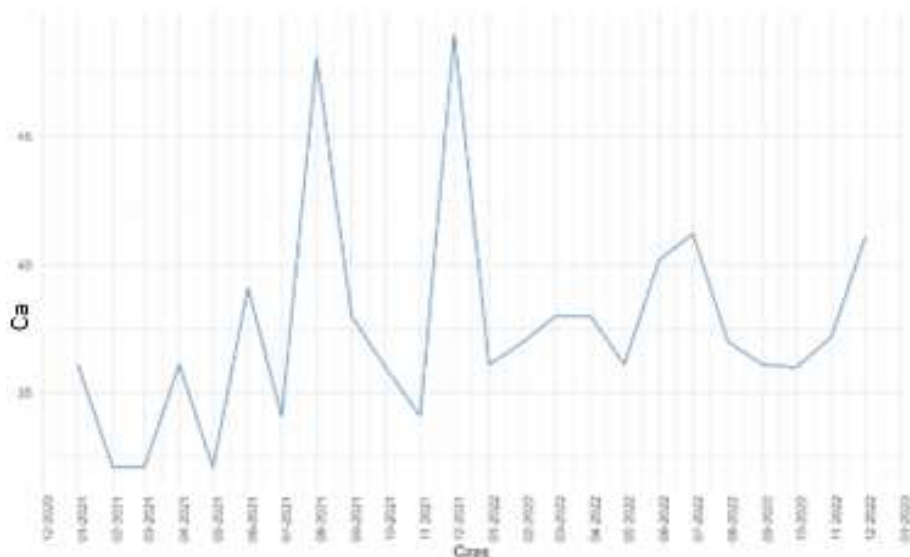
Rys. 9.66. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.66. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 100mg/dm^3 do 160mg/dm^3 .



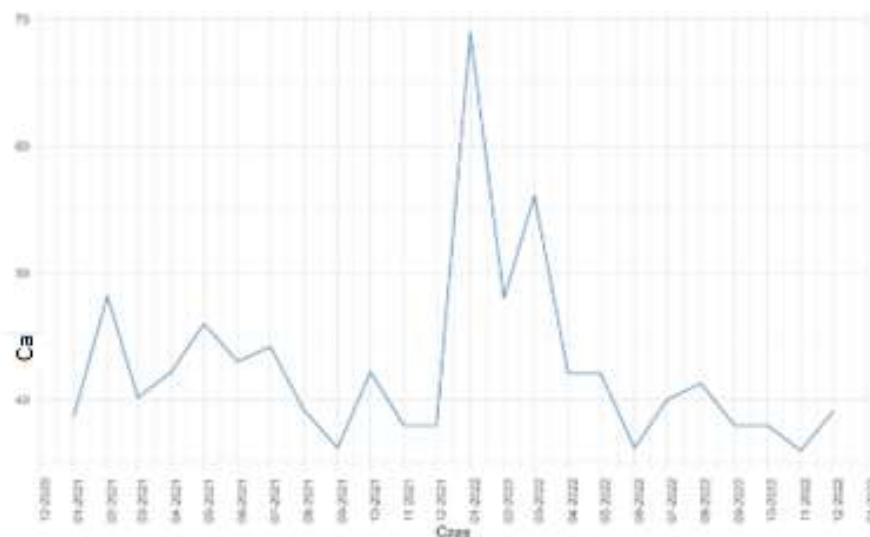
Rys. 9.67. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.67. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 90mg/dm³ do 180mg/dm³. Zasadowość jest zdolnością wody do neutralizacji silnych kwasów, tak więc jest w niej pożądana. Nie ma widocznych zmian wartości tego wskaźnika dla 3 punktów poboru wody na sieci wodociągowej.



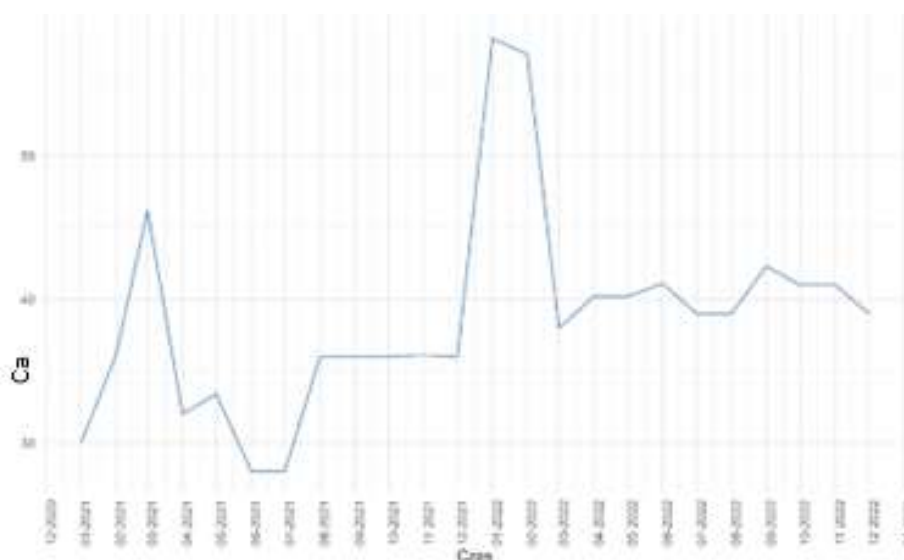
Rys. 9.68. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.68. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 23mg/dm³ do 48mg/dm³.



Rys. 9.69. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

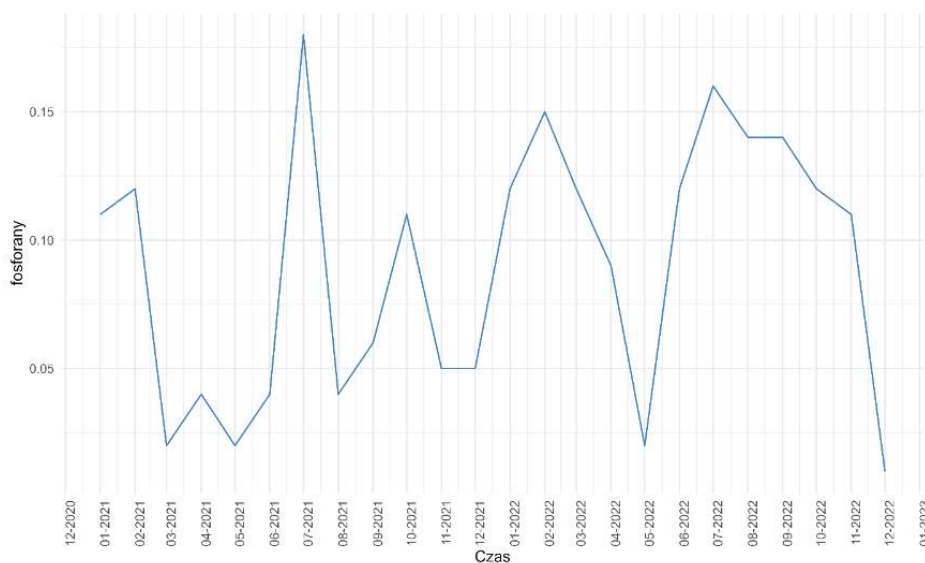
Na rys. 9.69. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 37mg/dm^3 do blisko 70mg/dm^3 – wartość taką odnotowano dla pojedynczego poboru w styczniu 2022 r.



Rys. 9.70. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

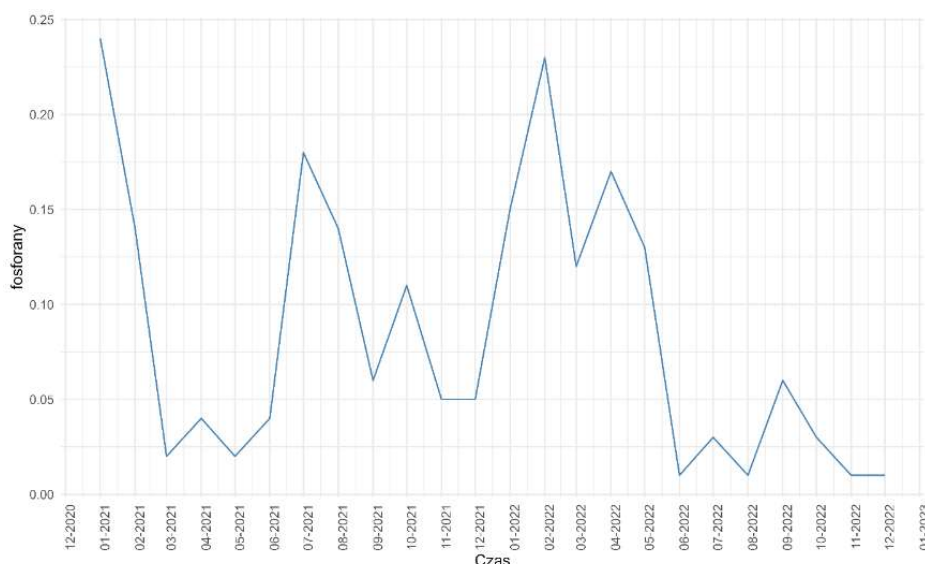
Na rys. 9.70. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od

28g/dm³ do 58mg/dm³, podobnie jak dla drugiego punktu poboru wartość tą odnotowano w styczniu 2022 r. Wartości stężeń na całej sieci nie wykazują znacznych zmienności. Jony wapnia są istotne dla prawidłowego funkcjonowania organizmu.



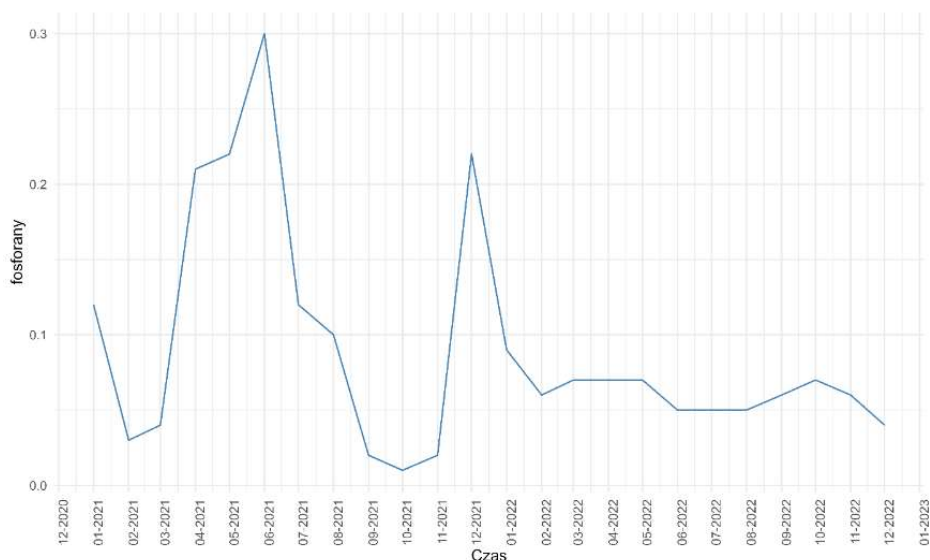
Rys. 9.71. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.71. przedstawiono wykres zmienności zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0,03mg/dm³ do 0,2mg/dm³.



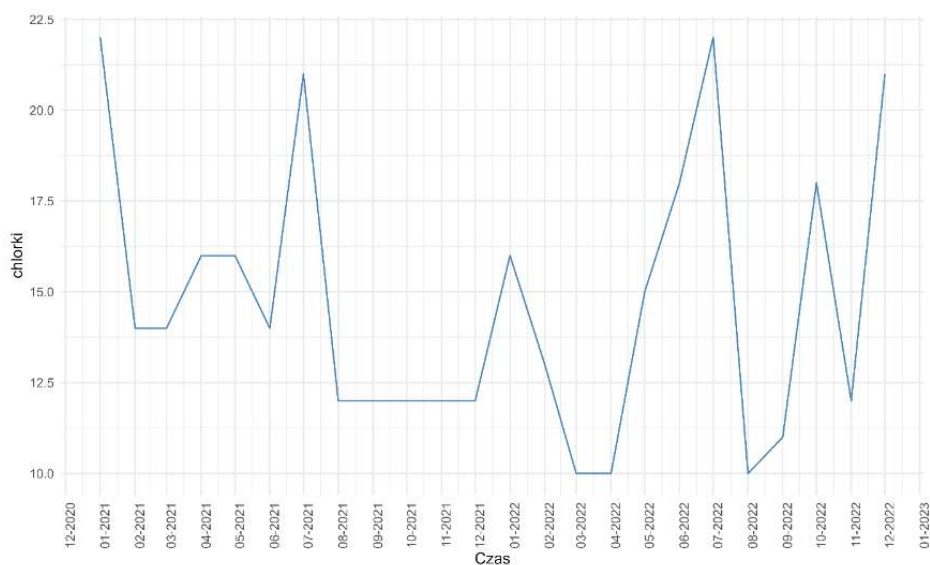
Rys. 9.72. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.72. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0,03mg/dm³ do prawie 0,25mg/dm³.



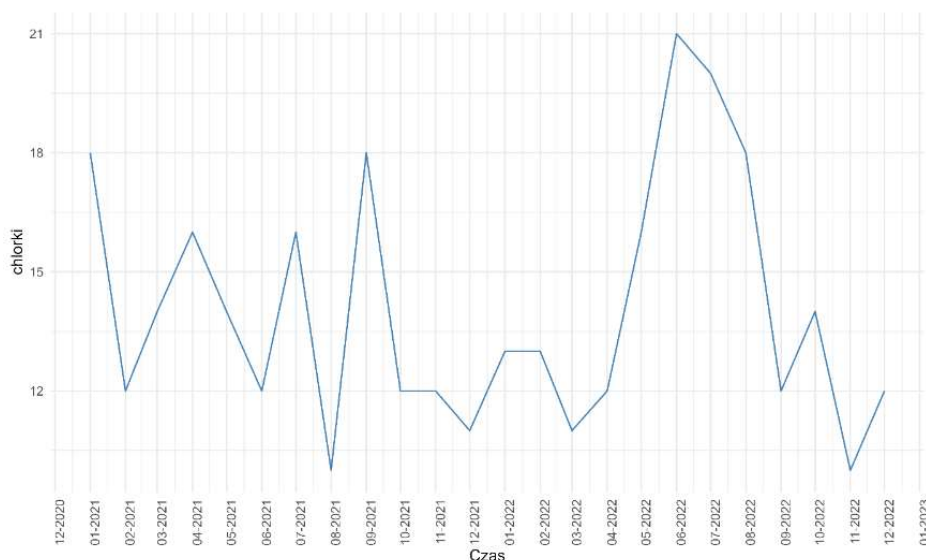
Rys. 9.73. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.73. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te niezmiennie oscylują w granicach od 0,01mg/dm³ do prawie 0,3mg/dm³. Wobec tego nie obserwuje się znaczących zmian tych wartości dla całej sieci. Stężenia tego związku nie przekraczają dopuszczalnej normy dla wody pitnej.



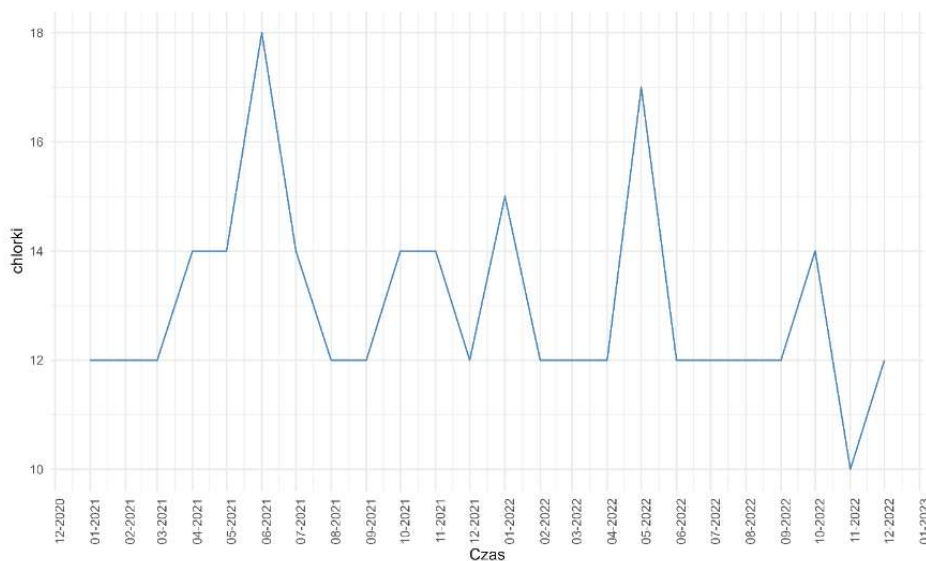
Rys. 9.74. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.74. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 10mg/dm³ do prawie 22,5mg/dm³.



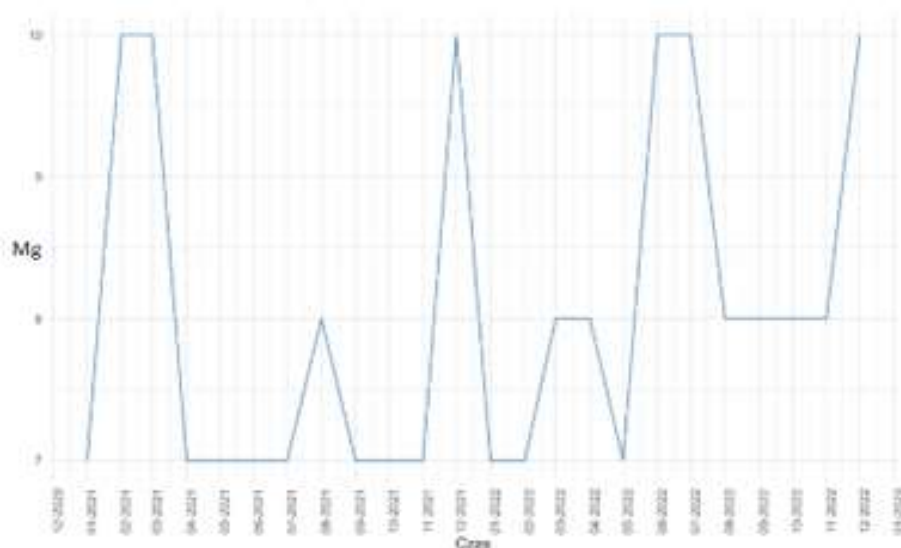
Rys. 9.75. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.75. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują podobnie jak dla pierwszego punktu poboru w granicach od 10mg/dm³ do 21mg/dm³.



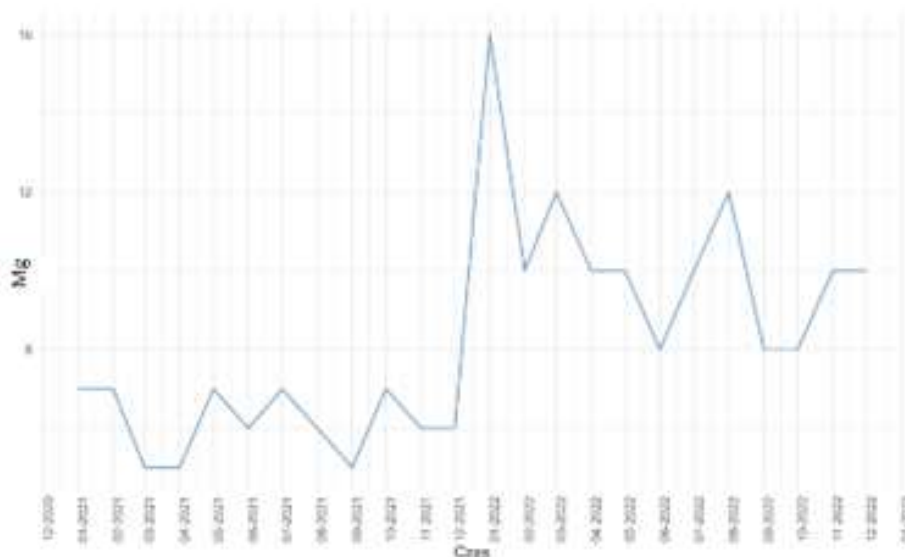
Rys. 9.76. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.76. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te niezmiennie oscylują w granicach od 10mg/dm³ do 18mg/dm³. Nie ma przekroczeń dopuszczalnych stężeń dla tego wskaźnika w badanej wodzie.



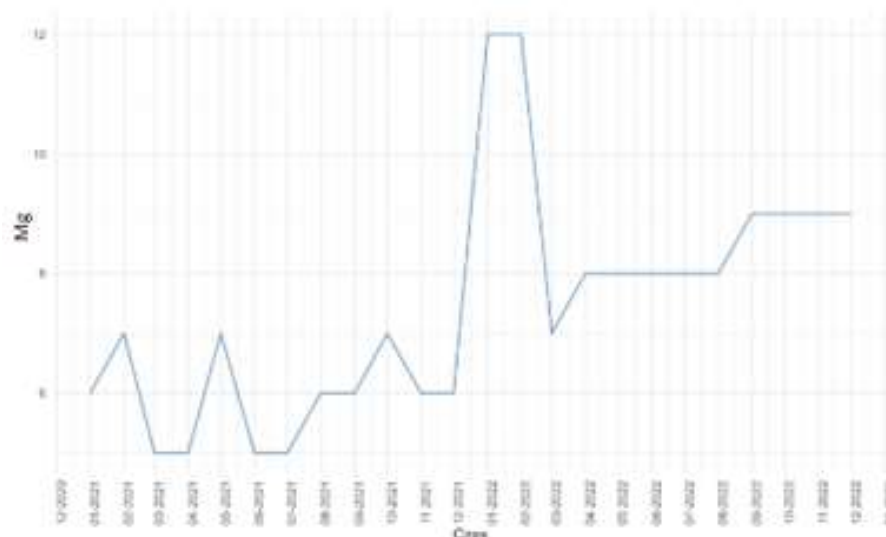
Rys. 9.77. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.77. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 7mg/dm^3 do 10mg/dm^3 .



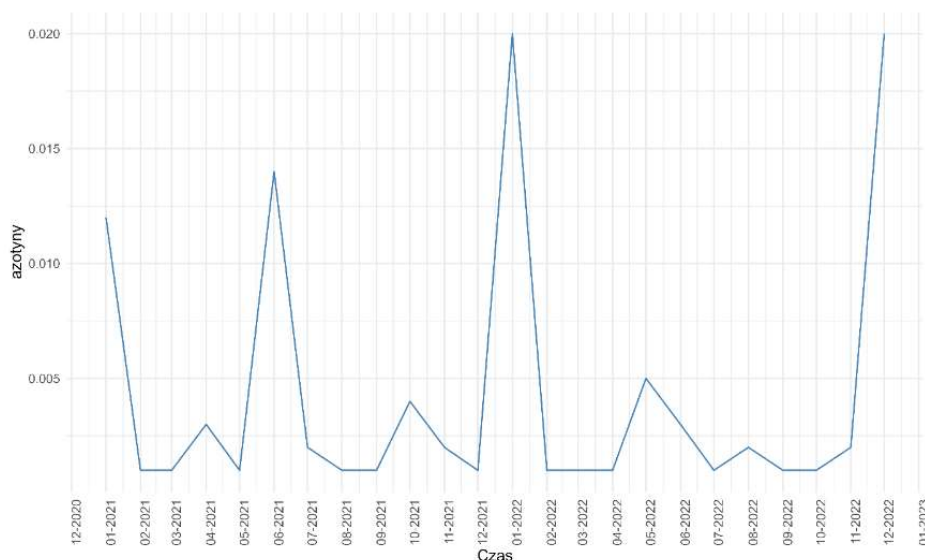
Rys. 9.78. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.78. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 4mg/dm^3 do 16mg/dm^3 .



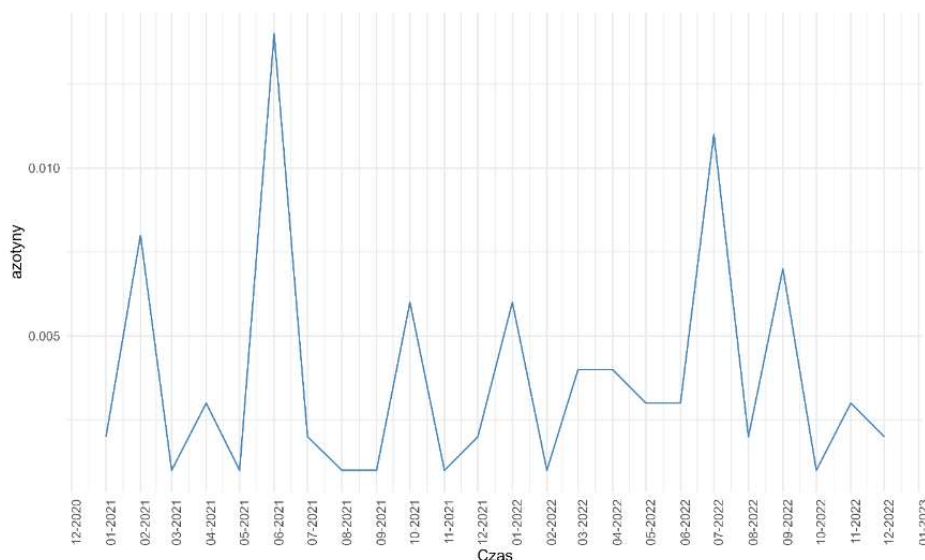
Rys. 9.79. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.79. przedstawiono wykres zmienności zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 4mg/dm³ do 12mg/dm³. Nie odnotowuje się znaczących zmian wartości na całej linii sieci wodociągowej. Jony magnezu mieszczą się w normie dla wody pitnej.



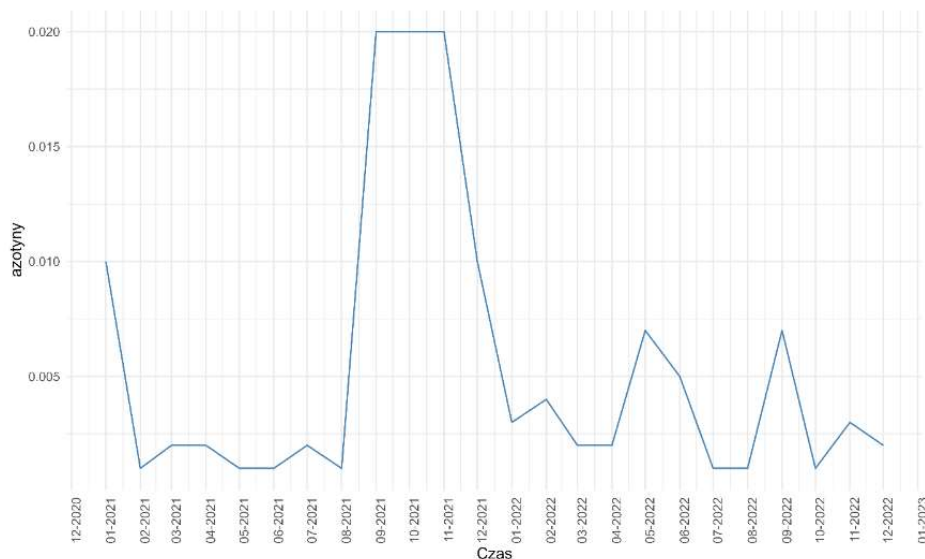
Rys. 9.80. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.80. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0,003mg/dm³ do 0,02mg/dm³. Stosunkowo niskie wartości tego anionu w wodzie nie wpłyną na pogorszenie jej jakości.



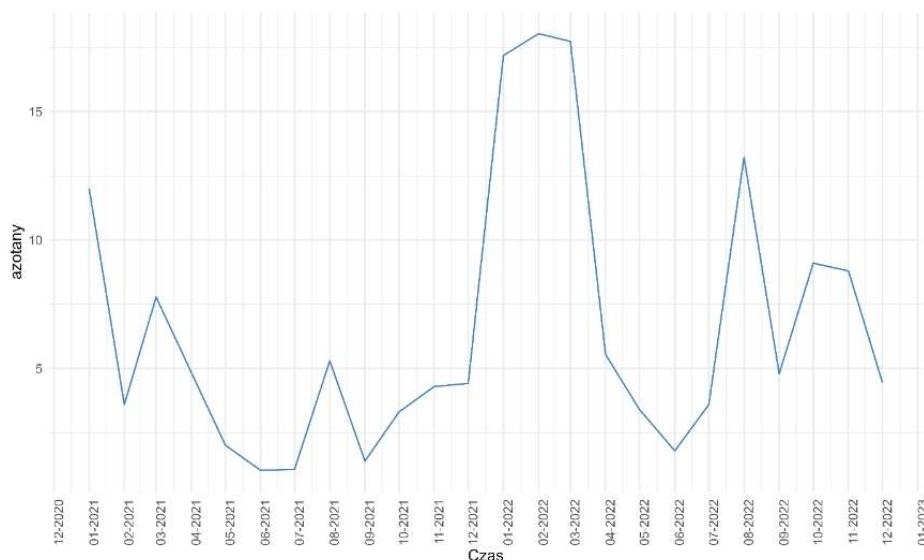
Rys. 9.81. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.81. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują podobnie jak dla pierwszego punktu poboru w granicach od $0,003\text{mg/dm}^3$ do $0,02\text{mg/dm}^3$.



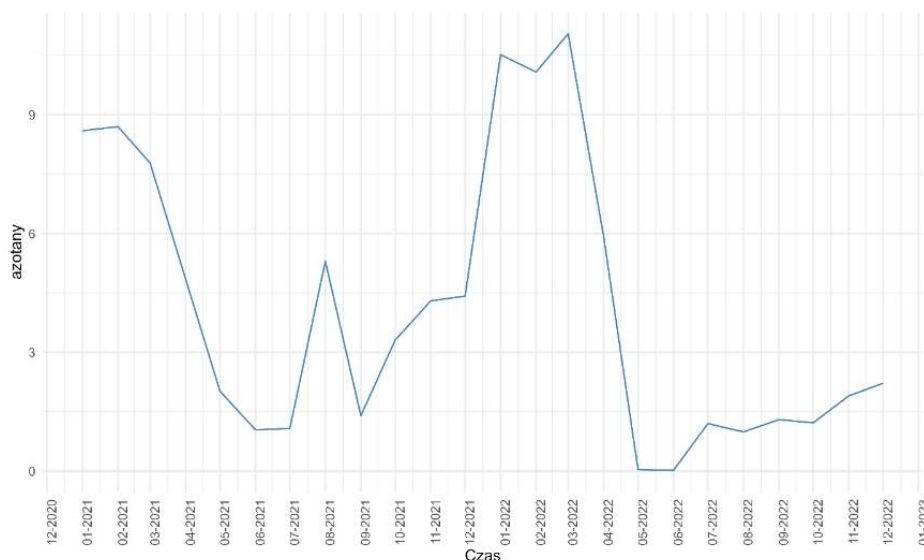
Rys. 9.82. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.82. przedstawiono zmienność azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te niezmiennie oscylują w granicach od $0,003\text{mg/dm}^3$ do $0,02\text{mg/dm}^3$. Dla całej sieci wodociągowej wartości azotynów są w wodzie bezpieczne dla potencjalnych konsumentów.



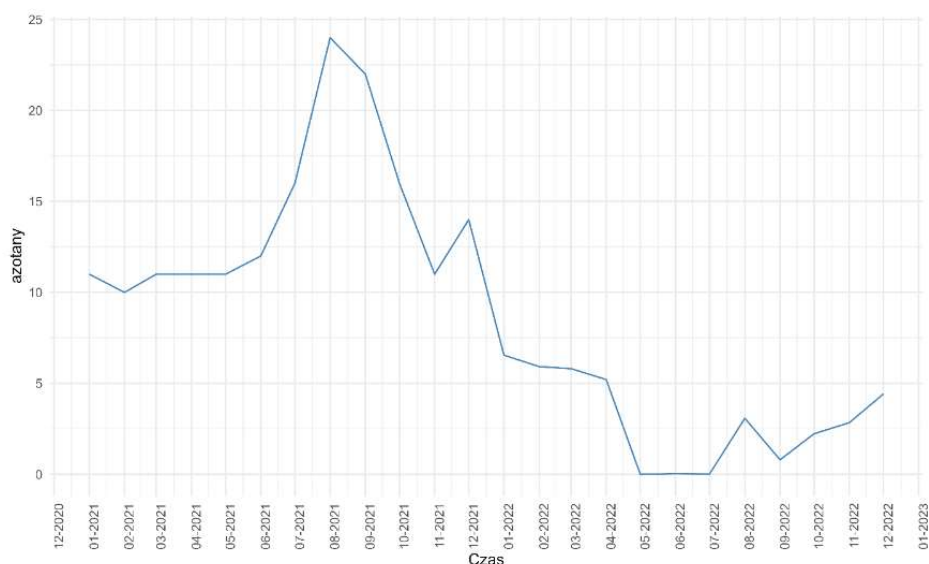
Rys. 9.83. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.83. przedstawiono zmienność azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te są bardzo zmienne i oscylują w granicach od $2,5\text{mg/dm}^3$ do ponad 20mg/dm^3 . Azotanów może być aż 100 razy więcej jak azotynów w wodzie, ponieważ nie są one toksyczne.



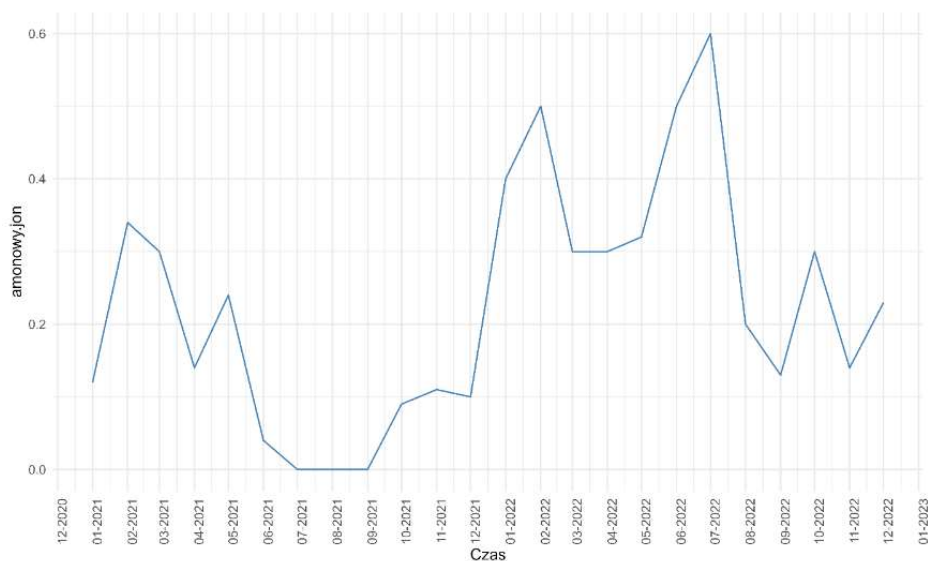
Rys. 9.84. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.84. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do ponad 12mg/dm^3 . Od maja 2022 r. widoczny jest spadek wartości stężenia tego związku w wodzie pitnej.



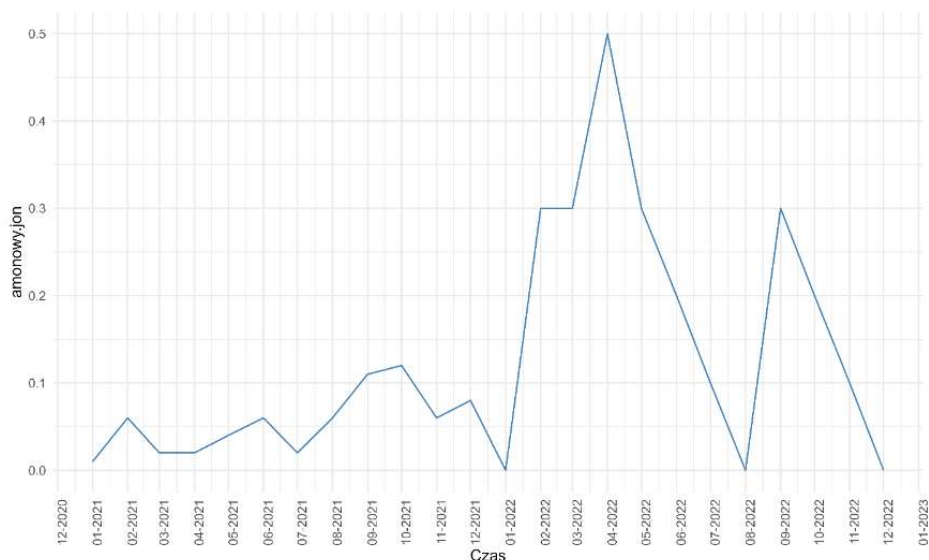
Rys. 9.85. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.85. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm³ do 25mg/dm³ w okresie sierpień – wrzesień 2021r. Następnie widoczny jest spadek tych wartości na przełomie kolejnych badanych miesięcy. Wartości dla całej linii sieci wodociągowej mieszczą się w podobnych granicach z widocznym spadkiem dla ostatnich miesięcy 2022 r.



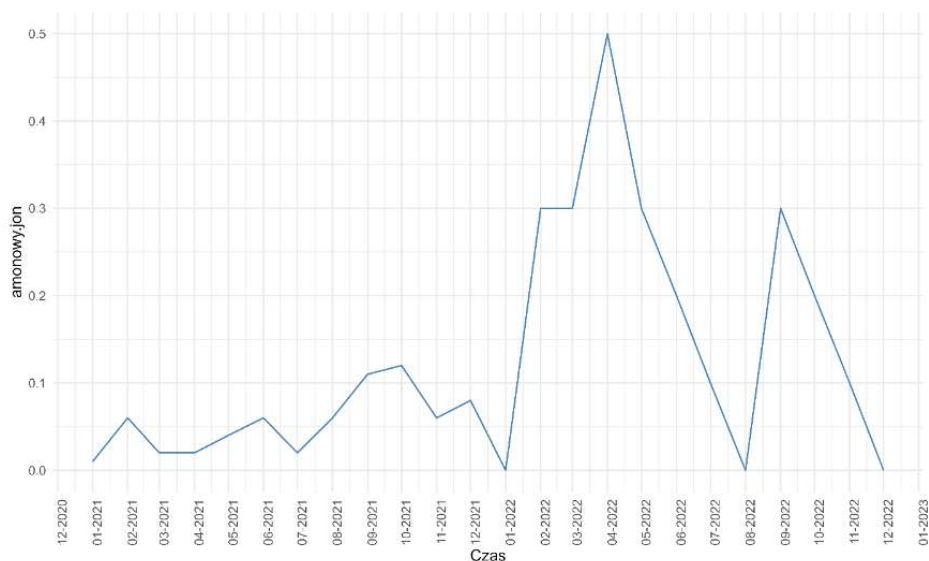
Rys. 9.86. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.86. przedstawiono zmienność zawartości amonowego na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm³ do 0,6mg/dm³ – jest to wartość przekroczona dla dopuszczalnego stężenia tego związku w wodzie. Jest to drobne przekroczenie, nie wpływające na pogorszenie jakości wody z omawianego ujęcia.



Rys. 9.87. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Kołomań

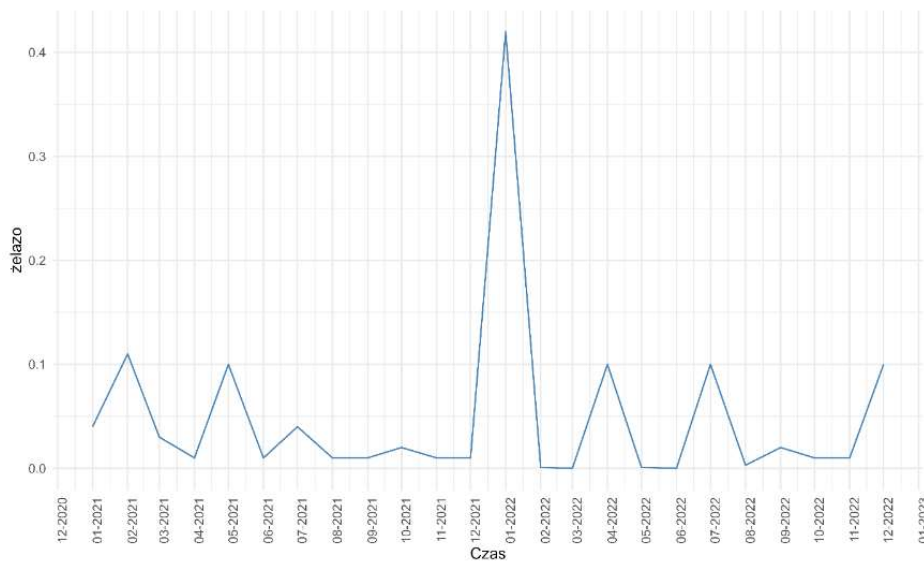
Na rys. 9.87. przedstawiono zmienność zawartości amonowego na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,5\text{mg/dm}^3$ punkt progowy dla dopuszczalnego stężenia tego związku w wodzie.



Rys. 9.88. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Kołomań

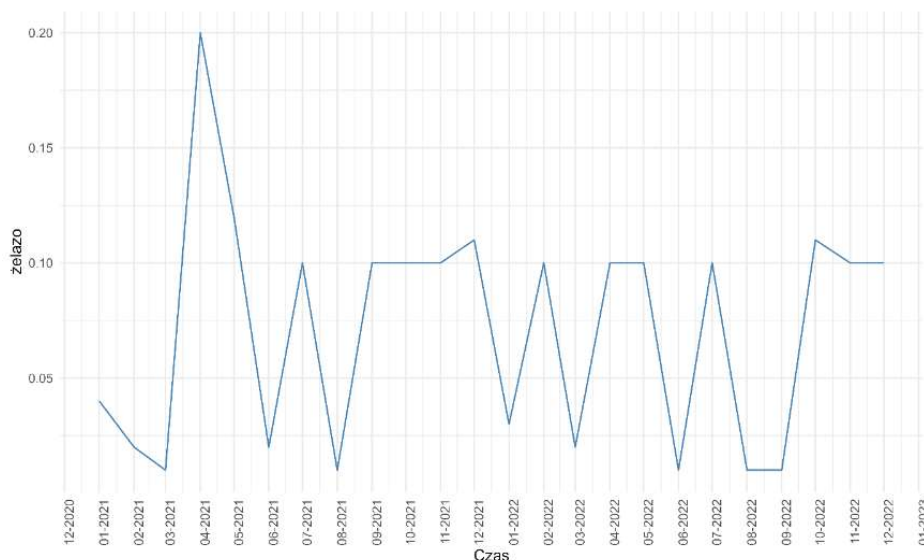
Na rys. 9.88. przedstawiono zmienność zawartości amonowego na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,6\text{mg/dm}^3$ – jest kolejnym przekroczeniem stężenia tego związku w wodzie. Dla całej linii sieci wodociągowej wartości stężenia amonowego jonu są podobne, a ich wyraźny wzrost obserwuje się w okresie wiosennym dla każdego punktu poboru. Może być to spowodowane intensywniejszym nawożeniem pól przez rolników.

9.4.3.3 Ujęcie Wola Kopcowa



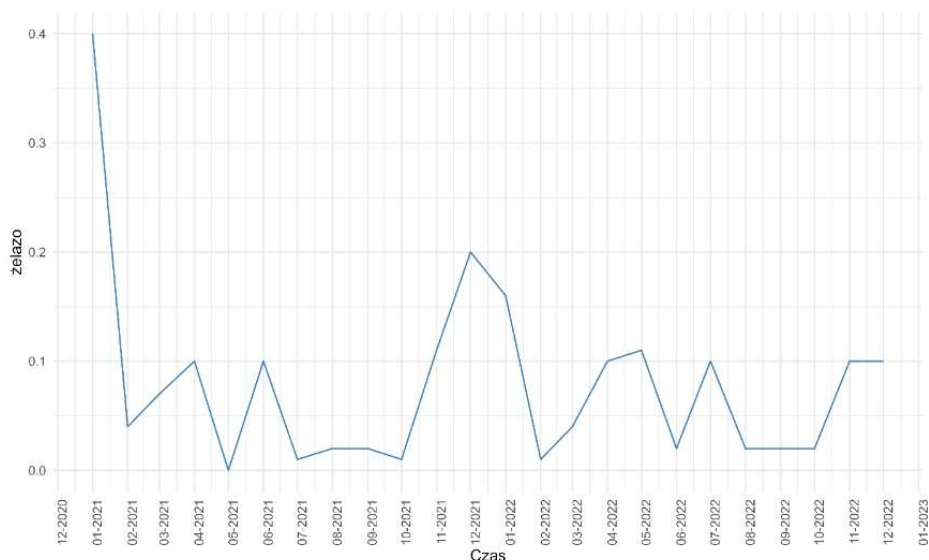
Rys. 9.89. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.88. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do ponad $0,4\text{mg/dm}^3$ w styczniu 2022 r. co jest ponad dwukrotnym przekroczeniem dopuszczalnej wartości.



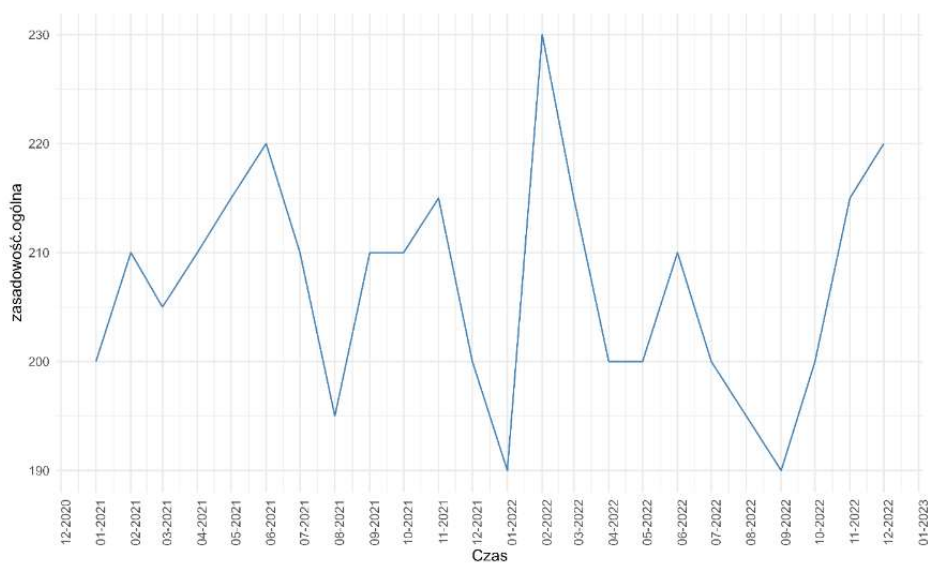
Rys. 9.90. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.90. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości są bardzo zmienne i oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,2\text{mg/dm}^3$ w kwietniu 2021 r. co jest dopuszczalną wartością stężenia tego pierwiastka w wodzie.



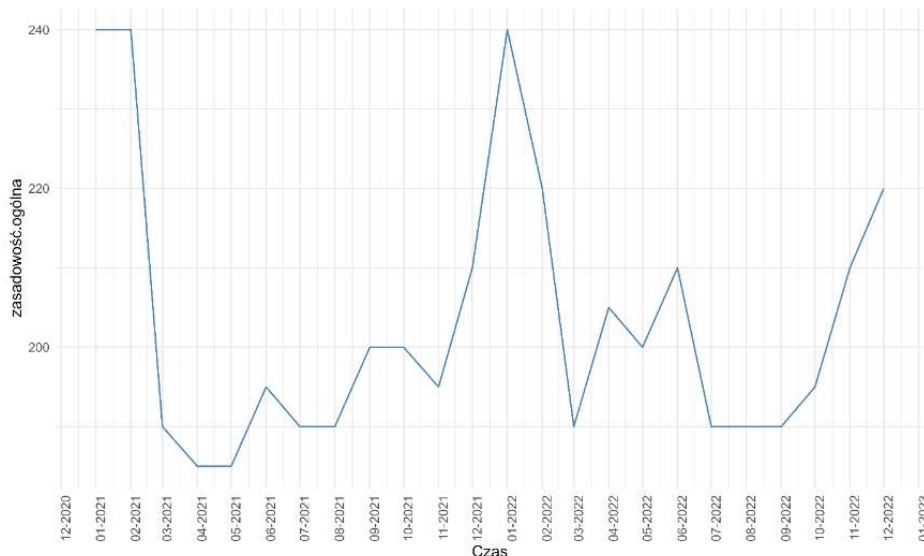
Rys. 9.91. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.91. przedstawiono zmienność zawartości jonów żelaza na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,4\text{mg/dm}^3$ w miesiącu styczeń 2021 r. – jest to dwukrotne przekroczenie dopuszczalnego stężenia dla wody pitnej. W kolejnych miesiącach sytuacja jest w miarę stabilna i stężenie nie przekracza $0,1\text{mg/dm}^3$ z wyjątkiem grudnia 2021 r., gdzie wartość jest na progu dopuszczalnego stężenia. Dla całej linii sieci wodociągowej wartości wskaźników są zmiennie w czasie, w większości badanych miesięcy nie przekraczają dopuszczalnych stężeń dla wody pitnej.



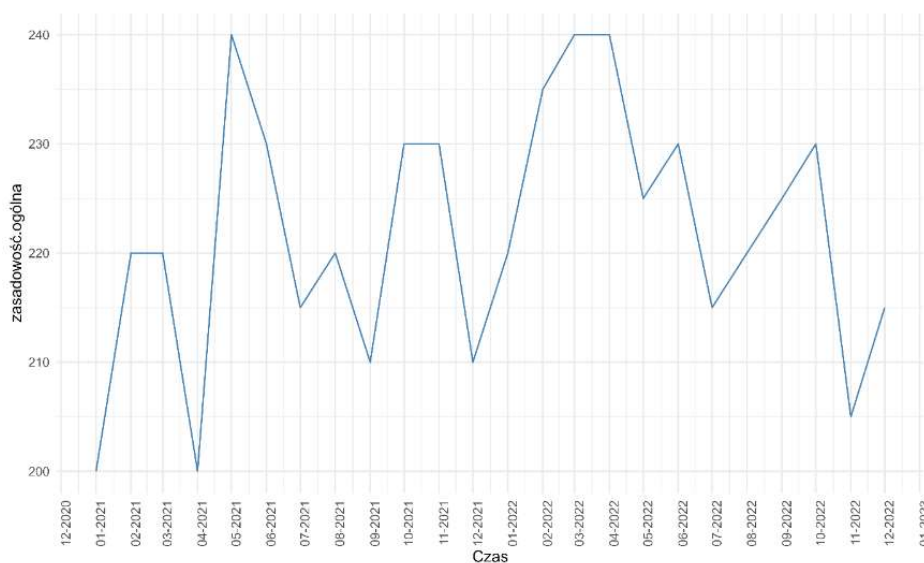
Rys. 9.92. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.92. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 100g/dm³ do 230mg/dm³. Widoczny jest tu wzrost wartości względem badanych pozostałych dwóch ujęć sieci wodociągowych – Bolechowice oraz Kołomań.



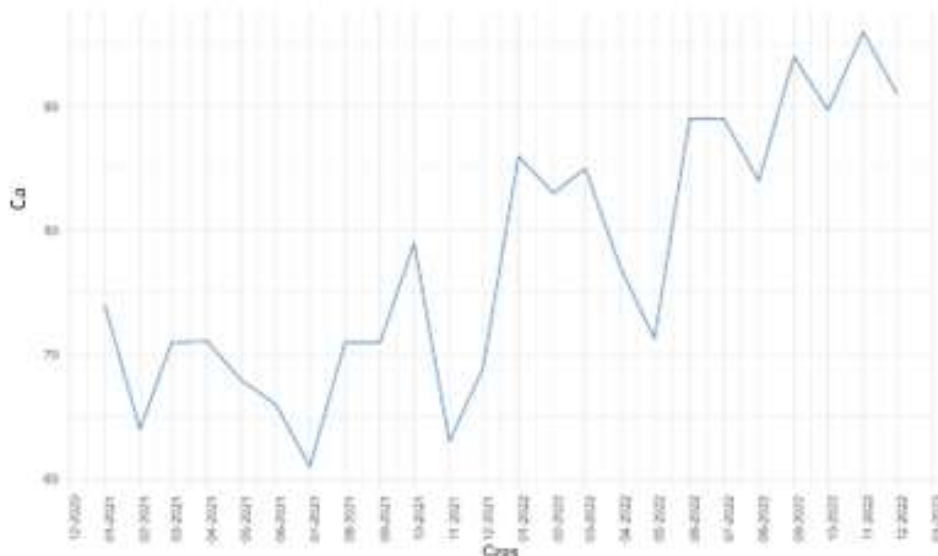
Rys. 9.93. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.93. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości są bardzo zmienne i oscylują w granicach od 170mg/dm³ do 240mg/dm³.



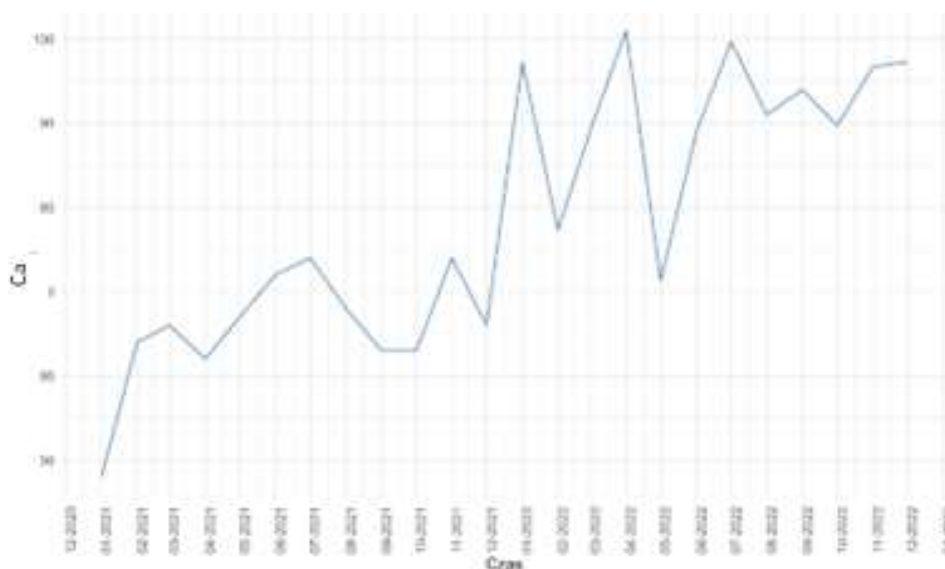
Rys. 9.94. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.92. przedstawiono zmienność zawartości zasadowości og. na przestrzeni 24 miesięcy trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 200mg/dm³ do 240mg/dm³. Widoczna jest nieznaczna tendencja wzrostu zasadowości ogólnej wraz z przepływem wody przez sieć wodociągową.



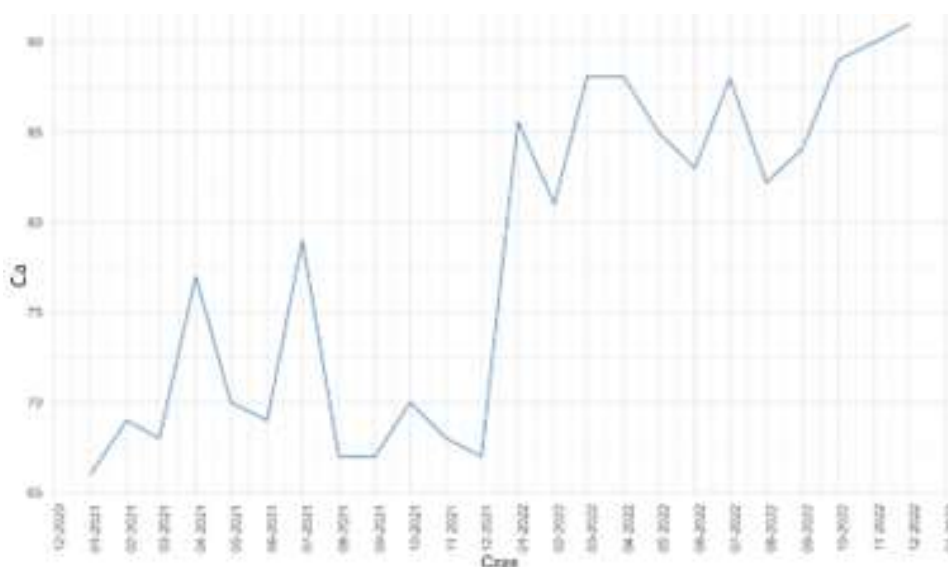
Rys. 9.95. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.95. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 40mg/dm³ do 100mg/dm³. Widoczny jest wzrost stężenia jonów wapnia względem dwóch pozostałych badanych ujęć Bolechowice oraz Kołomań. Wartości jednak nie przekraczają dozwolonych norm dla wody pitnej.



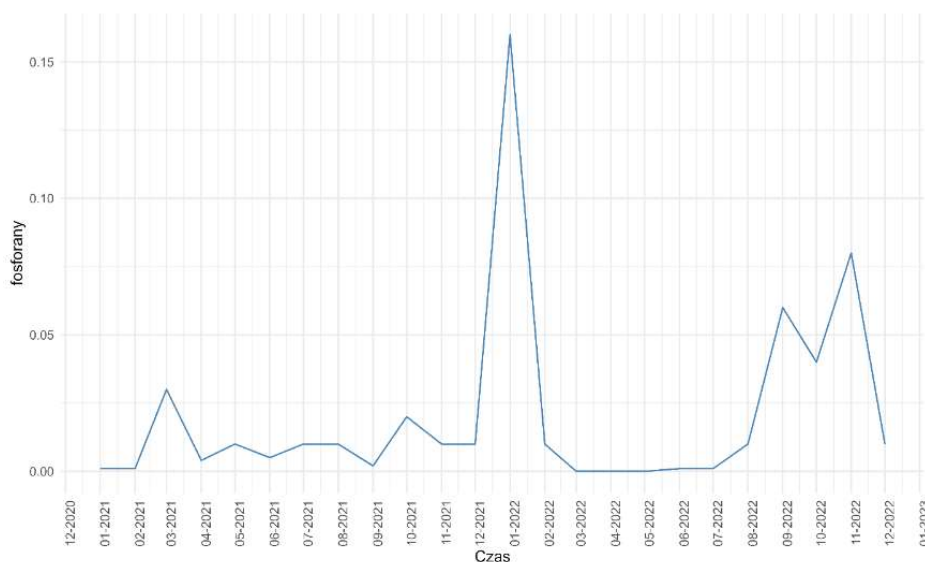
Rys. 9.96. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.96. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 50mg/dm³ do 100mg/dm³.



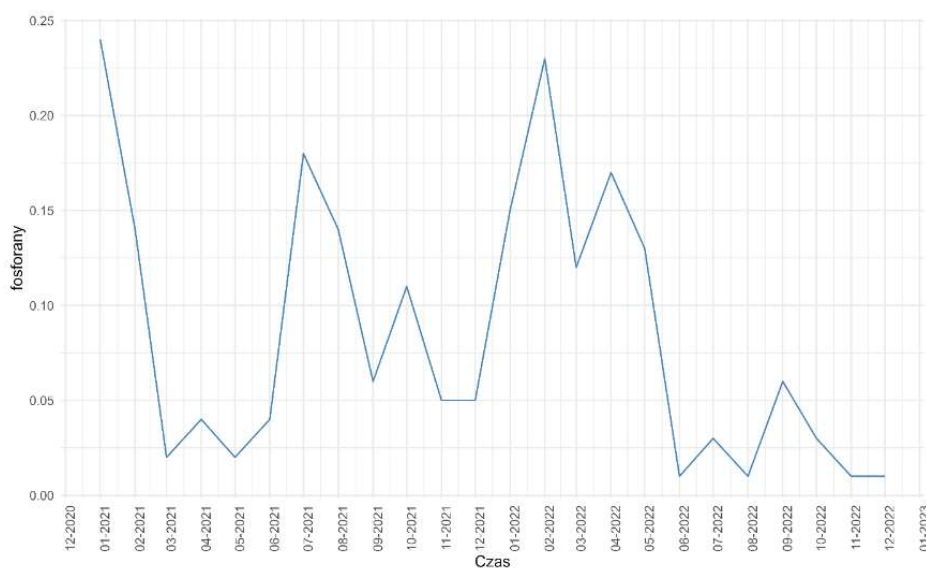
Rys. 9.97. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.97. przedstawiono zmienność zawartości jonów wapnia na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 65mg/dm³ do 95mg/dm³. Nie obserwuje się znaczących zmian wartości tego pierwiastka dla całego odcinka sieci wodociągowej.



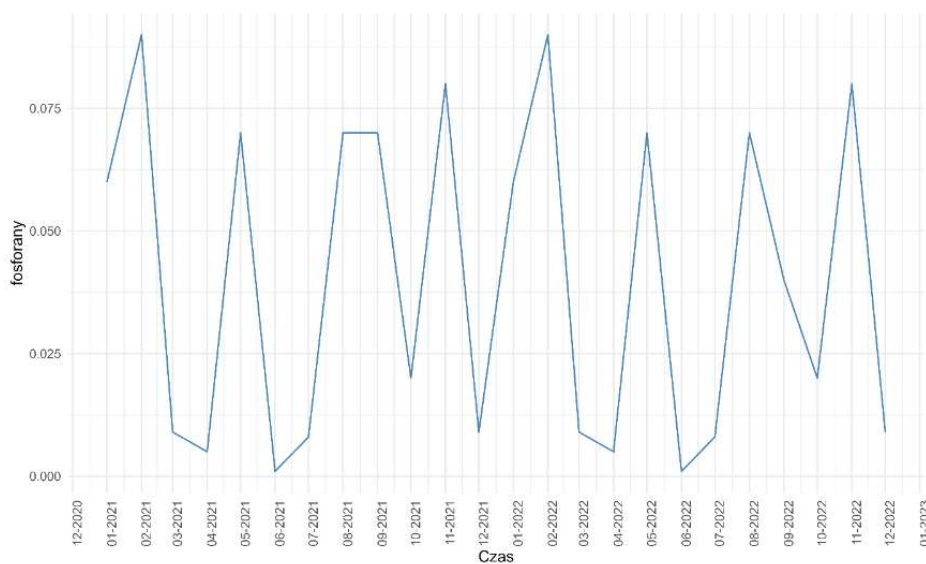
Rys. 9.98. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.98. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od $0\text{mg}/\text{dm}^3$ do $0,16\text{mg}/\text{dm}^3$.



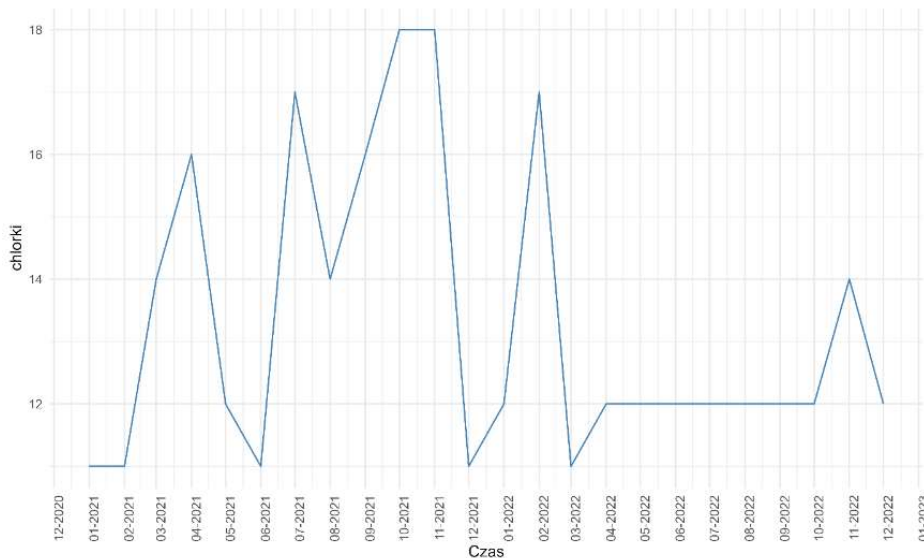
Rys. 9.99. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.99. przedstawiono zmienność zawartości ortofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od $0,02\text{mg}/\text{dm}^3$ do $0,23\text{mg}/\text{dm}^3$. Od maja 2022 r. widoczny jest spadek wartości stężenia tego związku w wodzie.



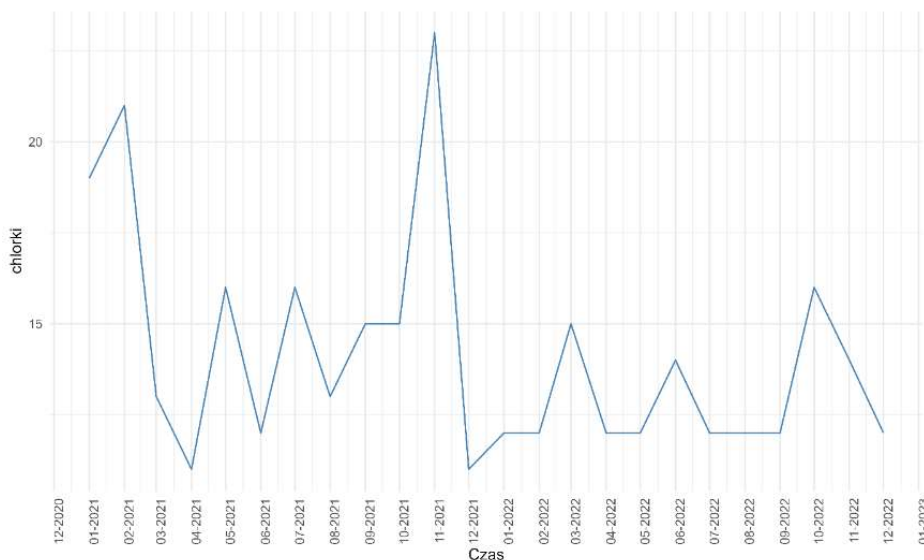
Rys. 9.100. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.100. przedstawiono zmienność zawartości otofosforanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te są bardzo zmienne i oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,08\text{mg/dm}^3$, są to wartości najniższe dla całej sieci wodociągowej.



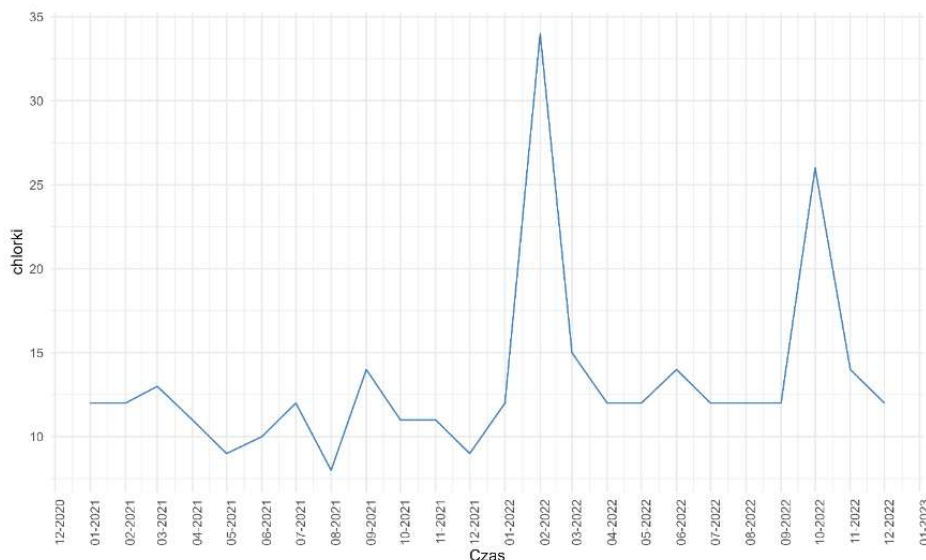
Rys. 9.101. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.101. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te są zmienne dla badanego okresu czasu, oscylują w granicach od 10mg/dm^3 do 18mg/dm^3 .



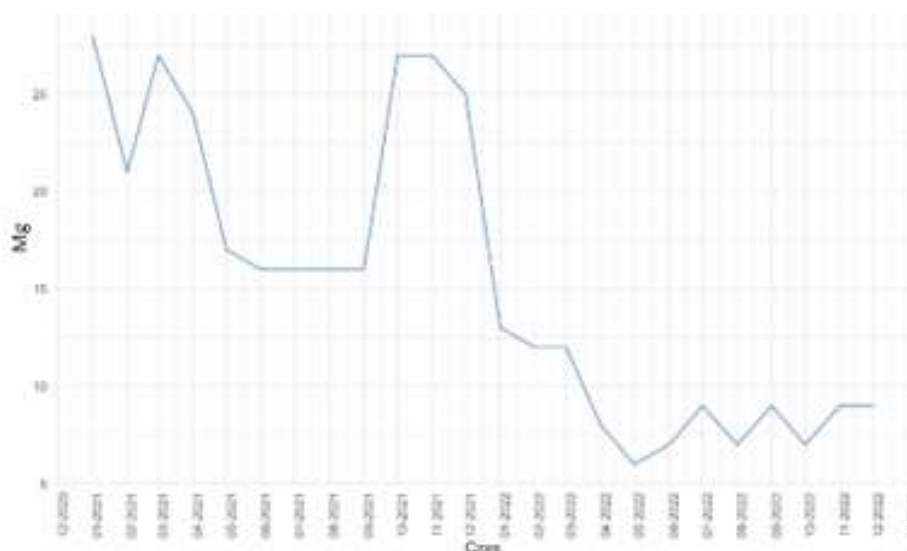
Rys. 9.102. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.102. przedstawiono zmienność zawartości chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 8mg/dm³ do 27mg/dm³. Wartości te są trochę większe jak dla pierwszego punktu poboru.



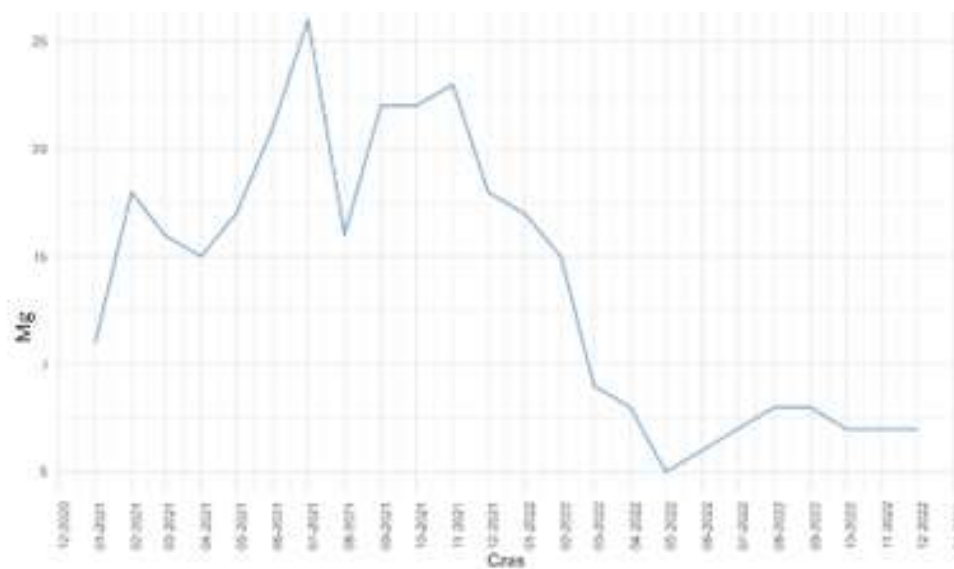
Rys. 9.103. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.103. przedstawiono zmienność chlorków na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 7mg/dm³ do 34mg/dm³. Nie obserwuje się znaczących zmian wartości tego pierwiastka dla całej sieci wodociągowej.



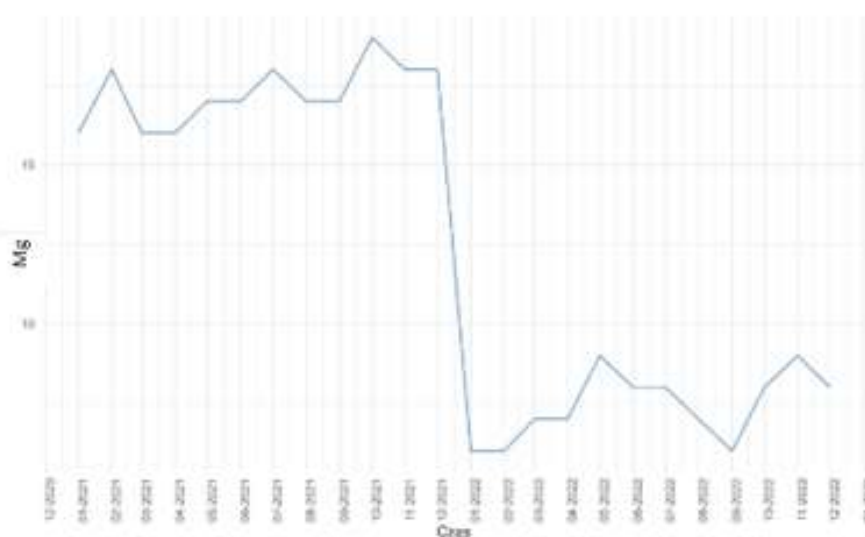
Rys. 9.104. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.104. przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 5mg/dm³ do 30mg/dm³. Jony magnezu wraz z jonami wapnia tworzą twardość węglanową, która jest istotna do określenia rodzaju wody – bardzo miękka, miękka, o średniej twardości, twarda oraz bardzo twarda.



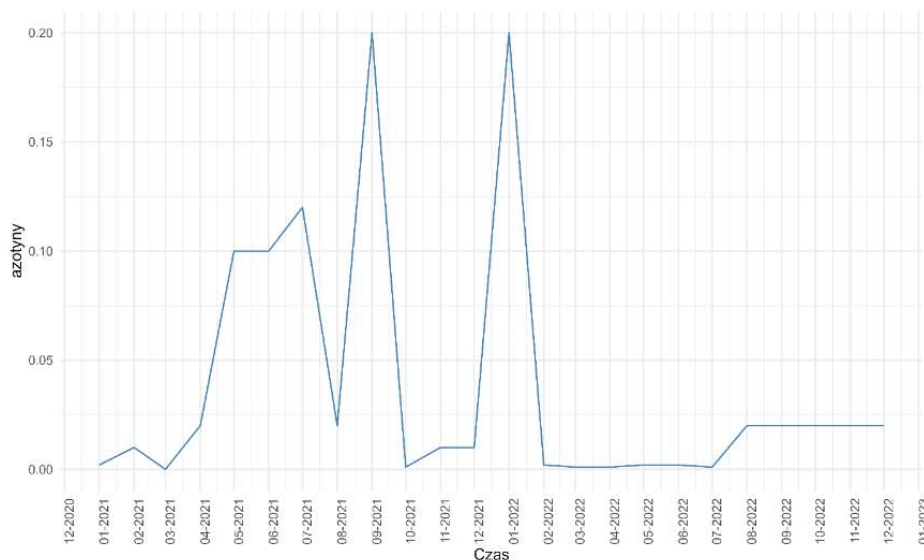
Rys. 9.105. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.105 przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w podobnych granicach jak dla pierwszego punktu poboru od 5mg/dm³ do 27mg/dm³. Od października 2022 r. obserwuje się spadek stężenia jonów wapnia w wodzie.



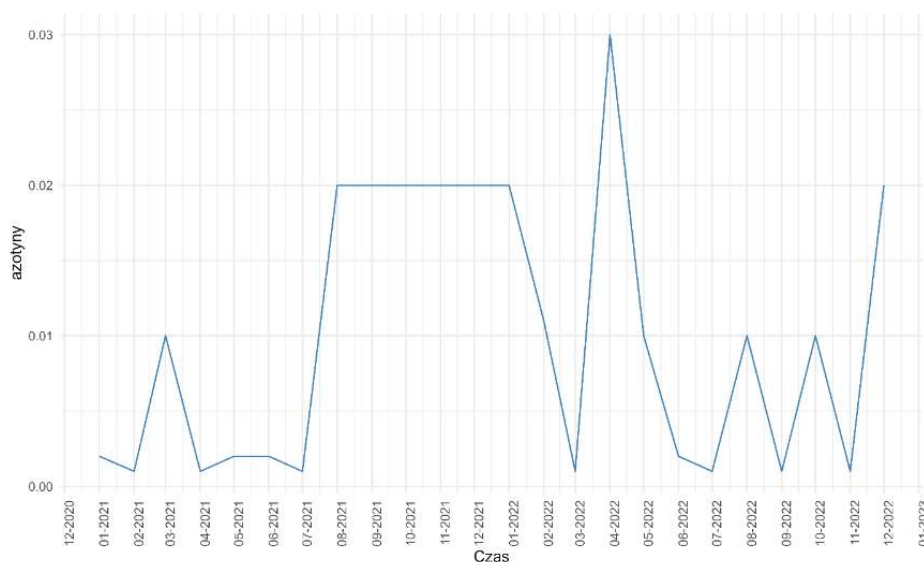
Rys. 9.106. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.106 przedstawiono zmienność zawartości jonów magnezu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 5mg/dm^3 do 18mg/dm^3 . Do stycznia 2022 r. wartości są powyżej 15mg/dm^3 , natomiast od stycznia 2022 r. widoczny jest ich znaczny spadek. Wskaźniki jakości dla całej sieci wodociągowej nie wykazują tendencji do znaczących zmian na całej linii sieci wodociągowej.



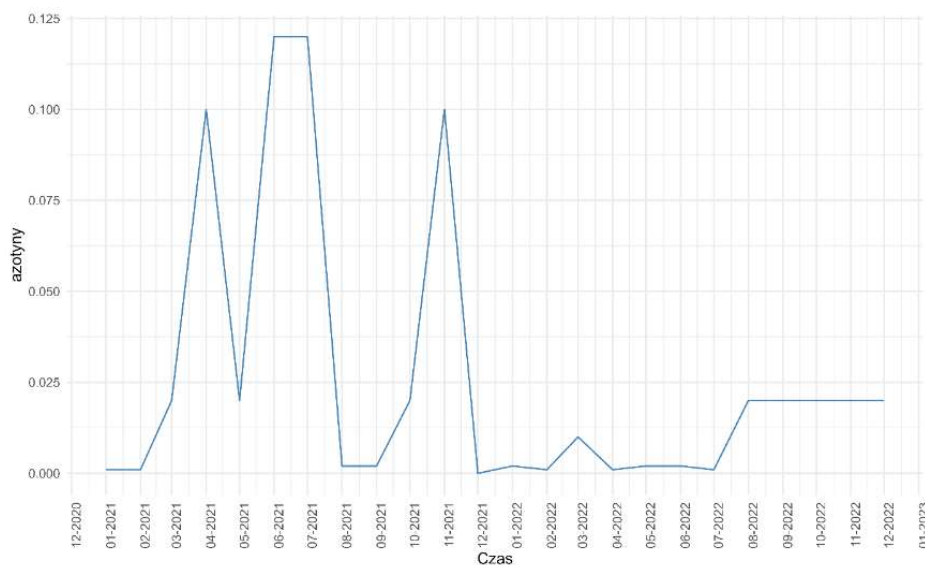
Rys. 9.107. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.107. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,2\text{mg/dm}^3$, często przyjmuje wartości zbliżone do 0mg/dm^3 .



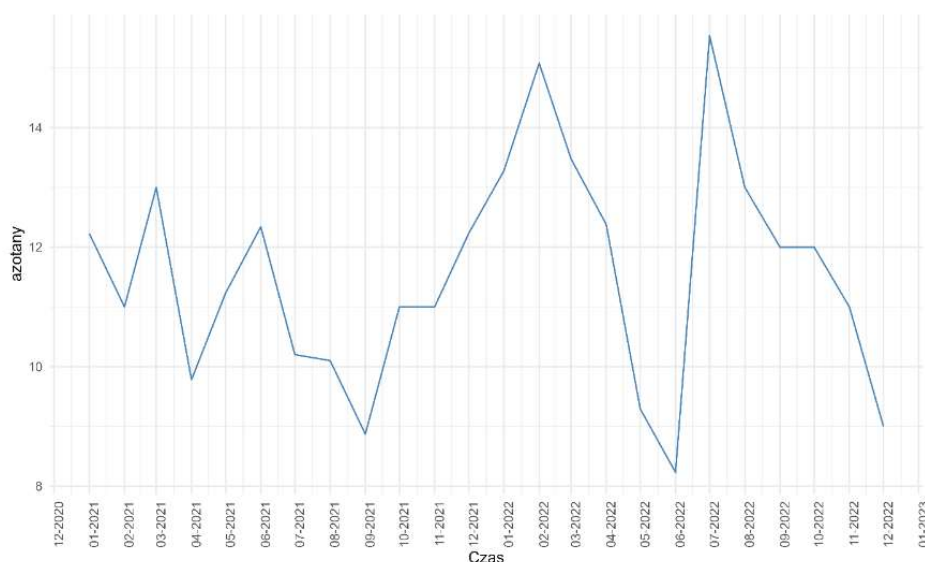
Rys. 9.108. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.108. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te są zmienne i oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,03\text{mg/dm}^3$.



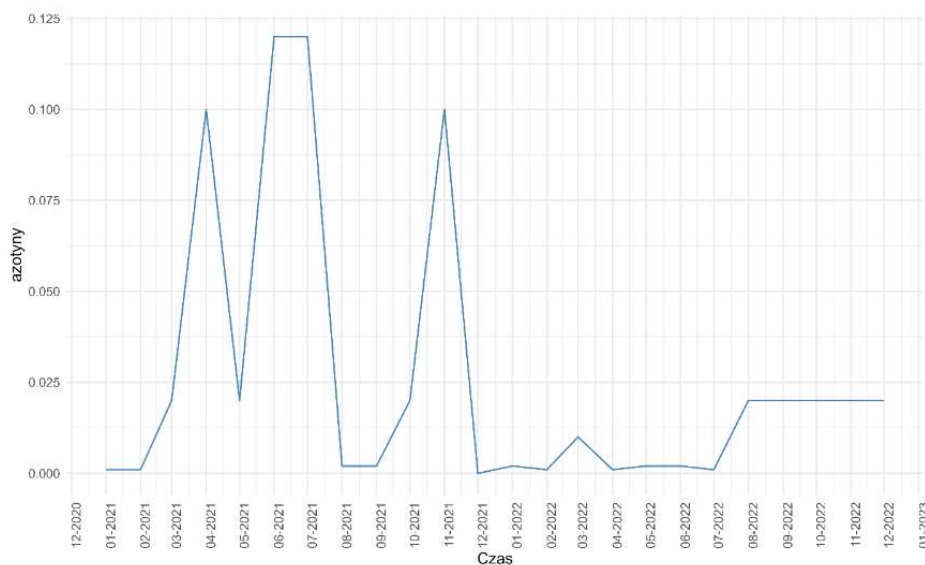
Rys. 9.109. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.109. przedstawiono zmienność zawartości azotynów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm^3 do $0,12\text{mg/dm}^3$.



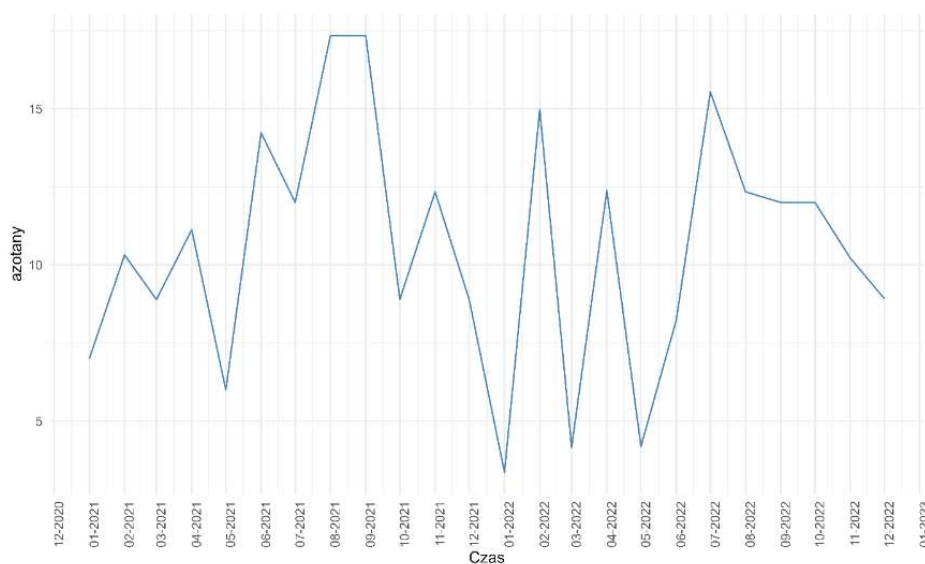
Rys. 9.110. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.110. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 2mg/dm³ do 17mg/dm³.



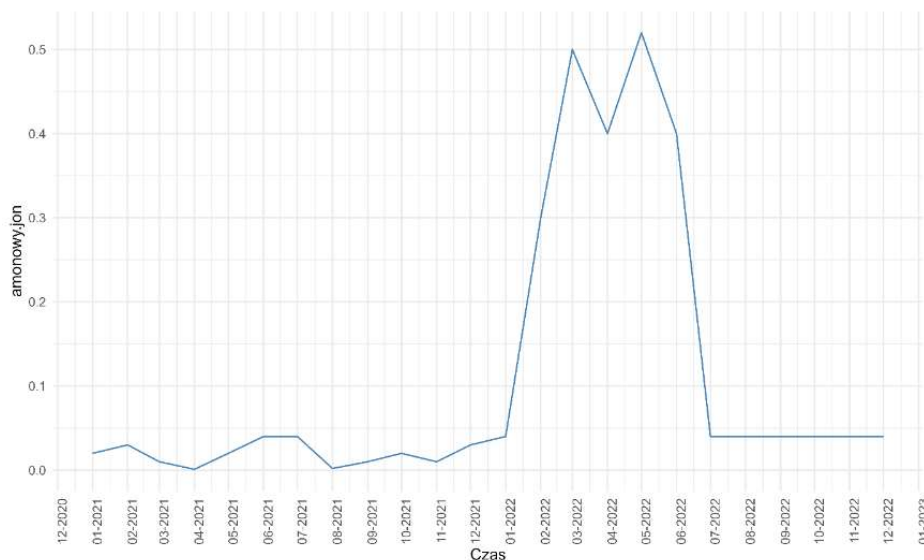
Rys. 9.111. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.111. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm³ do 0,12mg/dm³.



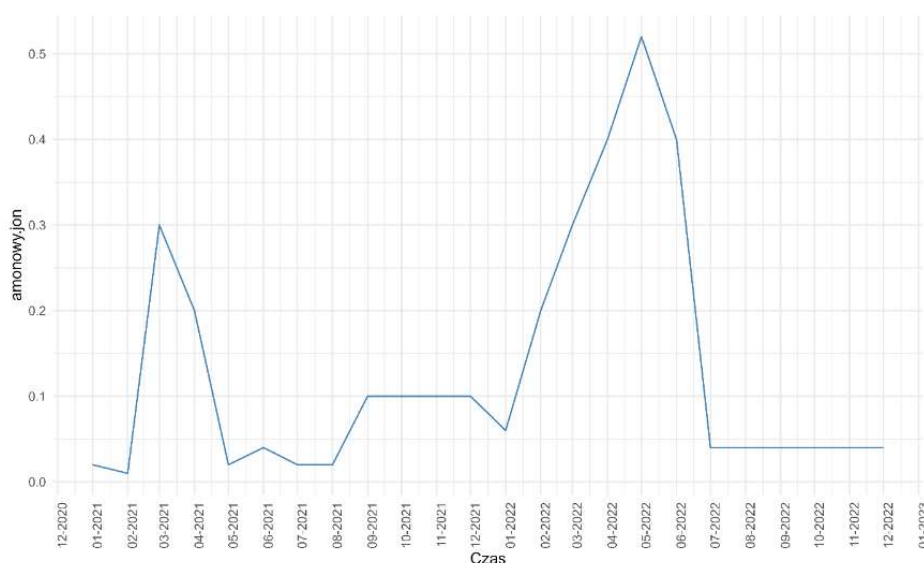
Rys. 9.112. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.112. przedstawiono zmienność zawartości azotanów na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te różnorodne i oscylują w granicach od $0\text{mg}/\text{dm}^3$ do $20\text{mg}/\text{dm}^3$. Na całej sieci wodociągowej nie ma znaczących zmian wartości stężenia tego związku w wodzie, a także nie odnotowuje się przekroczeń norm dopuszczalnych dla wody pitnej.



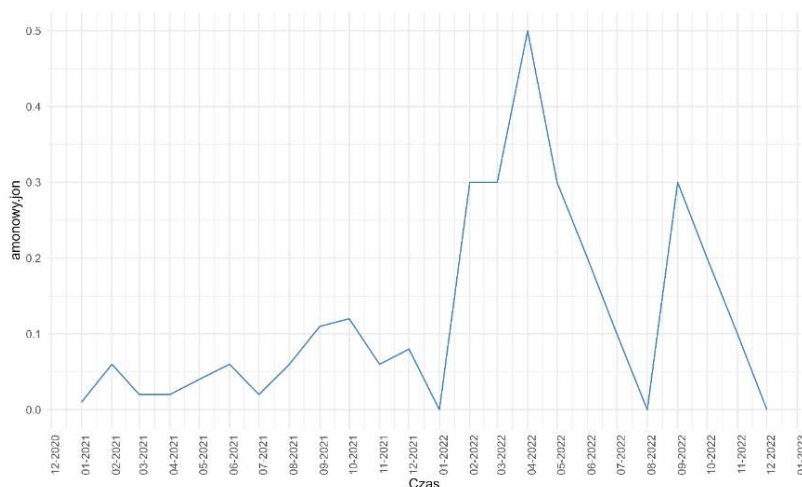
Rys. 9.113. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.113. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od $0\text{mg}/\text{dm}^3$ do $0,5\text{mg}/\text{dm}^3$ – wartość progowa dla dopuszczalnego stężenia tego związku w wodzie. widoczny znaczny wzrost wartości od lutego do czerwca 2022 r.



Rys. 9.114. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.114. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują w granicach od 0mg/dm³ do 0,5mg/dm³.



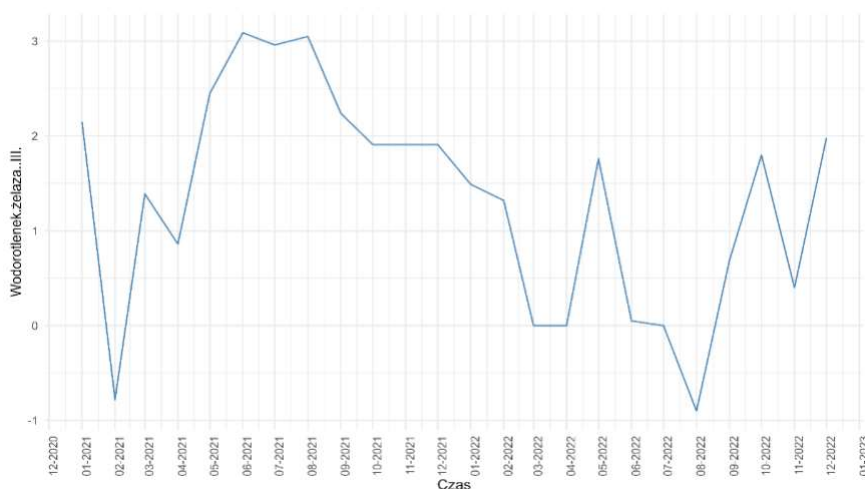
Rys. 9.115. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.115. przedstawiono zmienność zawartości amonowego jonu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Wartości te oscylują niezmiennie w granicach od 0mg/dm³ do 0,5mg/dm³, z wyraźnymi wzrostami w miesiącach wiosennych 2022 r. odnotowuje się kilka przekroczeń tej wartości na całej linii sieci wodociągowej.

9.4.4 Analiza stanu stabilności chemicznej wody na przestrzeni czasu dla 3 wybranych punktów na sieci wodociągowej – ujęcie, środek sieci oraz koniec sieci

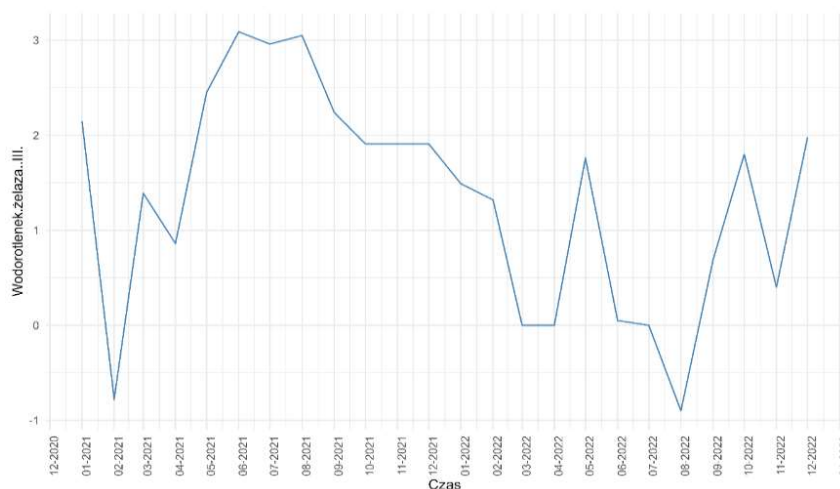
Indeksy stabilności chemicznej wyznaczono przy temp. wody równej 10°C.

9.4.3.3 Bolechowice



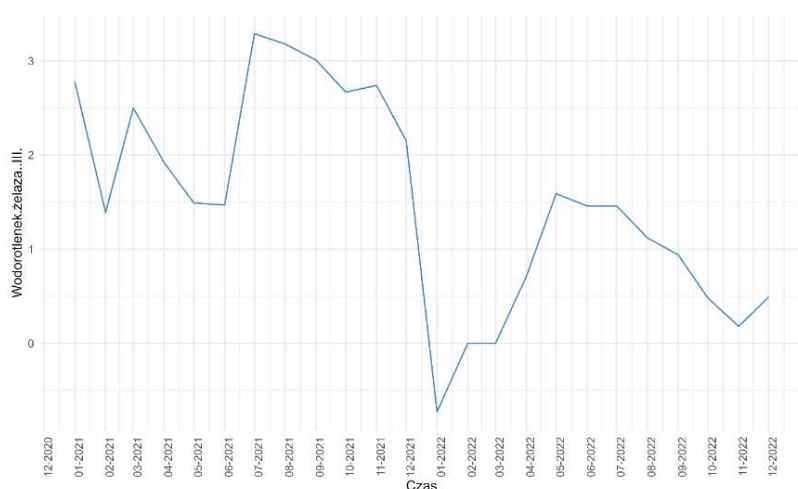
Rys. 9.116. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.116. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1 do 3. Oznacza to, że dla ujemnych wartości w lutym 2021 r. oraz sierpniu 2022 r. ten wodorotlenek będzie się w wodzie rozpuszczał, w marcu, kwietniu oraz czerwcu 2022 r. przyjmując wartość równą 0 pozostaje w wodzie w równowadze, natomiast w pozostałych miesiącach, przyjmując wartości dodatnie może wytrącać się z wody.



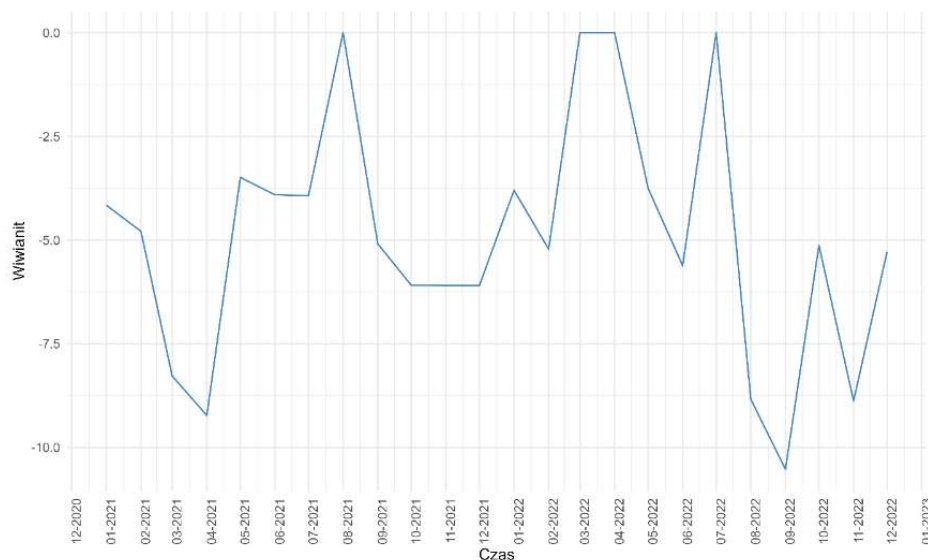
Rys. 9.117. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.117. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują podobnie jak dla pierwszego punktu poboru w granicach od -1 do 3.



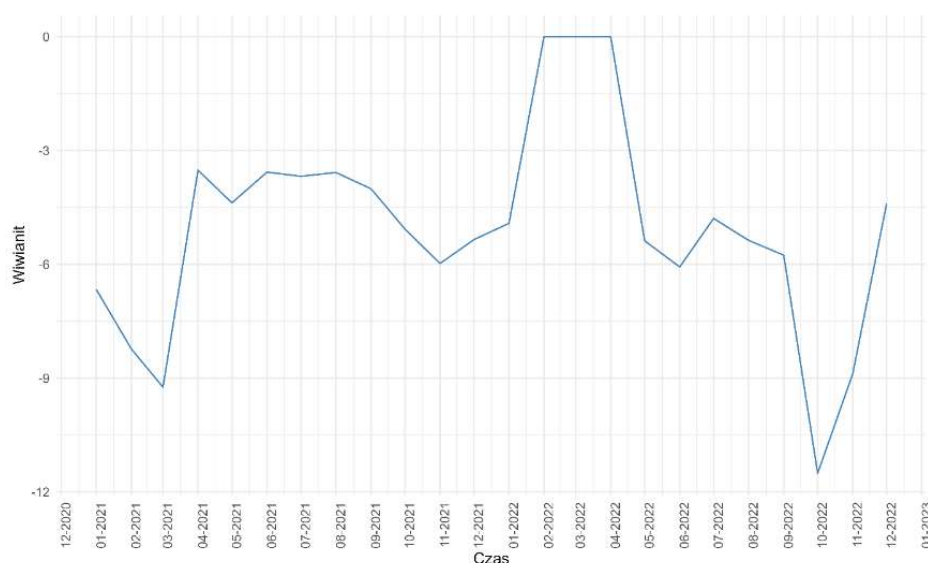
Rys. 9.118. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.118. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują niezmiennie w granicach od -0,5 (wartość progowa dla, której minerał pozostaje w równowadze z wodą) do ponad 3. Indeksy stabilności chemicznej utrzymują się na podobnym poziomie dla całej sieci wodociągowej.



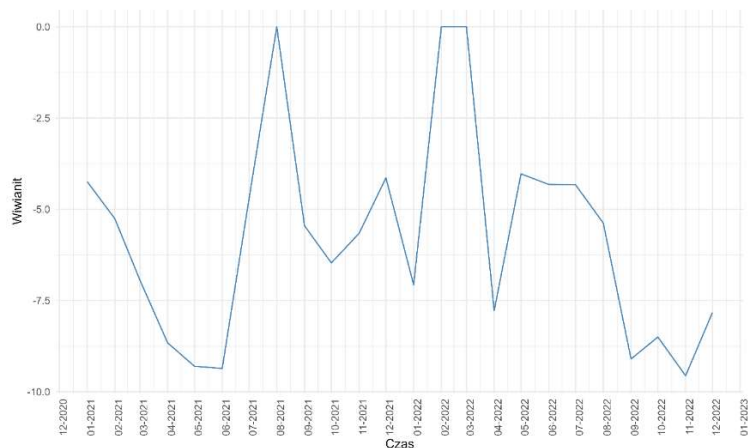
Rys. 9.119. Indeksy stabilności chemicznej wianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.119. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do 0. Minerał ten będzie się w wodzie rozpuszczał, ale też dla kilku miesięcy pozostaje w równowadze z wodą.



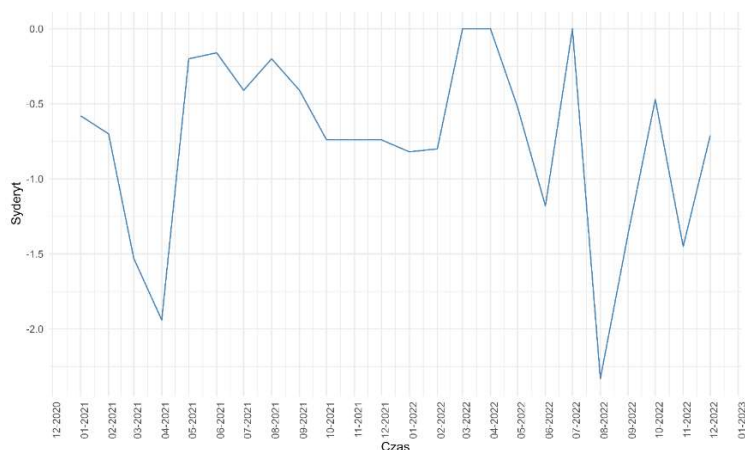
Rys. 9.120. Indeksy stabilności chemicznej wianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.120. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wiwianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -12(najwyższa wartość w październiku 2022 r.) do 0. Minerál ten będzie się głównie rozpuszczał, zaledwie dla 3 miesięcy pozostaje w równowadze z wodą.



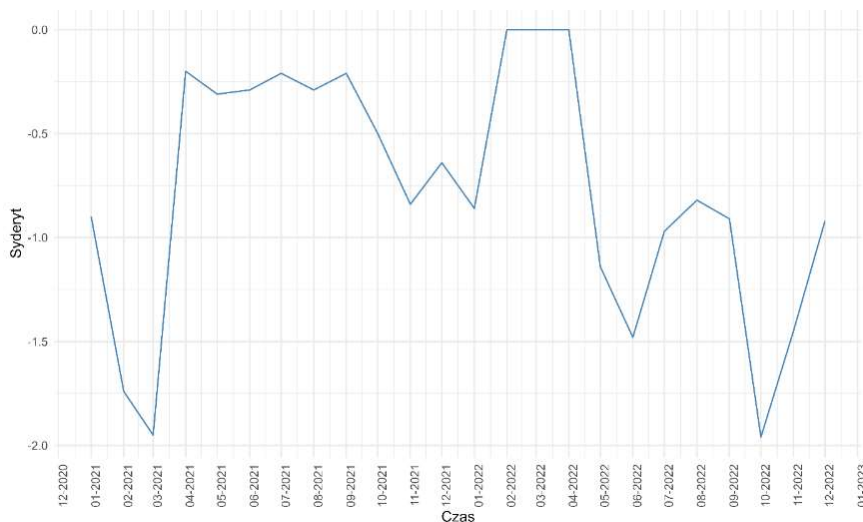
Rys. 9.121. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.121. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wiwianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do 0. Minerál ten będzie się głównie rozpuszczał, zaledwie dla kilku miesięcy pozostaje w równowadze z wodą. Wiwianit pojawia się w wodach zawierających w swoim składzie fosforany, ponieważ sam wywodzi się z gromady tego związku chemicznego. Dla całej linii sieci wodociągowej zachowuje podobne wartości indeksów stabilności chemicznej.



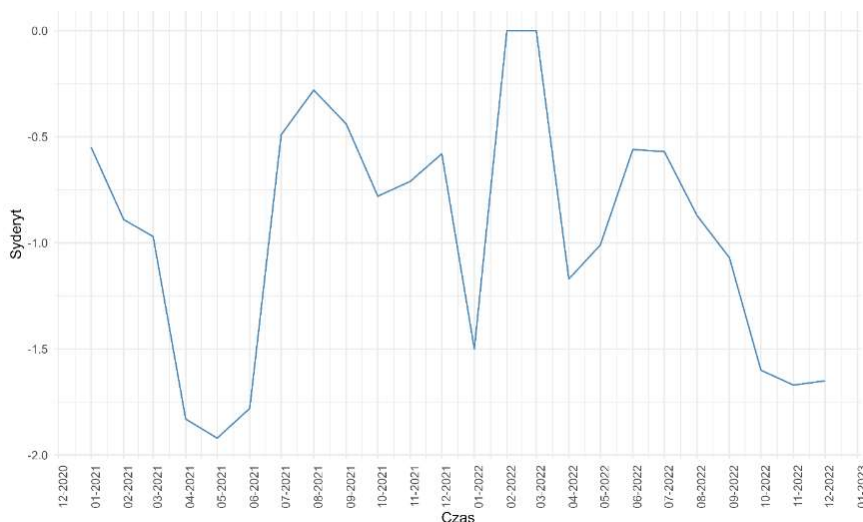
Rys. 9.122. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.122. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,5 do 0. Minerale ten będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, ale także dla kilku miesięcy pozostawał z nią w stanie równowagi.



Rys. 9.123. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

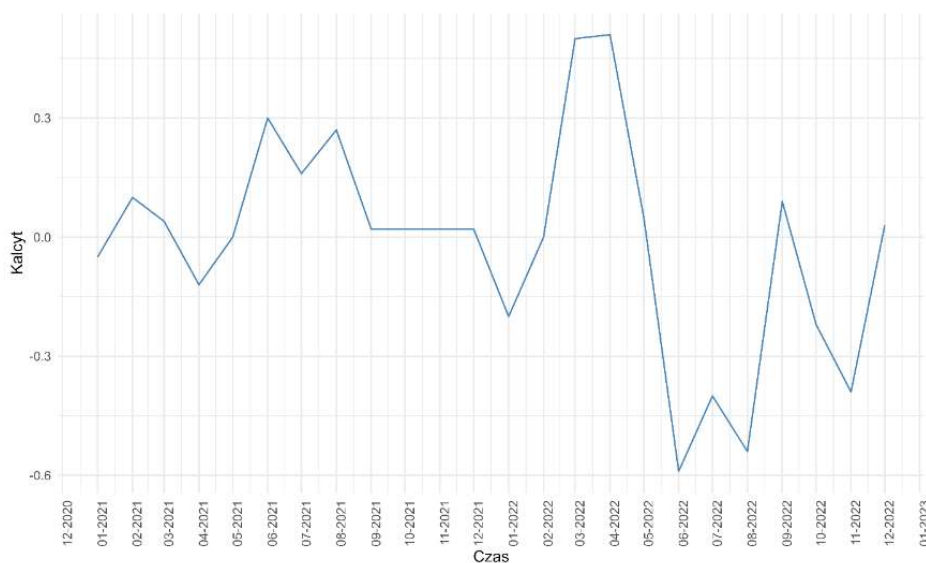
Na rys. 9.123. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2 do 0. Minerale ten aż dla 14 badanych miesięcy będzie pozostawał w stanie równowagi z wodą, dla pozostałych będzie się w niej rozpuszczał.



Rys. 9.124. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

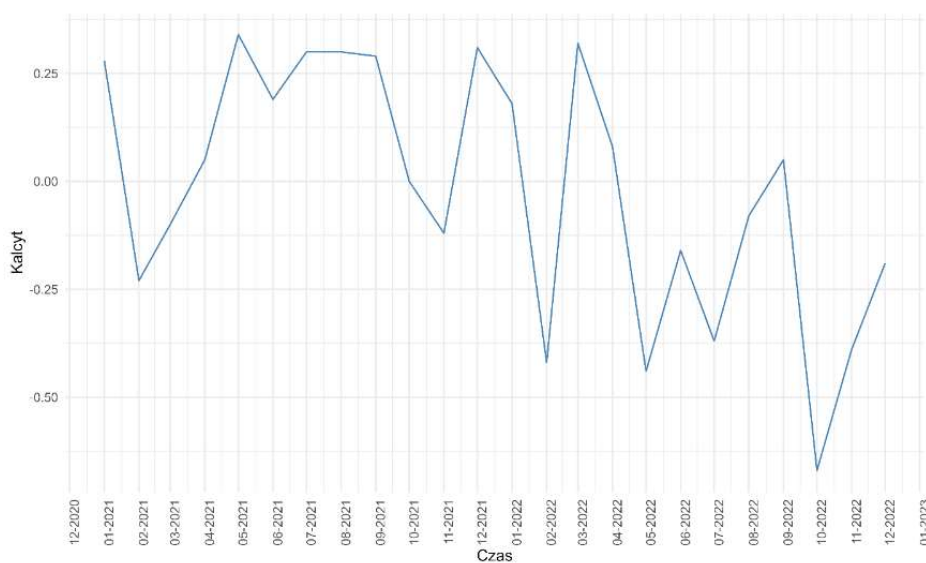
Na rys. 9.124. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności

chemicznej podobnie jak dla punktu poboru drugiego oscylują w granicach od -2do 0. Syderyt jest minerałem z grupy węglanowych. Indeksy stabilności chemicznej dla tego minerału zachowują podobne wartości na całej linii sieci wodociągowej.



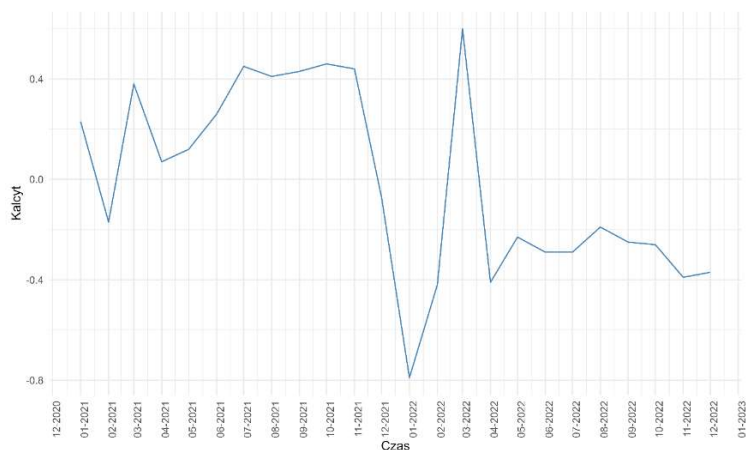
Rys. 9.125. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.125. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu poboru drugiego oscylują w granicach od -0,5do 0,5. Oznacza to, że dla wszystkich badanych miesięcy pozostaje w stanie równowagi z wodą.



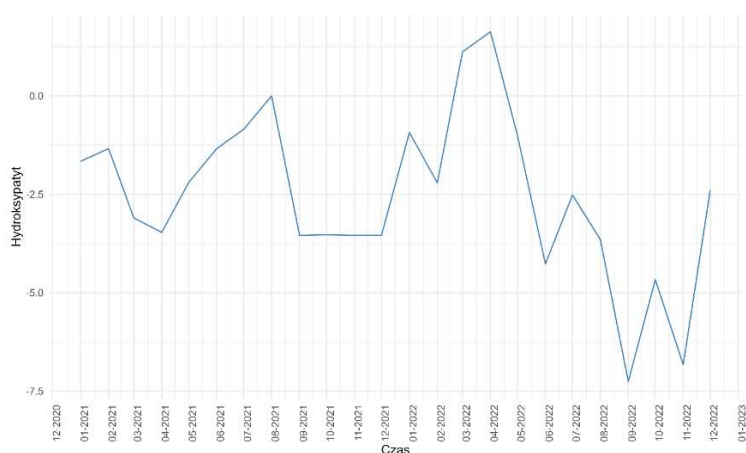
Rys. 9.126. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.126. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu poboru drugiego oscylują w granicach od -0,75 do 0,3. Oznacza to, że dla wszystkich badanych miesięcy z wyjątkiem października 2022 r. pozostaje w stanie równowagi z wodą.



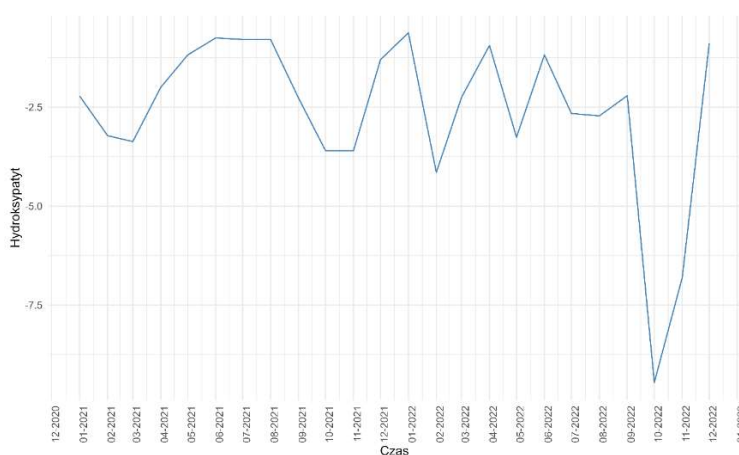
Rys. 9.127. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.127. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu poboru drugiego oscylują w granicach od -0,8 do 0,6. Oznacza to, że dla większości badanych miesięcy z wyjątkiem stycznia oraz marca 2022 r. pozostaje w stanie równowagi z wodą. Kalcyt pojawia się w wodach, które w swoim składzie posiadają wapń, ponieważ łącząc się z nim tworzy węglany wapnia. Dla całej badanej sieci wodociągowej przyjmuje wartości bliskie bądź równe pozostawania z wodą w stanie równowagi.



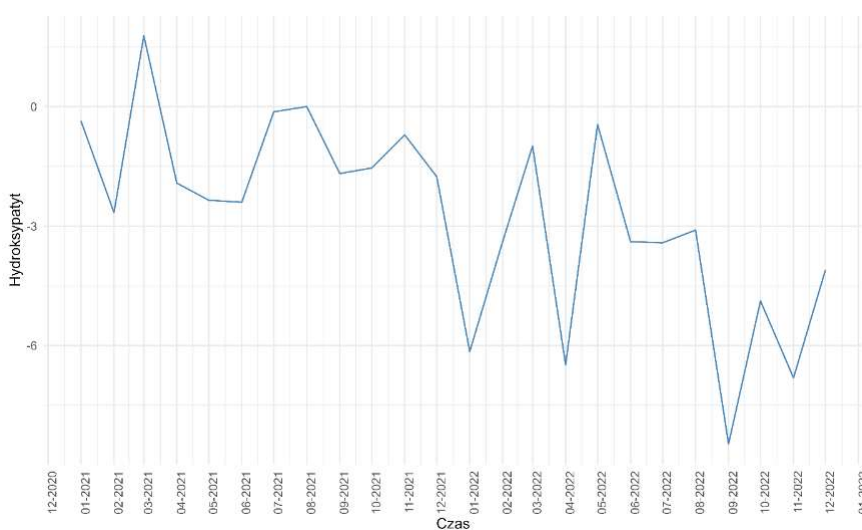
Rys. 9.128. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.128. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu poboru drugiego oscylują w granicach od -7,5 do 2,5 (pojedyncza wartość odnotowana w marcu 2022 r.). Oznacza to, że dla dodatnich wartości może się z wody wytracać, zaś dla ujemnych rozpuszczać. W lipcu 2021 r., lutym oraz maju 2022 r. pozostaje w równowadze z wodą.



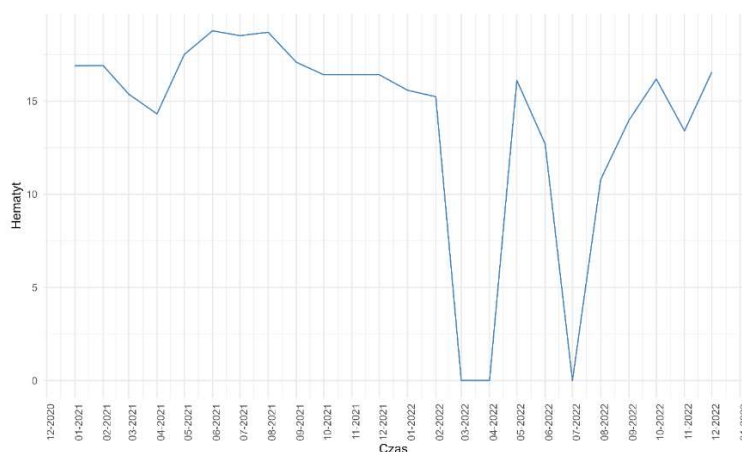
Rys. 9.129. Zawartość hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.129. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej przyjmują same wartości poniżej 0. Oznacza to, że ten minerał ma tendencję do rozpuszczania się w wodzie.



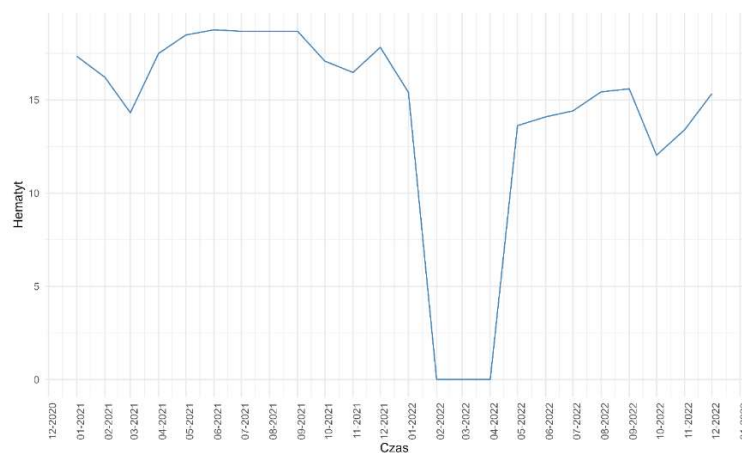
Rys. 9.130. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.130. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do 3. Dla lutego, kwietnia, lipca oraz sierpnia 2021 r. minerał pozostaje w równowadze z wodą. Dla lutego 2021 r. wartość 3 wskazuje na możliwość wytrącania się goz wody, zaś w pozostałych przypadkach do rozpuszczania się w niej. Hydrokysapatyt jest minerałem zbudowanym z hydroksyfosforanu wapnia. Dla dwóch pierwszych punktów poboru wody przeważnie będzie się w niej rozpuszczał, zaś dla końcowego punktu kilka razy pozostanie z nią w równowadze chemicznej.



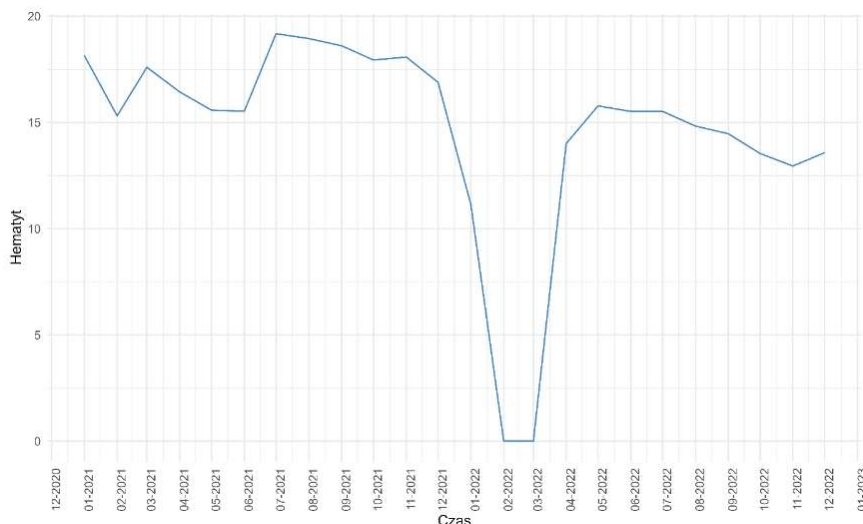
Rys. 9.131. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.131. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej przyjmują wartości równe bądź większe od 0. Oznacza to, że ten minerał ma tendencję do wytrącania się z wody. Najczęściej przyjmuje wartość ok 15. Sugeruje to, że minerał jest daleki od pozostawania w równowadze z wodą.



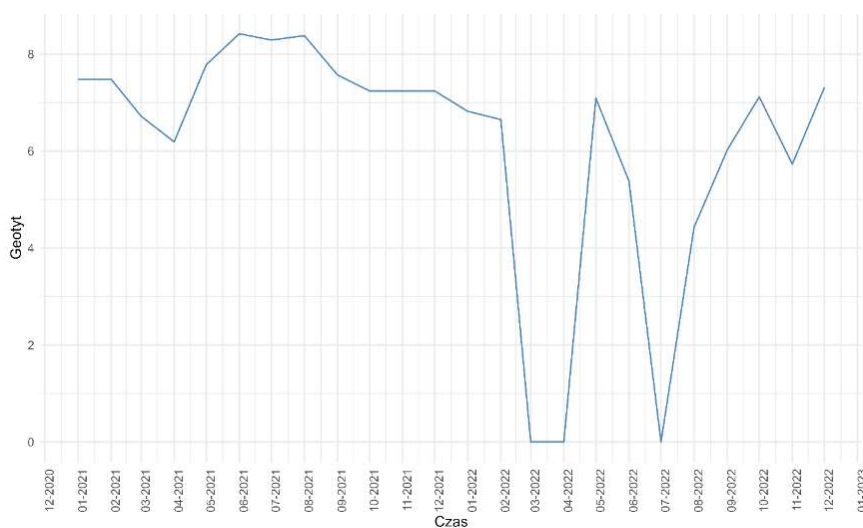
Rys. 9.132. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.132. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu pierwszego przyjmują wartości równe bądź większe od 0, a najczęstsze wyniki są w granicach 15.



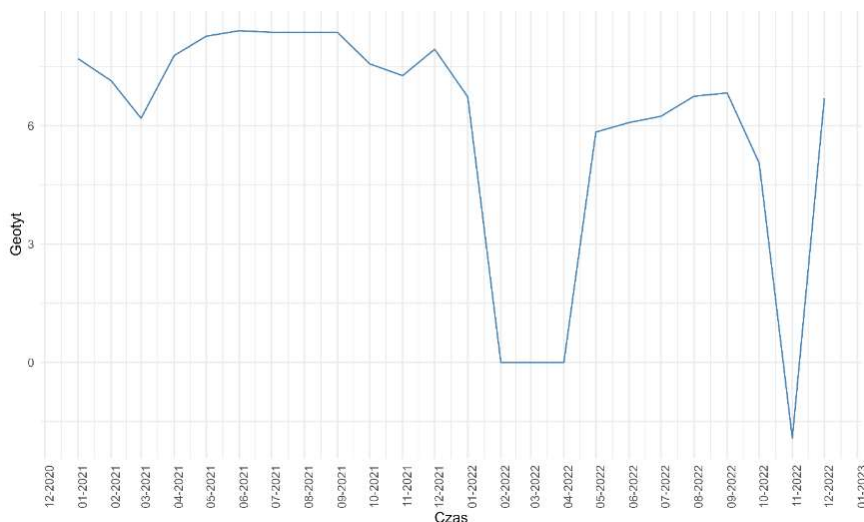
Rys. 9.133. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.133. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej niezmiennie przyjmują wartości równe bądź większe od 0, a najczęstsze wyniki są w granicach 15. Hematyt to inaczej tlenek węgla (III). Na całej sieci wodociągowej wartości indeksów stabilności chemicznej są zbliżone do siebie, a wartość dodatnia sprawia, że będzie się on wytrącał z wody.



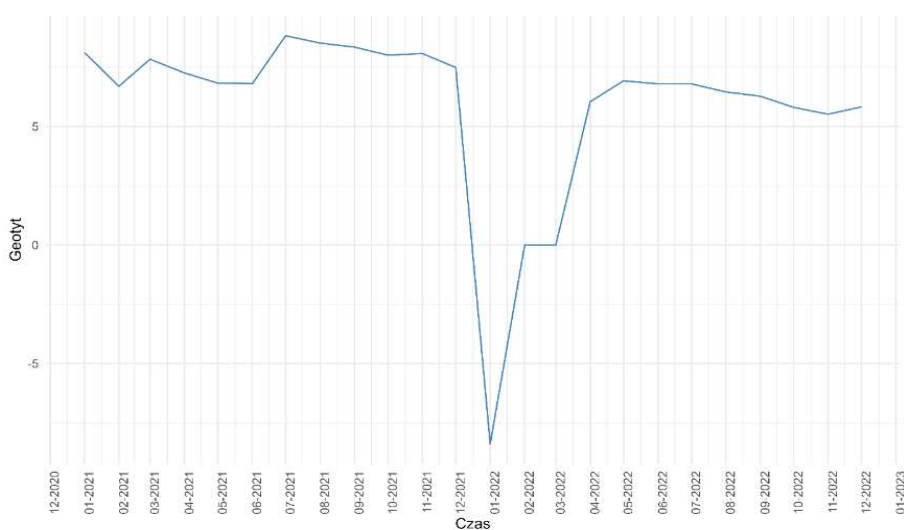
Rys. 9.134. Indeksy stabilności chemicznej geotytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.134. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej przyjmują wartości równe bądź większe od 0, a najczęstsze wyniki są w granicach 8. Marzec, kwiecień oraz lipiec 2022 r. to miesiące, kiedy minerał pozostaje w równowadze z wodą.



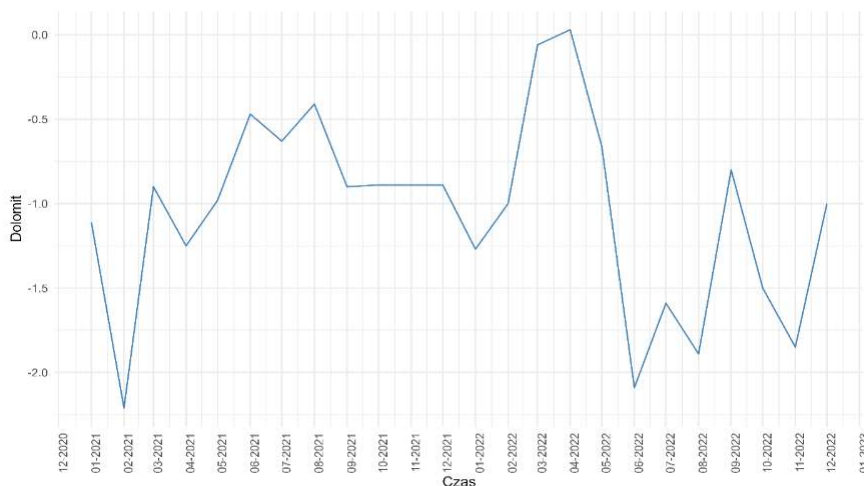
Rys. 9.135. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.135. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej podobnie jak dla punktu pierwszego w większości badanych miesięcy przyjmują wartości równe bądź większe od 0, a najczęstsze wyniki są w granicach 10 z wyjątkiem listopada 2022 r., gdzie wartość jest ujemna.



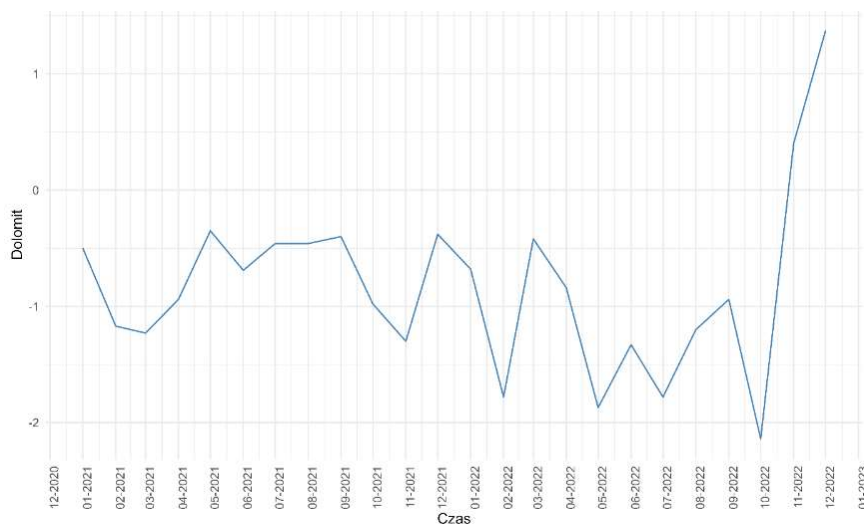
Rys. 9.136. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.136. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej niezmiennie przyjmują wartości równe bądź większe od 0, a najczęstsze wyniki są w granicach 7. Pojedynczo dla stycznia 2022 r. wartość jest ujemna. Dla całej sieci wodociągowej przeważnie minerał będzie wytrącał się z wody. Getyt pojawia się w wodzie, w której występuje żelazo oraz tlen.



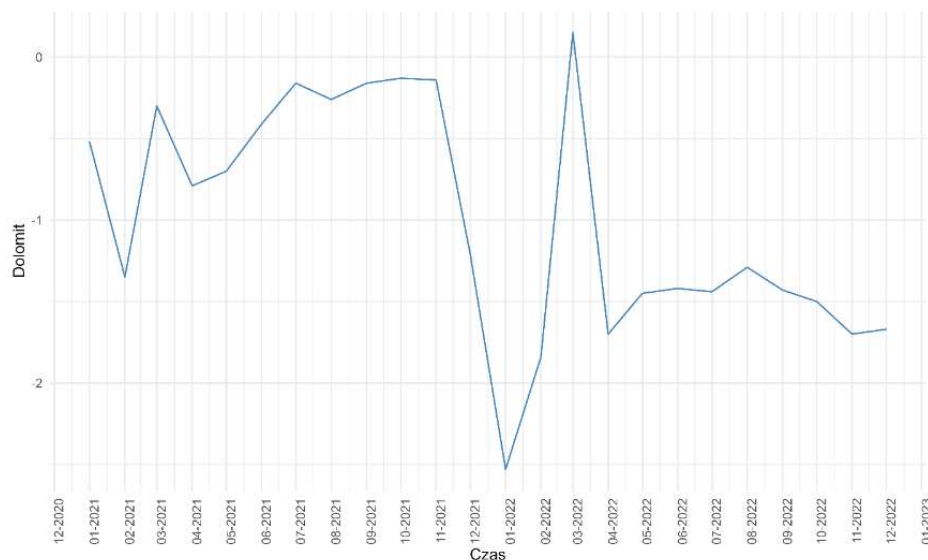
Rys. 9.137. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.137. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -2,25 do 0. W czerwcu oraz sierpniu 2021 r. oraz od marca do maja 2022 r. minerał pozostaje z wodą w równowadze z wodą, w pozostałych przypadkach będzie się w niej rozpuszczał.



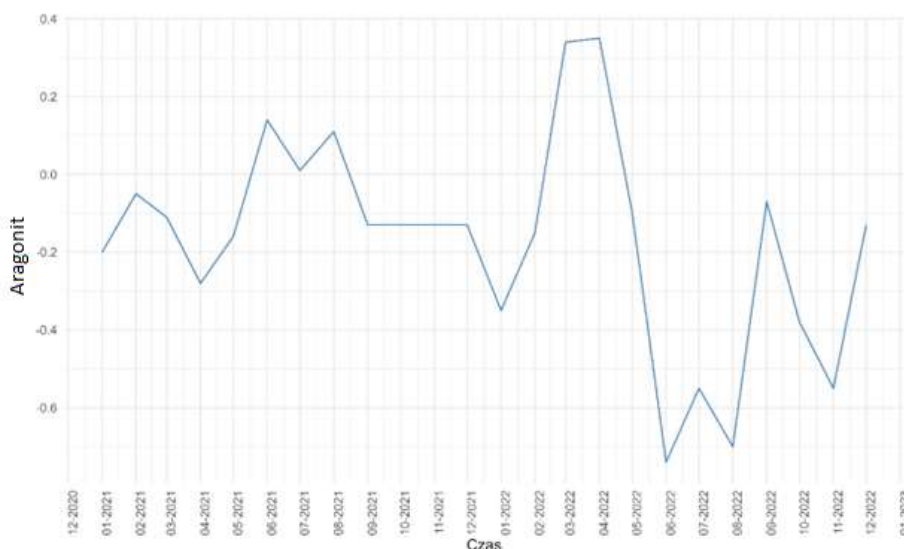
Rys. 9.138. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.138. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -2,25 do 1,5. Dla 9 miesięcy wartość indeksu jest zbliżona do -0,5 co oznacza, że minerał będzie pozostawał w równowadze z wodą. Dla większości miesięcy będzie się w niej rozpuszczał z wyjątkiem grudnia 2022 r. , gdzie wartość jest dodatnia.



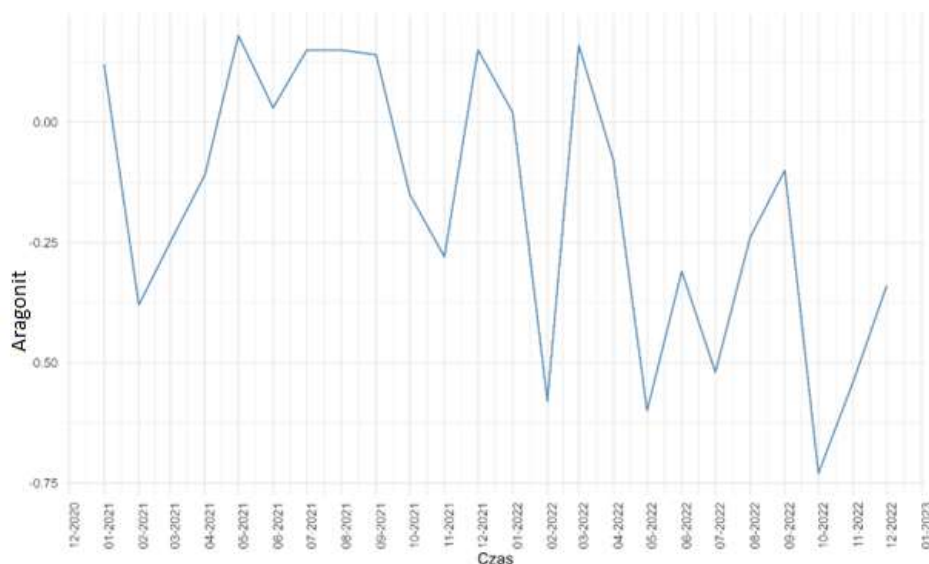
Rys. 9.139. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.139. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -2,5 do 0. Wartości są równie zmienne jak dla pozostałych dwóch punktów poboru wody.



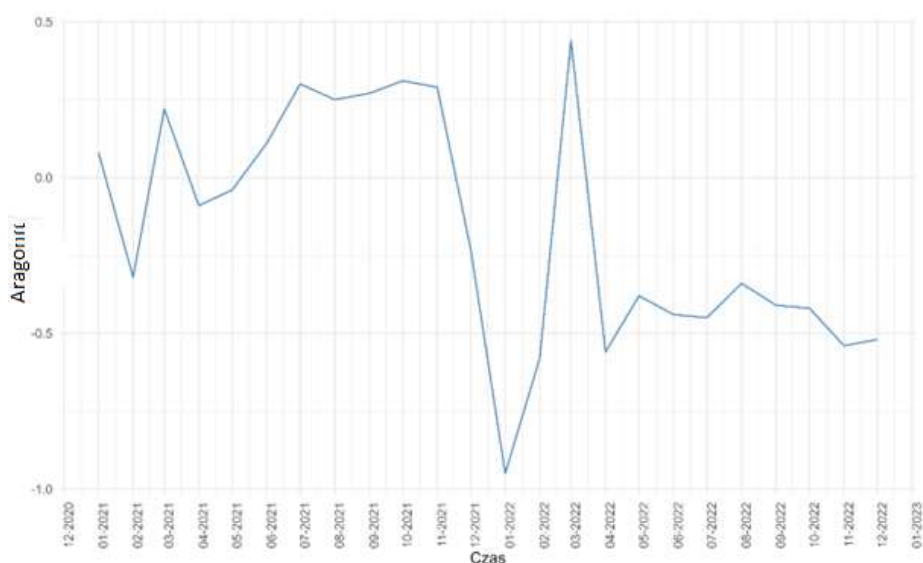
Rys. 9.140. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.140. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -0,8 do 0.4. Poza miesiącami od czerwca do sierpnia oraz listopada 2022 r. minerał pozostaje w równowadze z wodą.



Rys. 9.141. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice

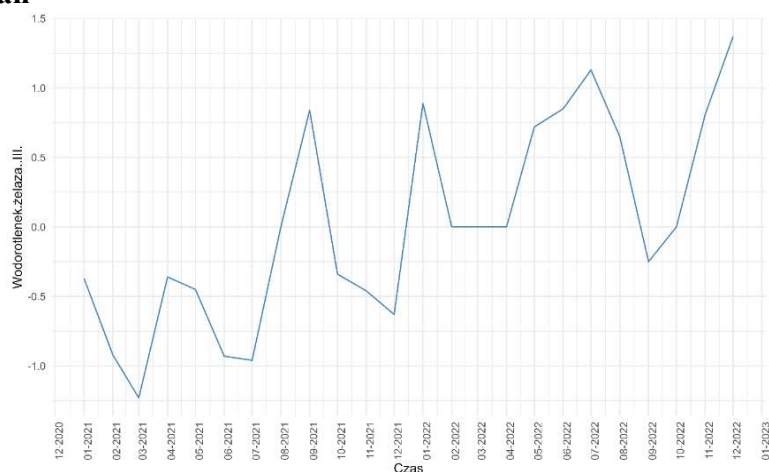
Na rys. 9.141. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -0,8 do 0.3. Poza miesiącami luty, maj lipiec oraz październik 2022 r. minerał pozostaje w równowadze z wodą.



Rys. 9.142. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice

Na rys. 9.142. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Bolechowice. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -1 do 0.5. Poza styczniem 2022 r. minerał pozostaje w równowadze z wodą. Aragonit jest jedną z odmian węglańka wapnia. Dla całej sieci indeksy stabilności chemicznej utrzymują wartości dające możliwość pozostawiania tego minerału w równowadze z wodą.

9.4.3.4 Kołomań



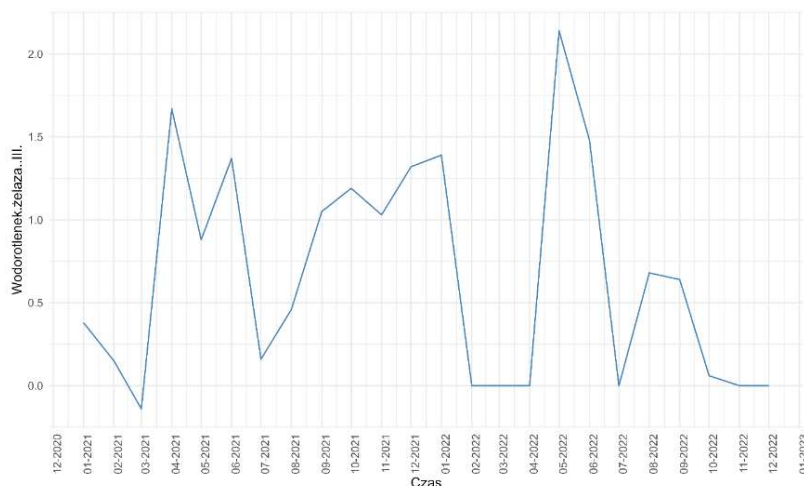
Rys. 9.143. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.143. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -1,25 do 1.5. Wynika z tego, że minerał w tym czasie mógł się wytrącać z wody, rozpuszczać w niej, a także pozostawać z nią w równowadze.



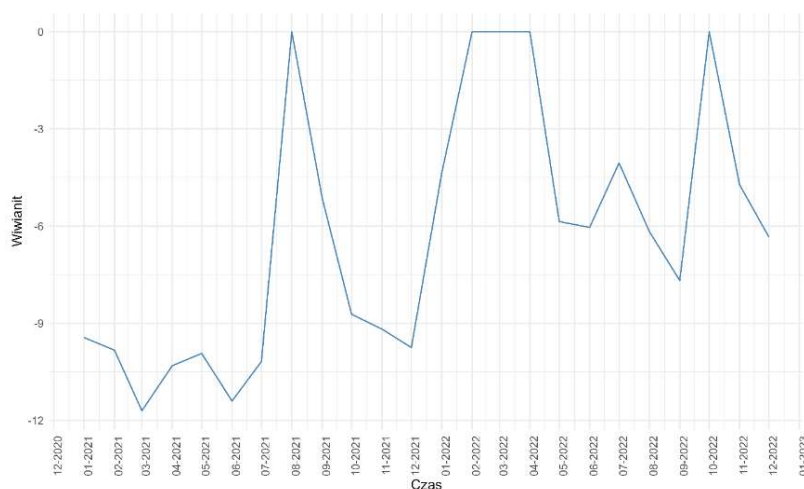
Rys. 9.144. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.144. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -1 do 2.5. Oznacza to, że ten minerał podobnie jak dla pierwszego punktu poboru mógł się wytrącać z wody, rozpuszczać w niej, a także pozostawać z nią w równowadze.



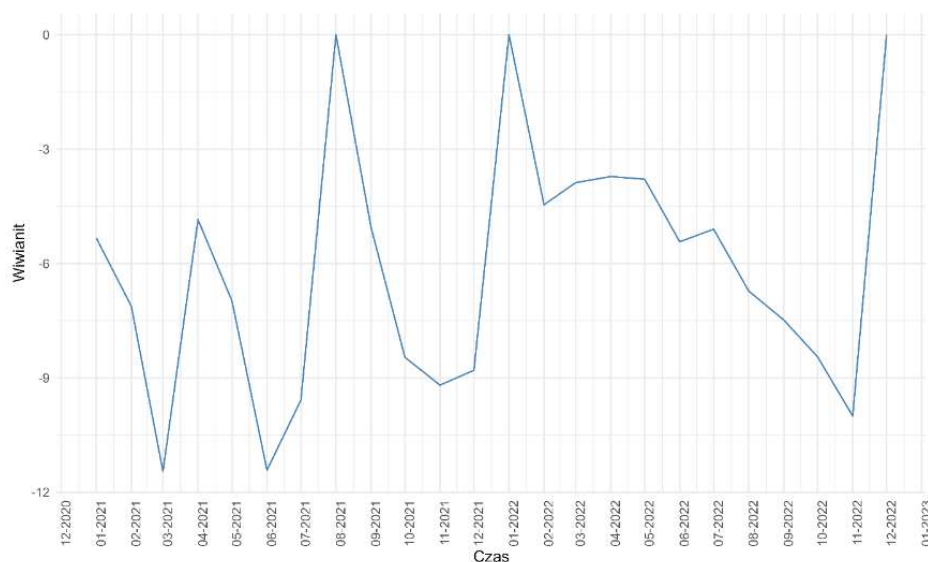
Rys. 9.145. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.145. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -0,5 do 2.5. Można powiedzieć, że minerał będzie się głównie wytrącać z wody w badanym okresie czasu lub pozostawać z nią w równowadze. Indeksy stabilności chemicznej dla tego minerału nie są zmienne na przestrzeni przepływu wody przez sieć wodociagową.



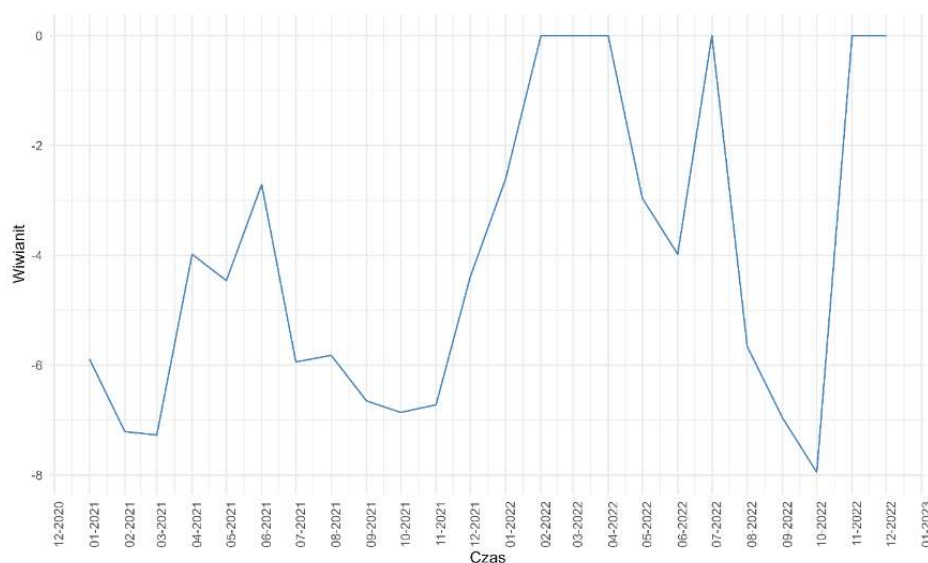
Rys. 9.146. Indeksy stabilności chemicznej wivianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.146. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach -12 do 0. Oznacza to, że ten minerał będzie się głównie rozpuszczać w wodzie, a w sierpniu 2021 r., od stycznia do kwietnia oraz w październiku 2022 r. będzie pozostawał w równowadze z wodą.



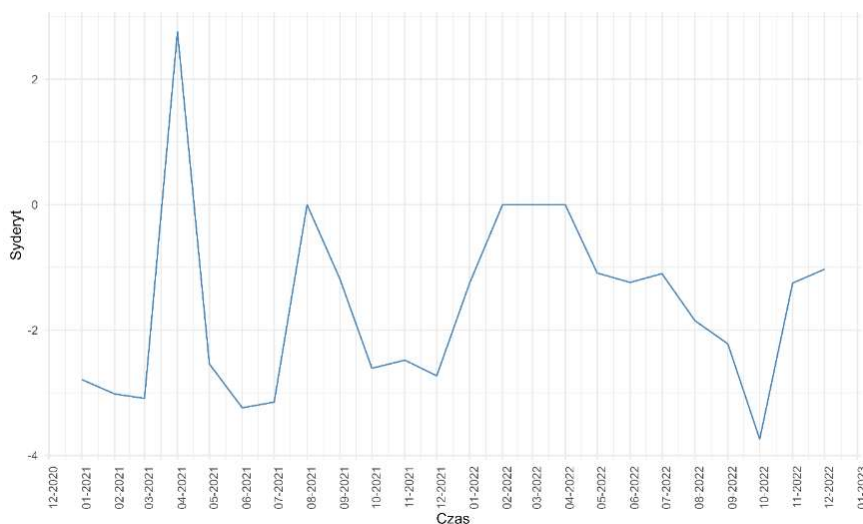
Rys. 9.147. Indeksy stabilności chemicznej wianianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.147. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w tych samych granicach co dla pierwszego punktu poboru -12 do 0. Wynika z tego, że ten minerał będzie się głównie rozpuszczać w wodzie, a w kilku miesiącach pozostawał w równowadze z wodą.



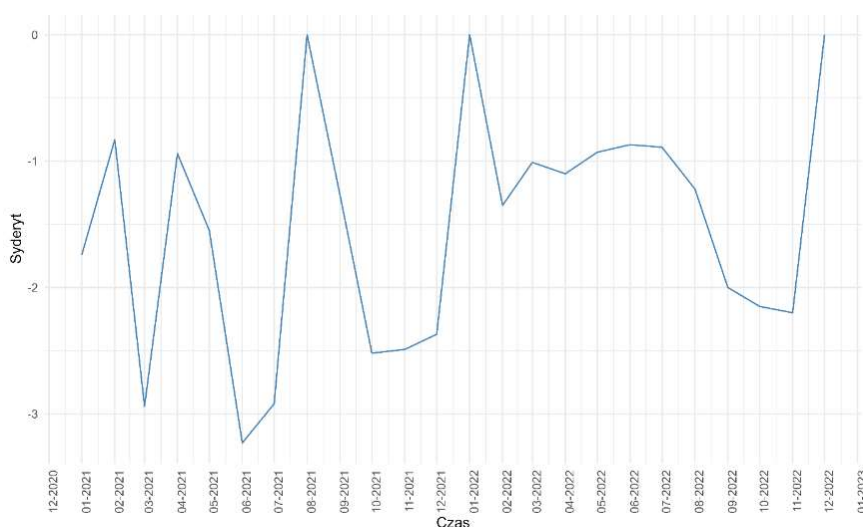
Rys. 9.148. Zmienność wianianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.148. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wianianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -8 do 0. Oznacza to, że niezmiennie ten minerał będzie się głównie rozpuszczać w wodzie, a w kilku miesiącach pozostawał w równowadze z wodą. Indeksy stabilności chemicznej nie wykazują zmienności na przestrzeni przepływu wody przez sieć wodociągową.



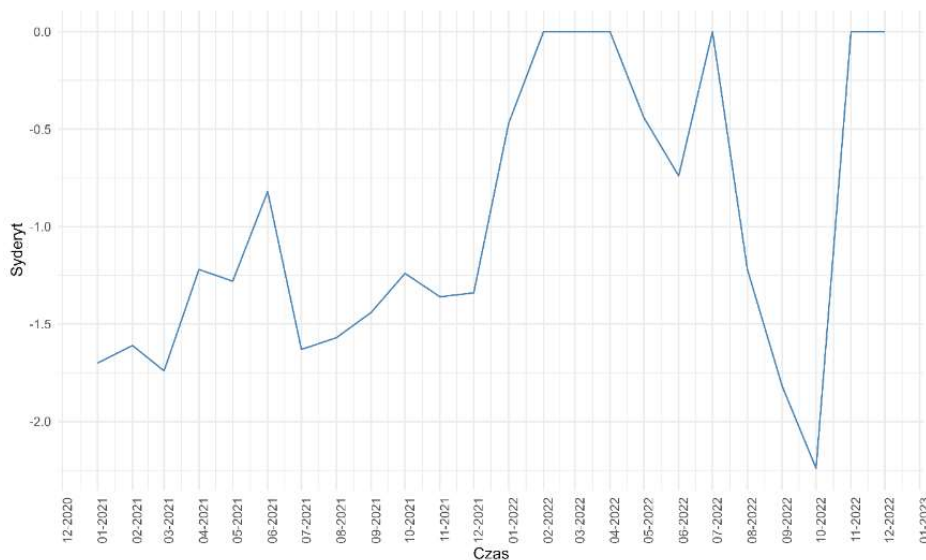
Rys. 9.149. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.149. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -4 do 0 z wyjątkiem kwietnia 2021 r., gdzie wartość wynosi 2,5. Tylko dla tego miesiąca minerał może się wytrącać z wody, w pozostałych przypadkach będzie się rozpuszczał lub pozostawał w równowadze z wodą.



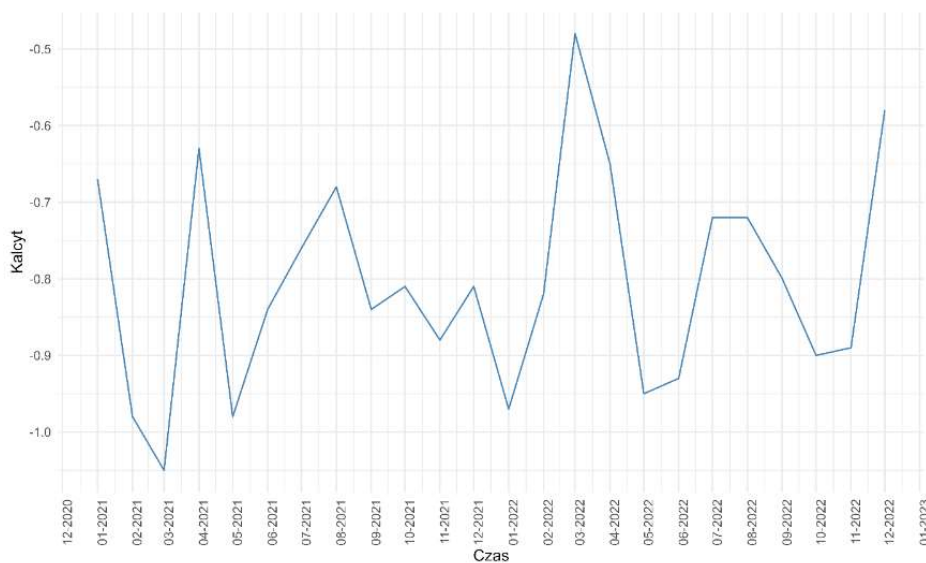
Rys. 9.150. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.150. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -4 do 0. Oznacza to, że będzie się on głównie rozpuszczał w wodzie lub pozostawał z nią w równowadze.



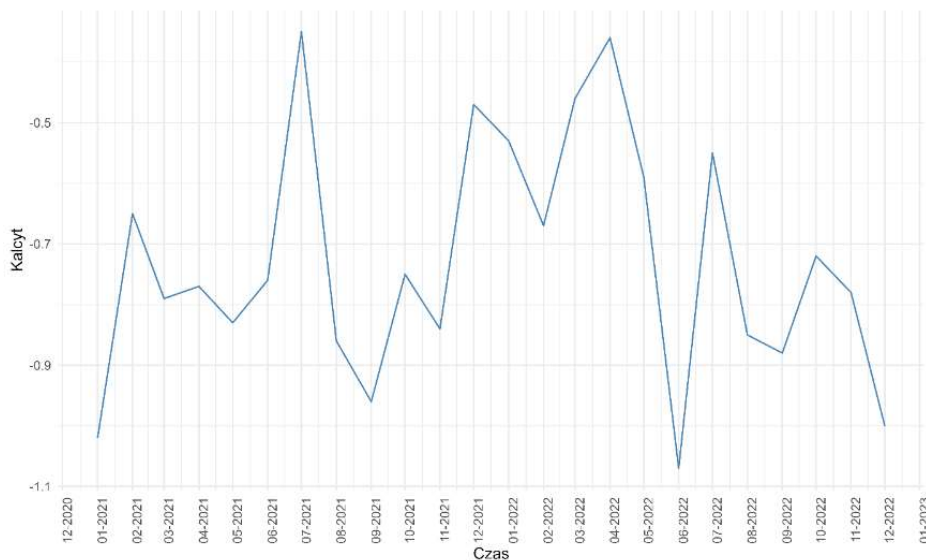
Rys. 9.151. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.151. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,25 do 0. Można powiedzieć, że niezmiennie będzie się on głównie rozpuszczał w wodzie lub pozostawał z nią w równowadze. Nie ma widocznych zmian wartości indeksów stabilności chemicznej dla całej sieci wodociągowej.



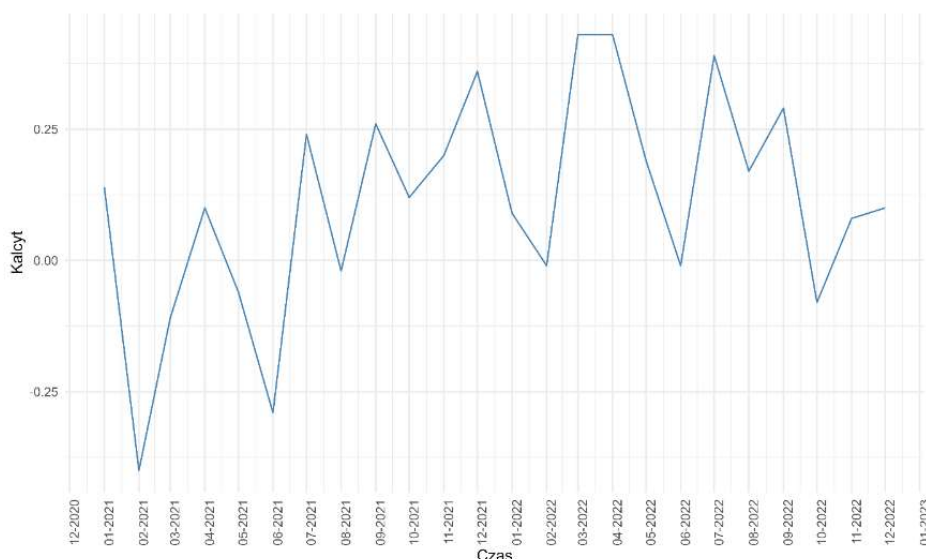
Rys. 9.152. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.152. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,1 do -0,5 – wartość odnotowana w marcu 2022 r. – stan równowagi z wodą. W pozostałych przypadkach będzie się on głównie rozpuszczał w wodzie.



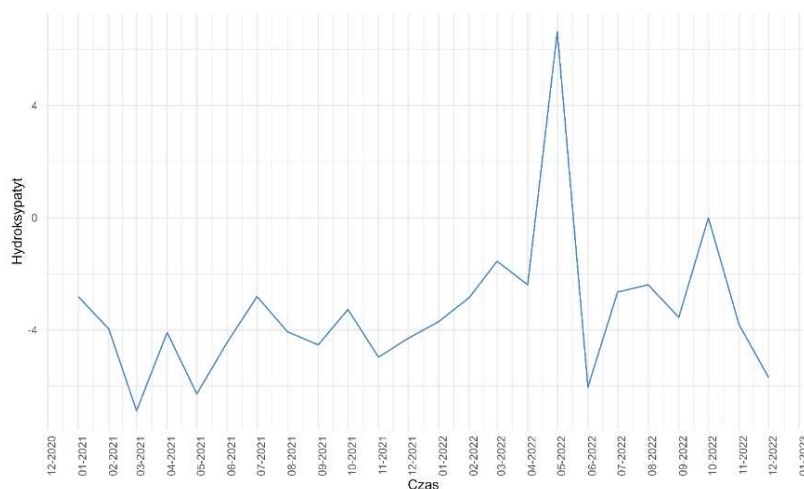
Rys. 9.153. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.153. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,1 do 0. Zatem minerał będzie się on rozpuszczał w wodzie, zaś dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



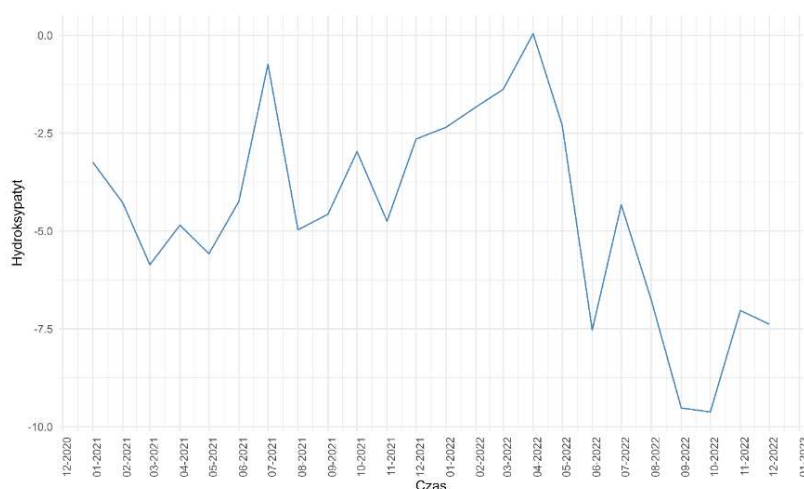
Rys. 9.154. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.154. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,5 do 0,5. Oznacza to, że minerał będzie pozostawał w równowadze z wodą. Dla badanego ujęcia widoczne jest polepszenie stabilności chemicznej w przypadku ostatniego punktu poboru. Omawiany minerał dla dwóch pierwszych punktów poboru będzie się rozpuszczał w wodzie, zaś dla końcowego punktu na sieci gdzie pozostawał z nią w równowadze.



Rys. 9.155. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.155. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -6 do 0. Minerał ten będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, pozostawał w równowadze z wodą, a wyjątkowo w maju 2022 r. z wartością wynoszącą 6 wytrącał z niej.



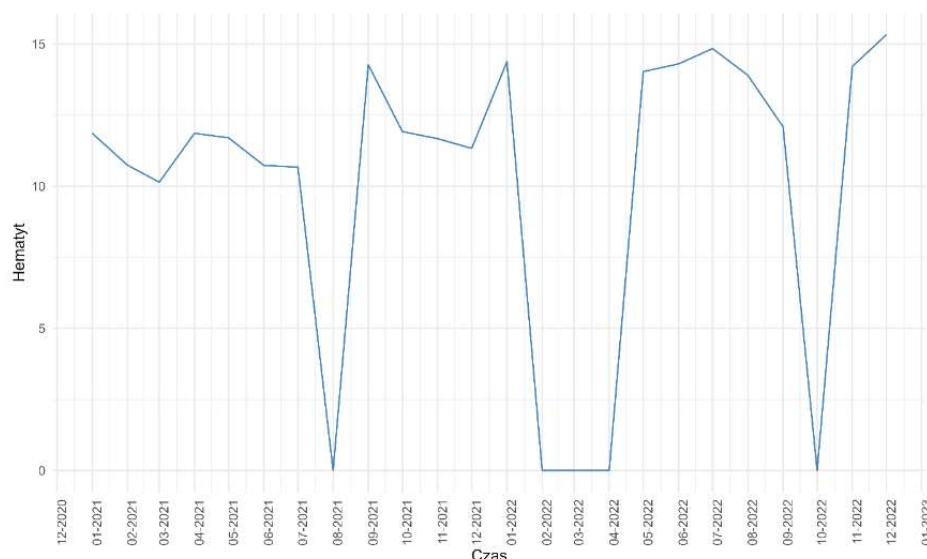
Rys. 9.156. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.156. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do 0. Oznacza to, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



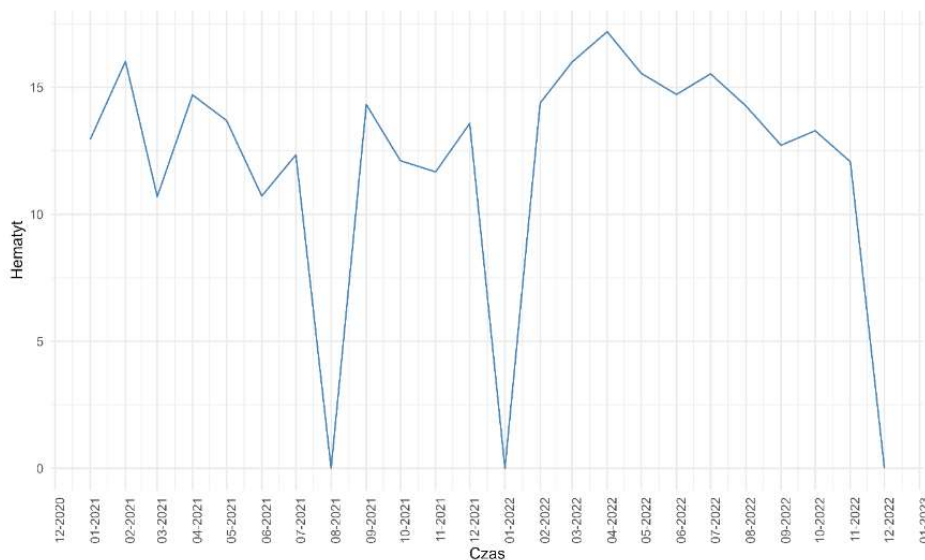
Rys. 9.157. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.157. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -6 do -1. Oznacza to, że minerał niezmiennie będzie się głównie rozpuszczał w wodzie.



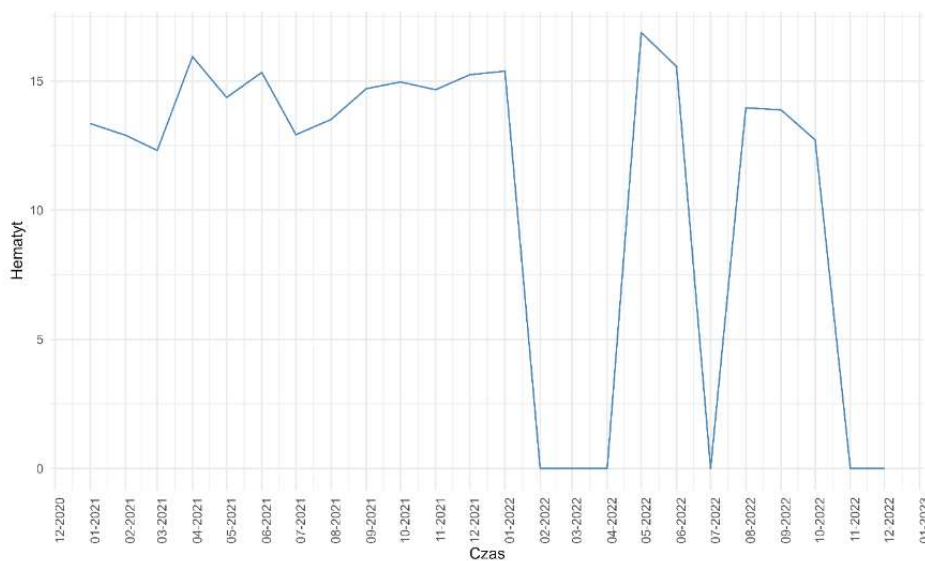
Rys. 9.158. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.158. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 15. Zatem minerał będzie się głównie wytrącał z wody, dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



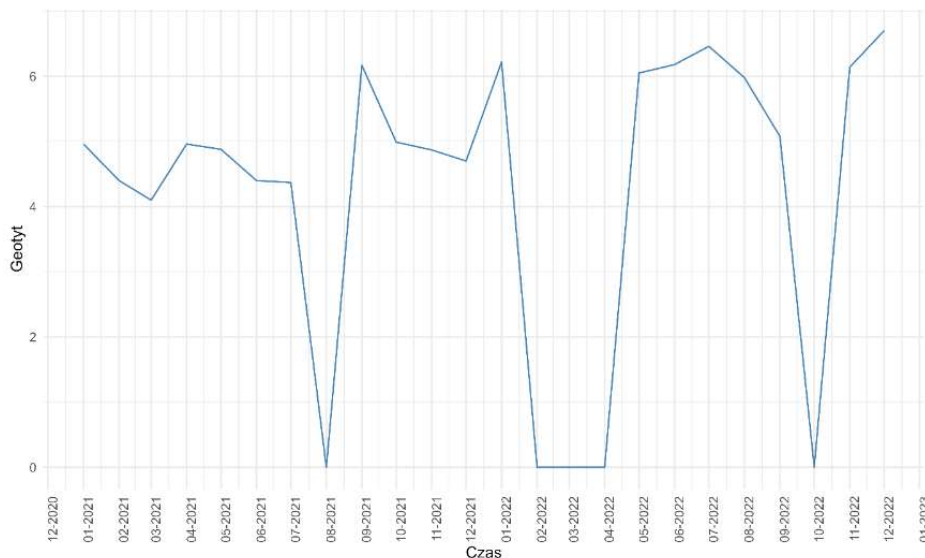
Rys. 9.159. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.159. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 18. Oznacza to, że minerał będzie się głównie wytrącał z wody, zaś dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



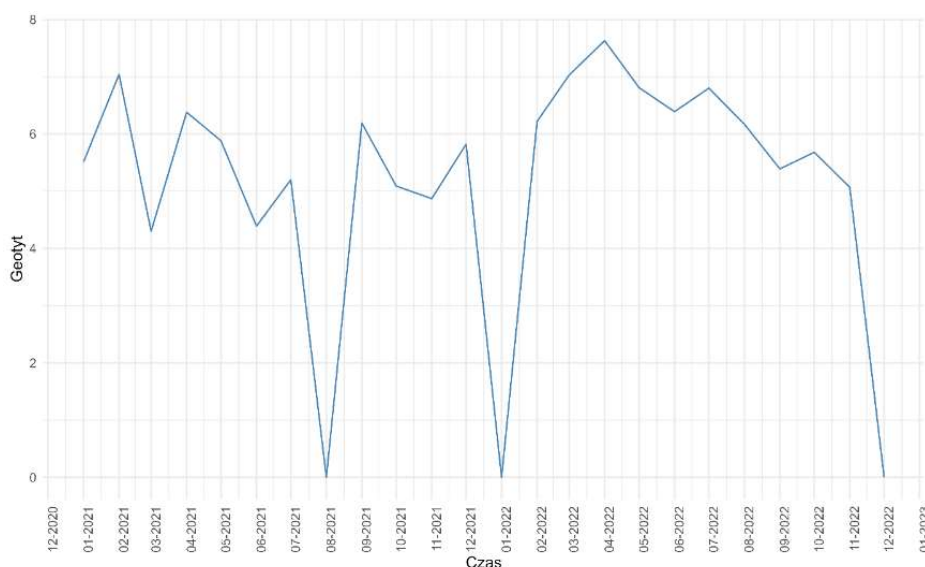
Rys. 9.160. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.160. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 17. Można powiedzieć, że niezmiennie minerał będzie się głównie wytrącał z wody, dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze. Nie obserwuje się widocznych zmian wartości indeksów stabilności na całej sieci wodociągowej.



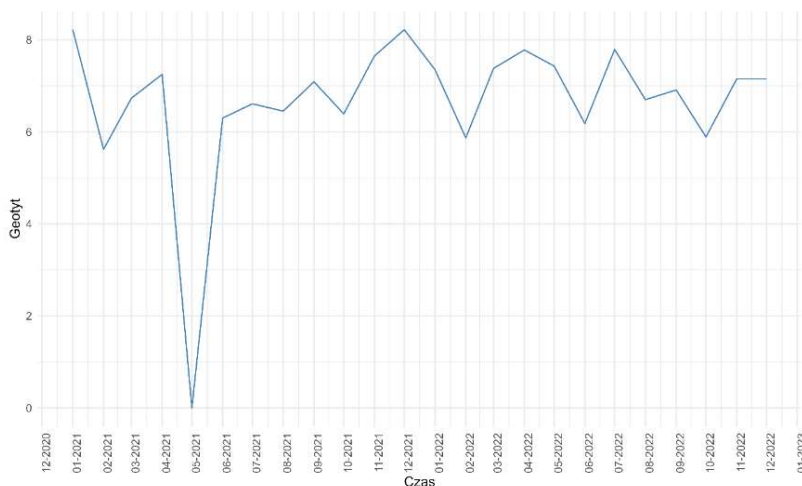
Rys. 9.161. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.161. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 7. Oznacza to, że minerał będzie się głównie wytrącał z wody, zaś dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



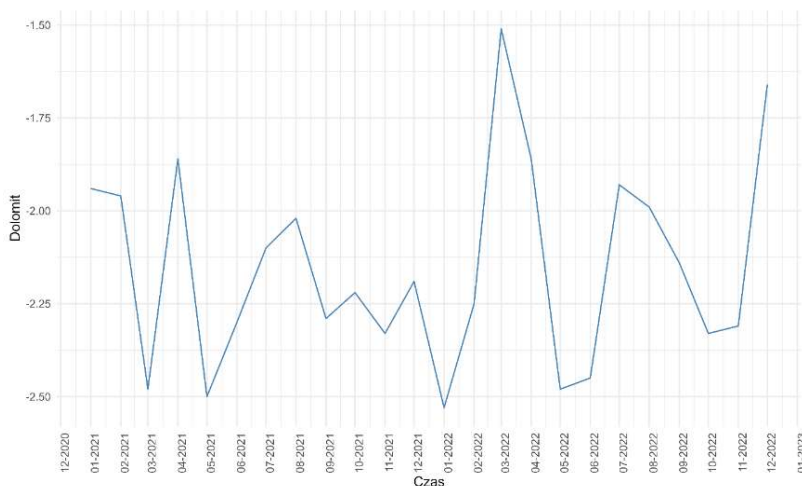
Rys. 9.162. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.162. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 8. Mineral ten będzie się głównie wytrącał z wody, zaś dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



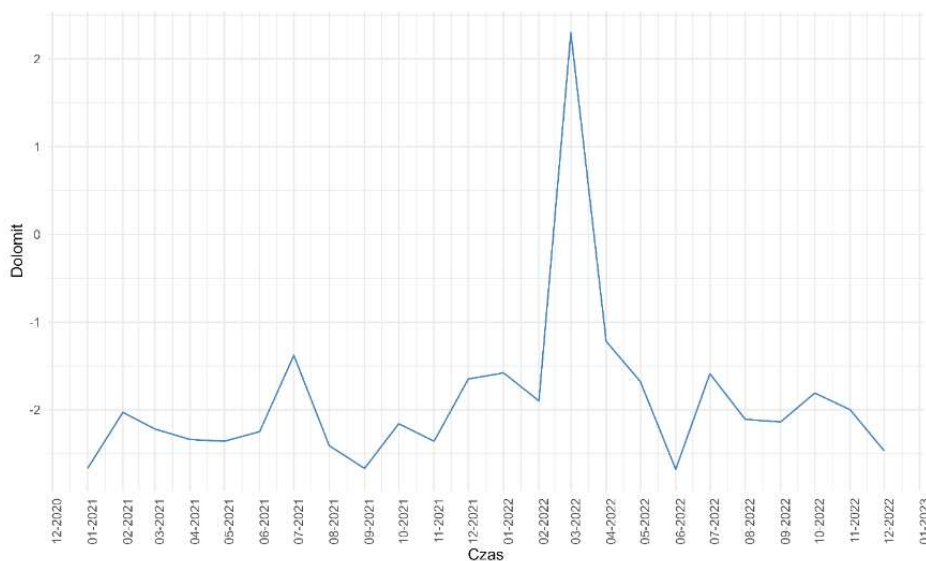
Rys. 9.163. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.163. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 7. Oznacza to, że niezmiennie minerał będzie się głównie wytrącał z wody, tylko w maju 2021 r. będzie pozostawał z nią w równowadze. Wartości indeksów stabilności chemicznej getytu dla całej sieci wodociągowej omawianego ujęcia przyjmują bardzo zmienne wartości, jednak w każdym przypadku minerał ten głównie będzie się wytrącał z wody.



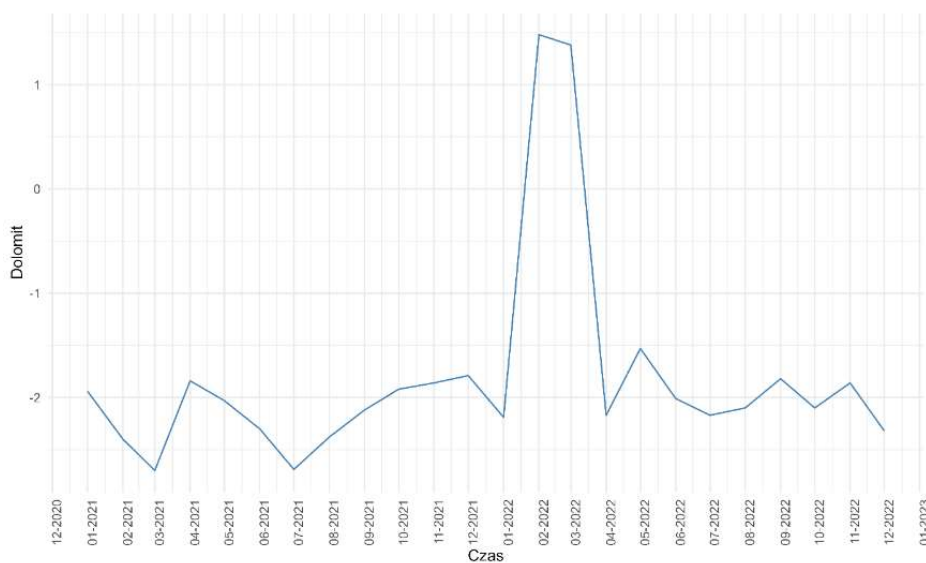
Rys. 9.164. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.164. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,5 do -1,5. Mineral będzie się rozpuszczał w wodzie.



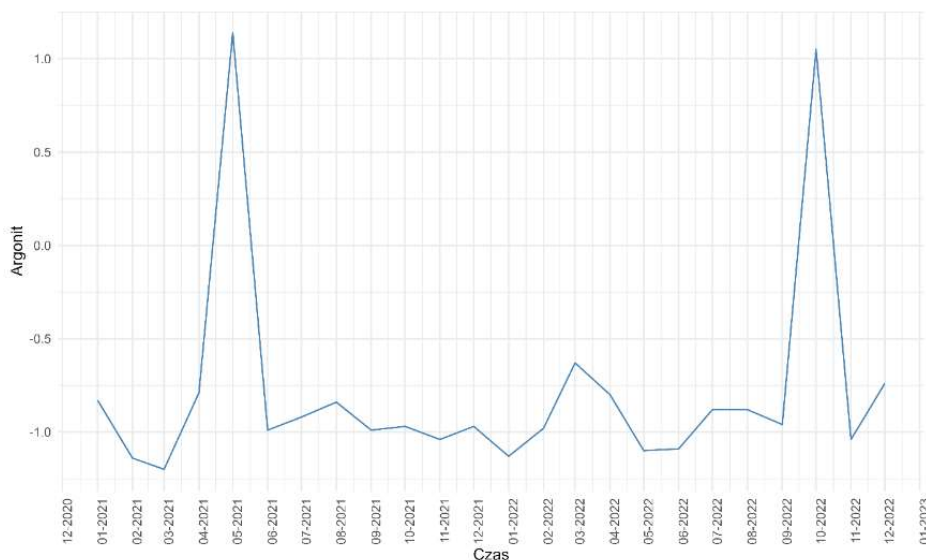
Rys. 9.165. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.165. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,5 do 2 (wartość odnotowano raz, w marcu 2022 r.). Wynika z tego, że mineral będzie się głównie rozpuszczał w wodzie.



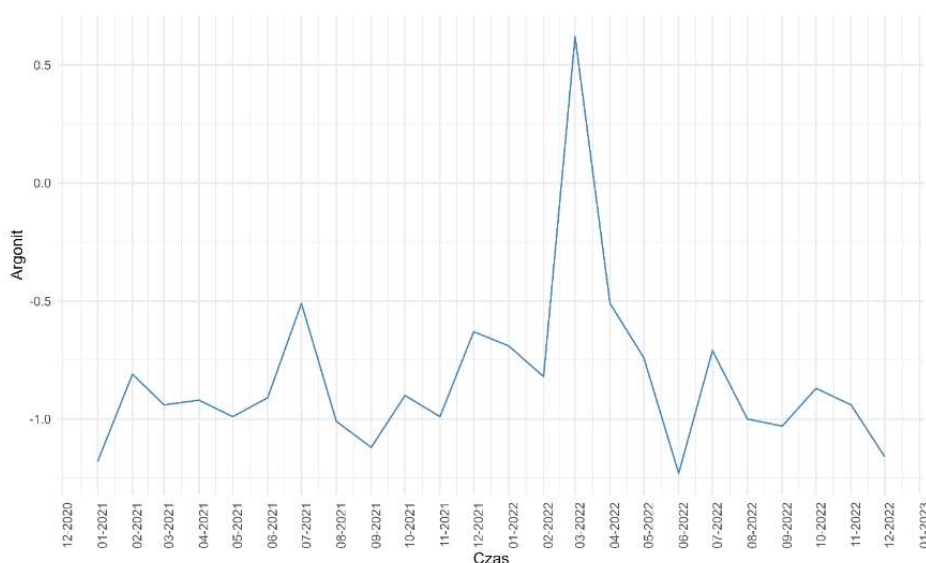
Rys. 9.166. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.166. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,5 do 1,5 (marzec i kwiecień 2022 r.). Oznacza to, że minerał niezmiennie będzie się głównie rozpuszczał w wodzie. Wartości indeksów stabilności dolomitu są zbliżone dla całej sieci wodociągowej.



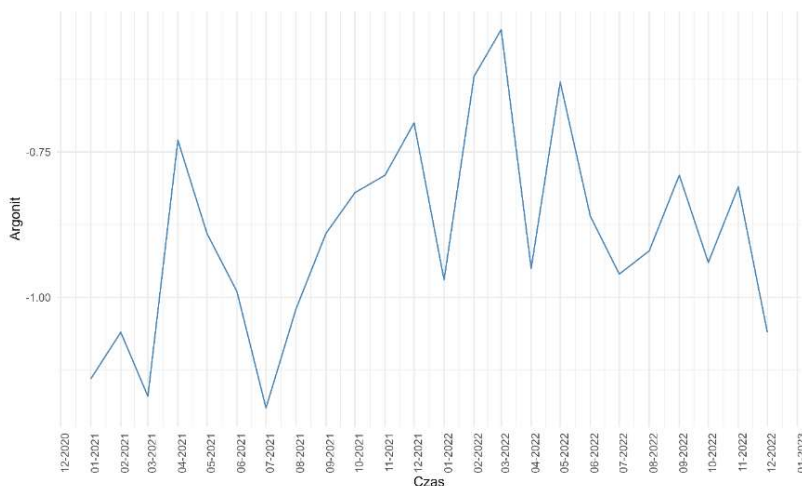
Rys. 9.167. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań

Na rys. 9.167. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,5 do 1 (maj 2021 r. październik 2022 r.). Zatem minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostanie z nią w równowadze.



Rys. 9.168. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań

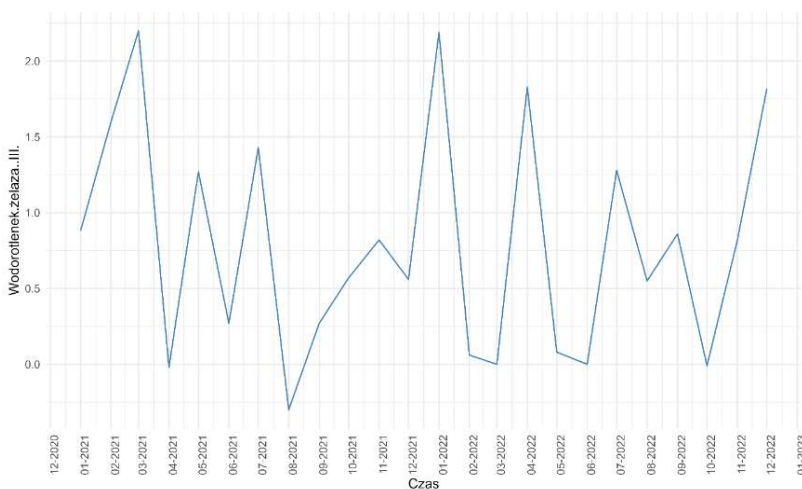
Na rys. 9.168. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,25 do 0,5 (marzec 2022 r.). Wynika z tego, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostanie z nią w równowadze.



Rys. 9.169. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań

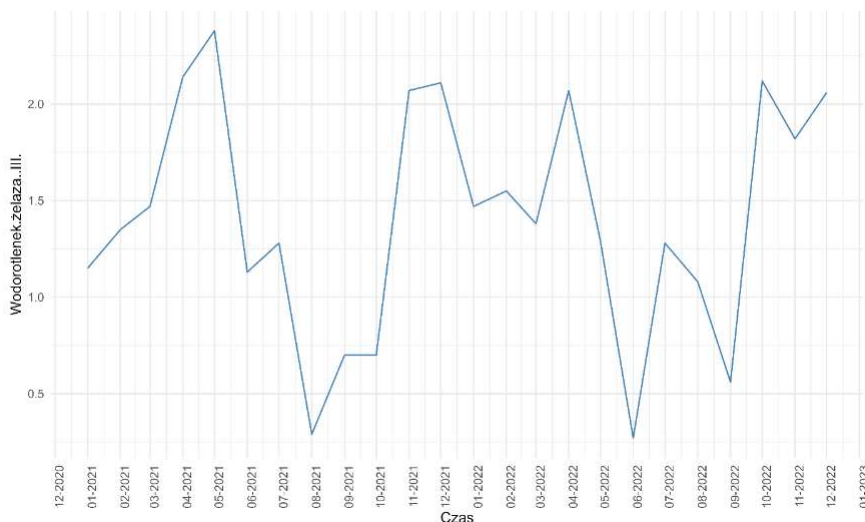
Na rys. 9.169. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Kołomań. Indeksy stabilności chemicznej oscylują najczęściej w granicach od -1 do -0,75. Minerał ten będzie się głównie rozpuszczał w wodzie. Dla całej sieci wodociągowej nie obserwuje się istotnych zmian wartości indeksów stabilności aragonitu.

9.4.3.5 Wola Kopcowa



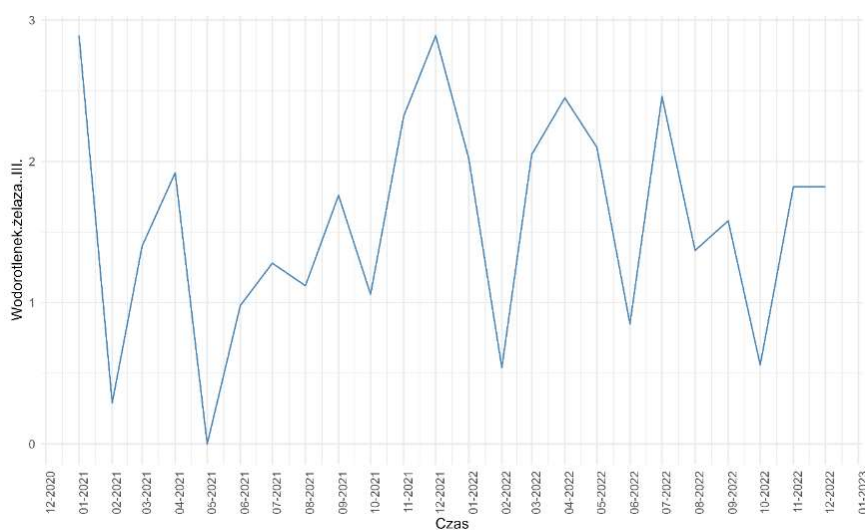
Rys. 9.170. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.170. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,25 do 2. Oznacza to, że minerał będzie się głównie wytracał z wody, a dla kilku miesięcy pozostanie z nią w równowadze.



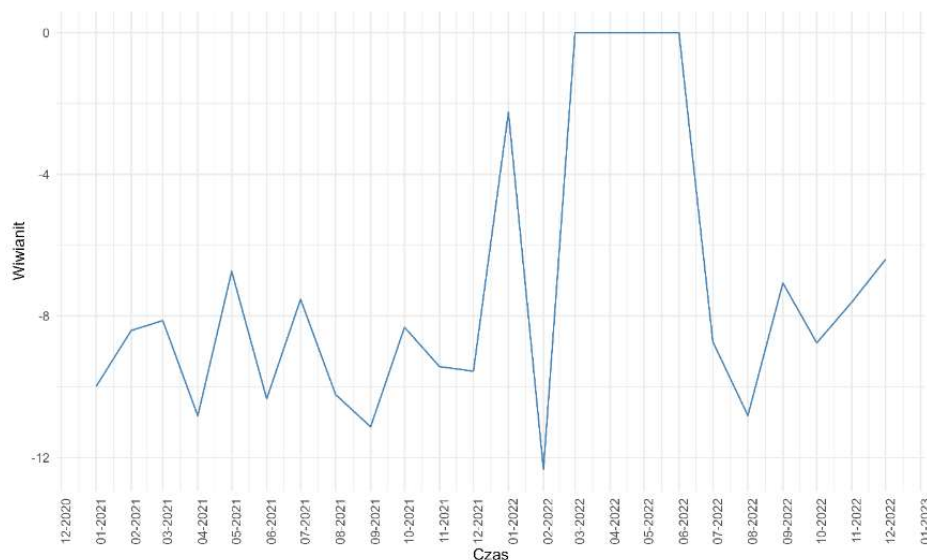
Rys. 9.171. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.171. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0,5 do 2,3. Wynika z tego, że minerał będzie się głównie wytracał z wody, a dla kilku miesięcy pozostanie z nią w równowadze.



Rys. 9.172. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.172. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 do 3. Oznacza to, że niezmiennie minerał będzie się głównie wytracał z wody, a dla kilku miesięcy pozostanie z nią w równowadze.



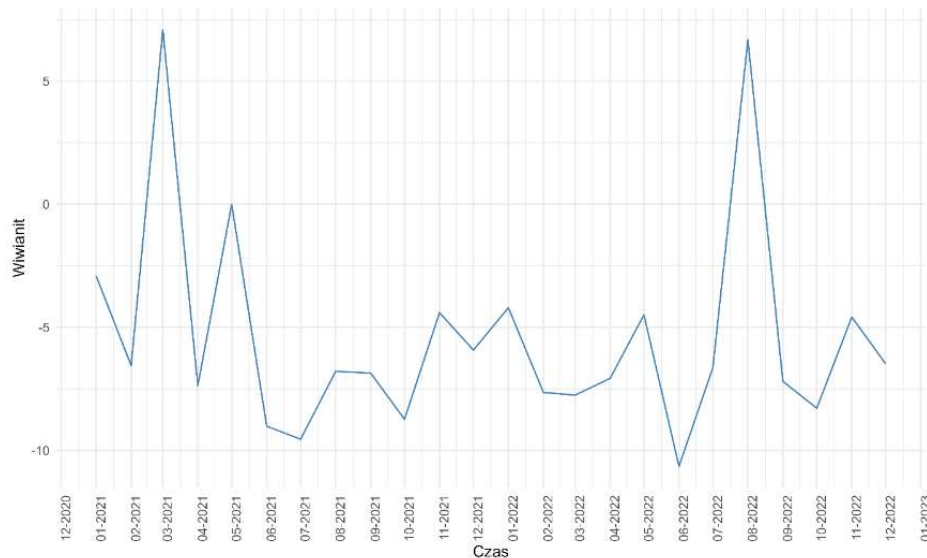
Rys. 9.173. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.173. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wiwianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -12 do 0. Minerał ten będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a od marca do czerwca 2022 r. pozostawał z nią w równowadze.



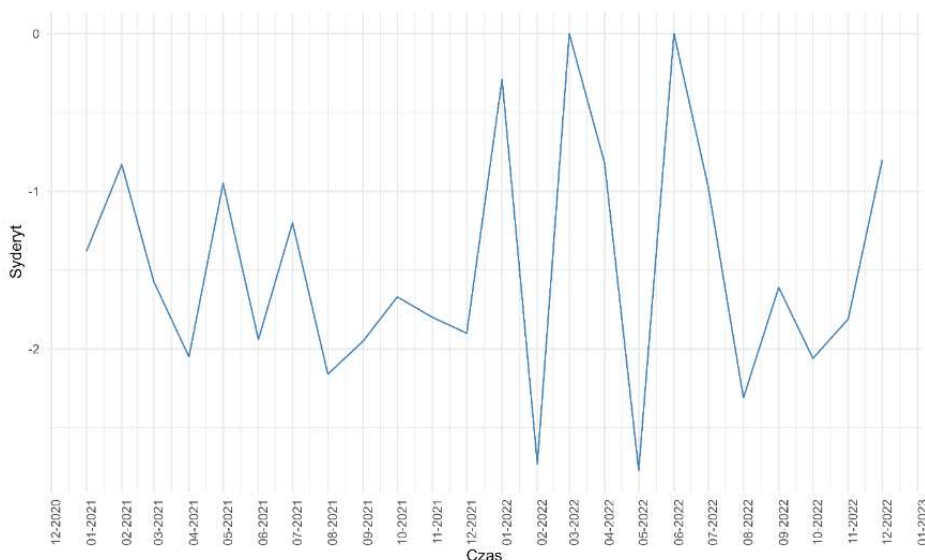
Rys. 9.174. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.174. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wiwianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do -4. Oznacza to, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie.



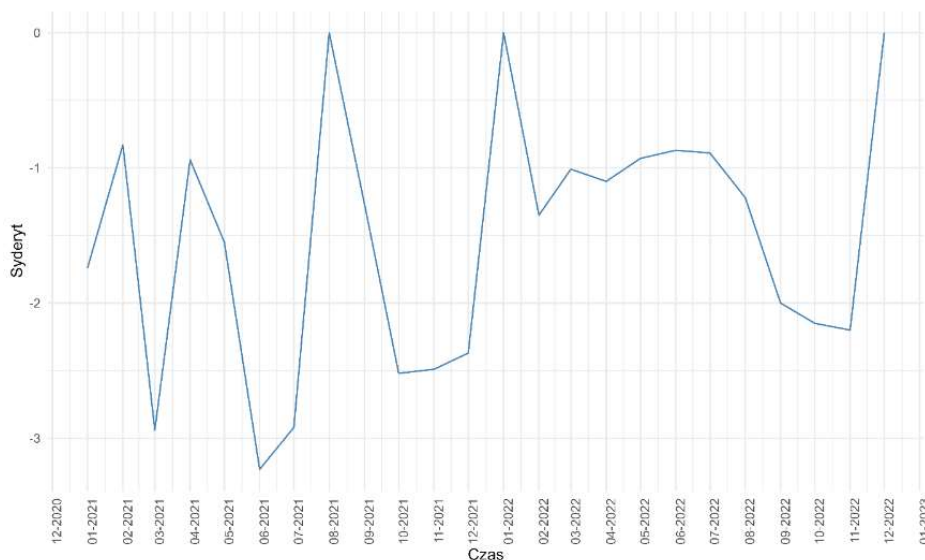
Rys. 9.175. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.175. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej wiwianitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -10 do 6. Wynika z tego, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, wytrącał z niej, a także dla kilku miesięcy pozostawał w stanie równowagi.



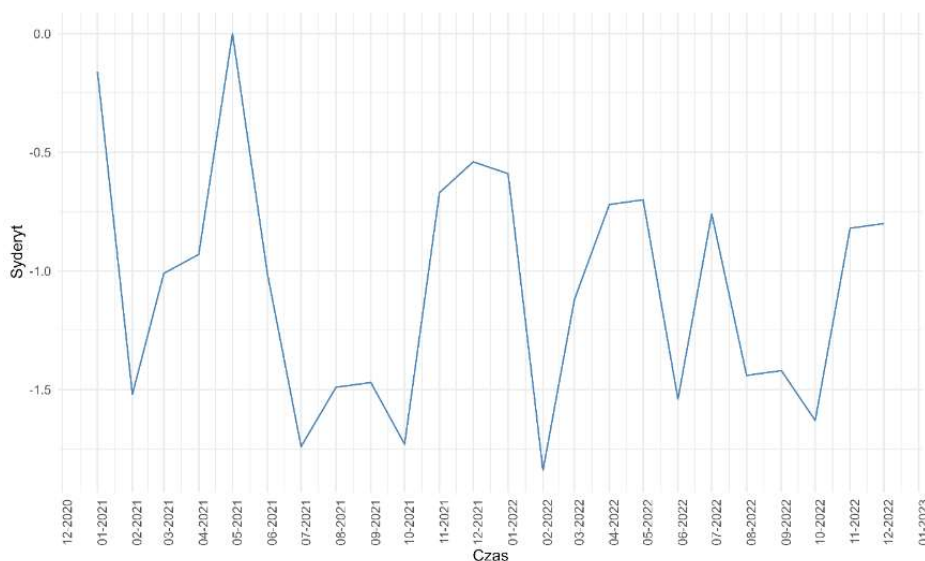
Rys. 9.176. Indeksy stabilności chemicznej sydenytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.176. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,7 do 0. Oznacza to, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



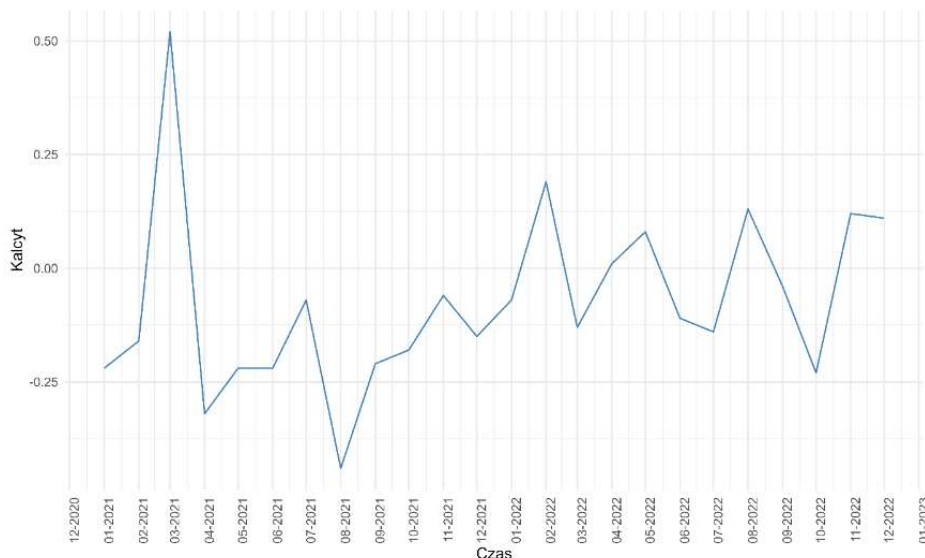
Rys. 9.177. Zmienność syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.177. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -3,2 do 0. Z tego wynika, że minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



Rys. 9.178. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.178. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej syderytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2 do 0co oznacza, że niezmiennie minerał będzie się głównie rozpuszczał w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



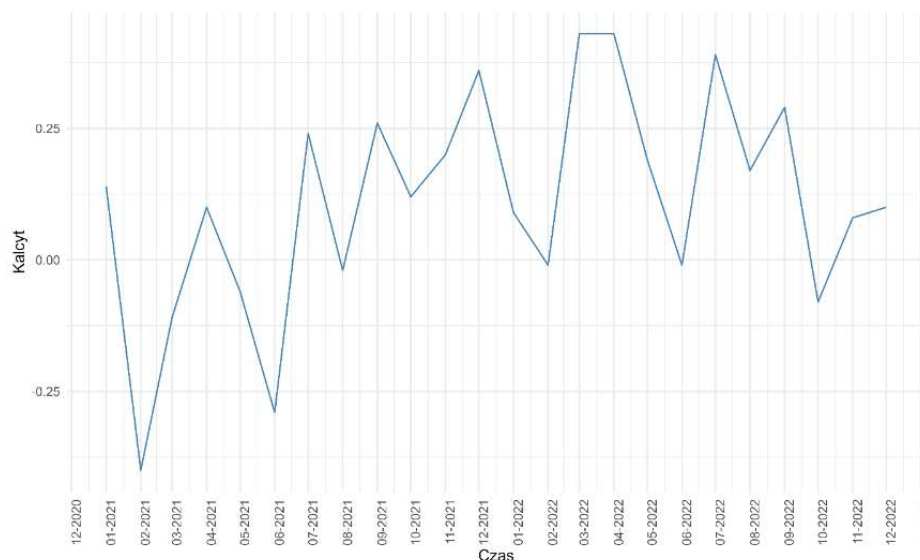
Rys. 9.179. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.179. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,3do 0,5. Wynika z tego, że minerał będzie pozostawał z wodą w równowadze.



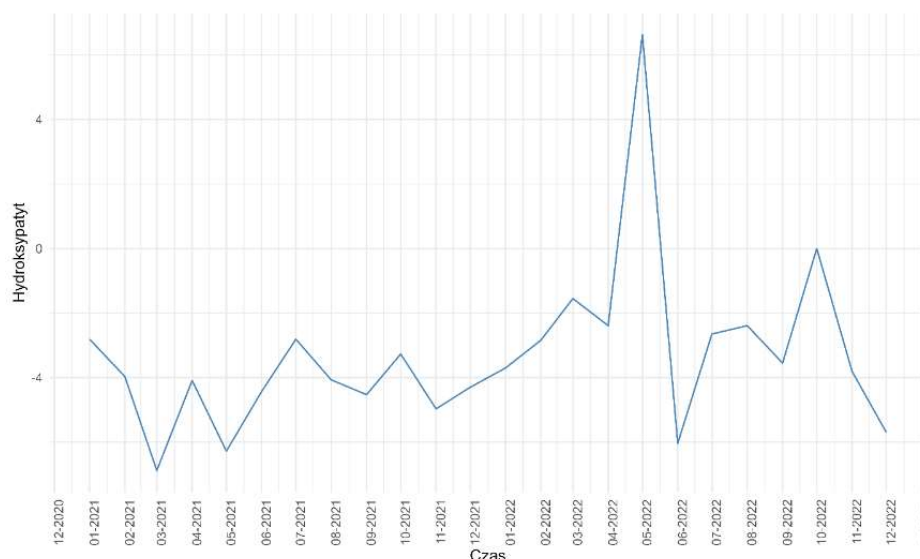
Rys. 9.180. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.180. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,5 do 0,25. Można wnioskować, iż minerał będzie pozostawał z wodą w równowadze.



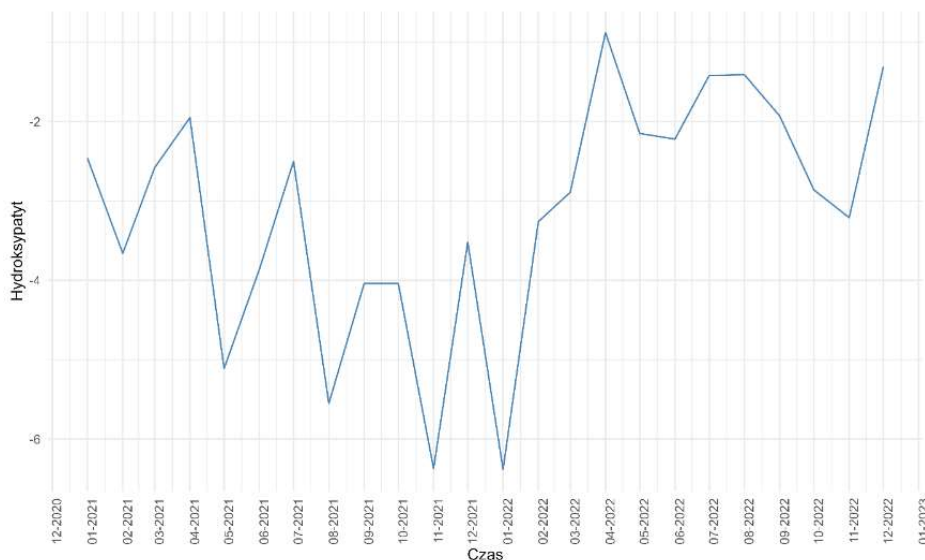
Rys. 9.181. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.181. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej kalcytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,3 do 0,3. Minerał ten niezmiennie będzie pozostawał z wodą w równowadze.



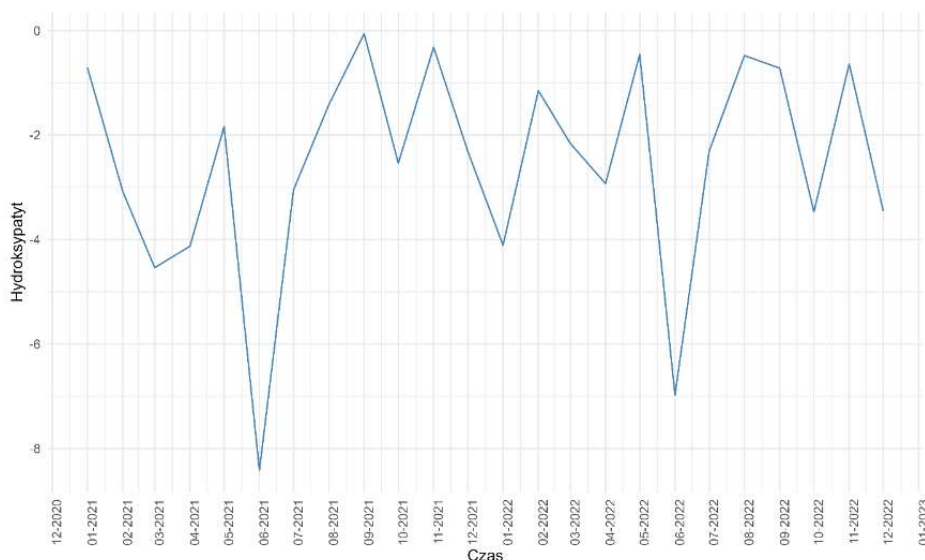
Rys. 9.182. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola kopcowa

Na rys. 9.182. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksypatyty na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -6 do 6 (odnotowano tylko w maju 2022 r.). Oznacza to, że minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostawał z wodą w równowadze.



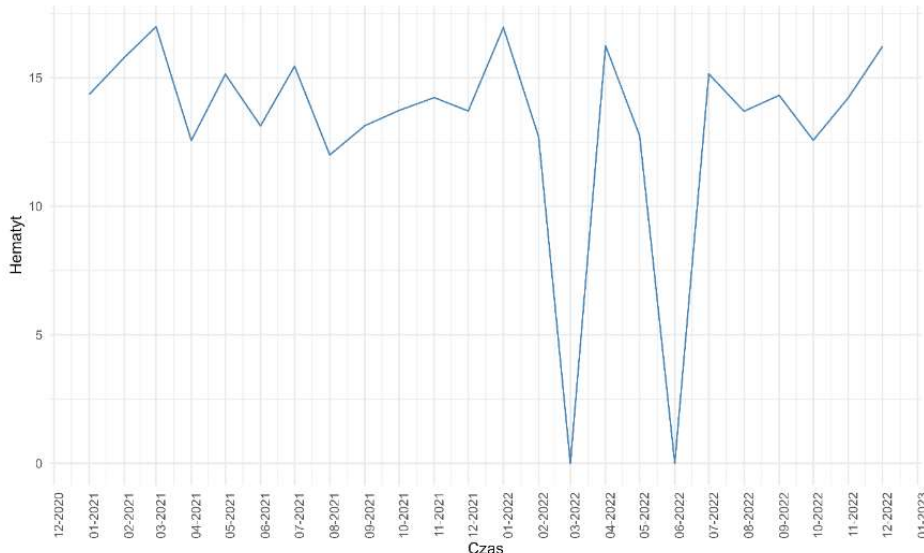
Rys. 9.183. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.183. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksypatyty na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -6 do -1. W związku z tym minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie.



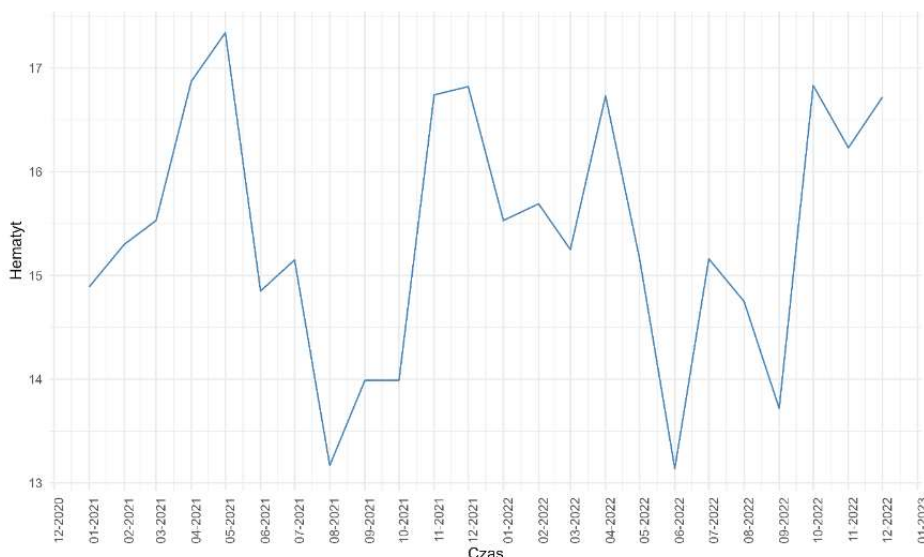
Rys. 9.184. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.182. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hydroksyapatytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -8 do 0. Zatem minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a dla kilku miesięcy pozostawał z wodą w równowadze.



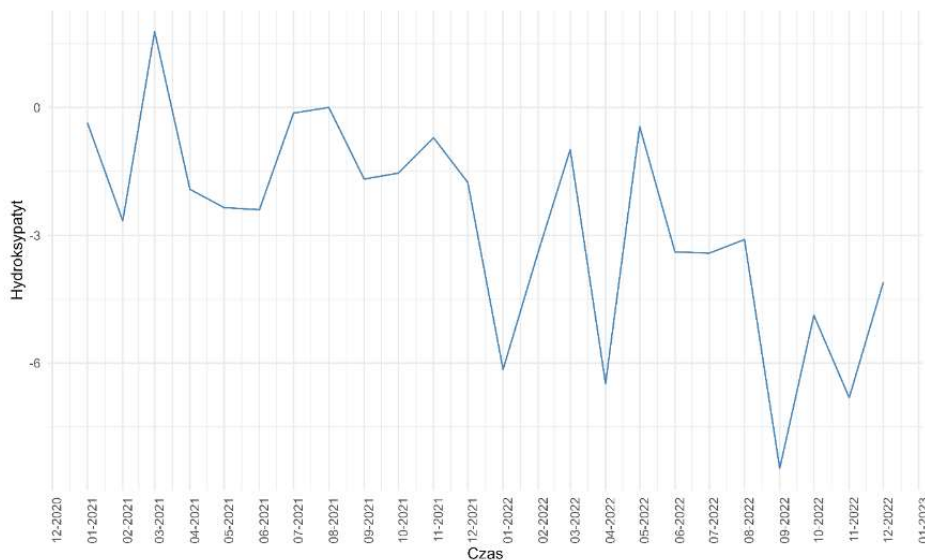
Rys. 9.185. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.185. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 (dla marca oraz czerwca 2022 r.) do 17. Minerał ten będzie głównie wytrącał się z wody.



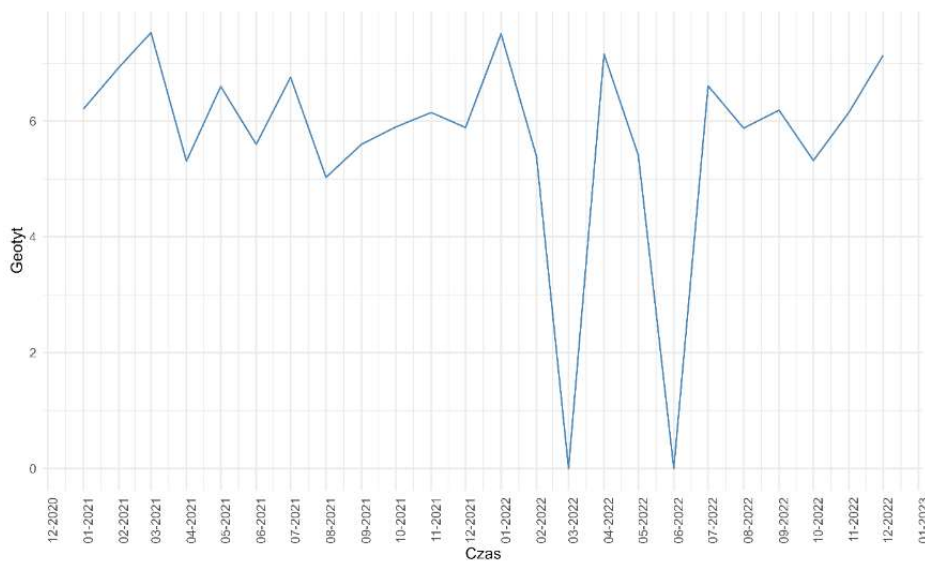
Rys. 9.186. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.185. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 13 do 17. Oznacza to, że minerał będzie głównie wytrącał się z wody.



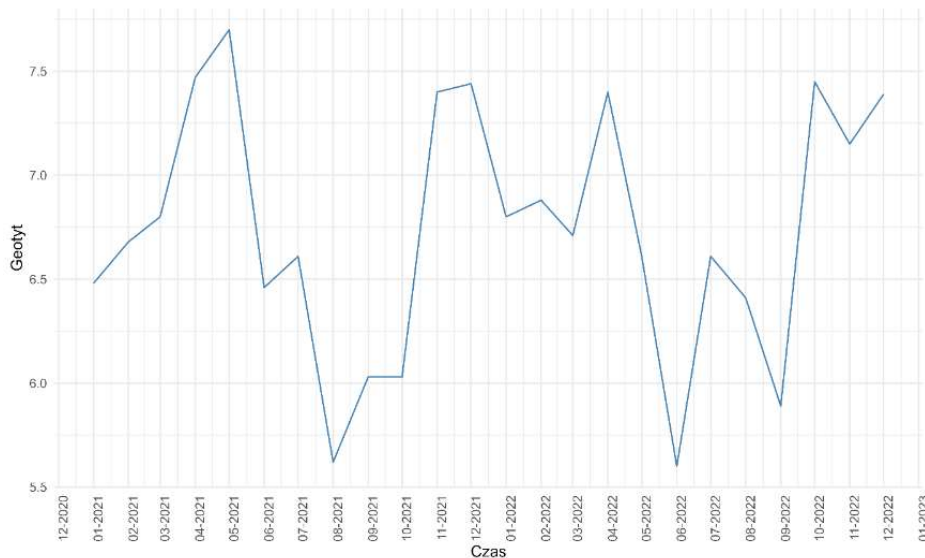
Rys. 9.187. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.187. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej hematytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -7,5 do 1,5 (odnotowano w marcu 2021 r.), a więc minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie.



Rys. 9.188. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.188. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 (odnotowana w marcu i czerwcu 2022 r.) do 7. Zatem minerał będzie głównie wytrącał się z wody.



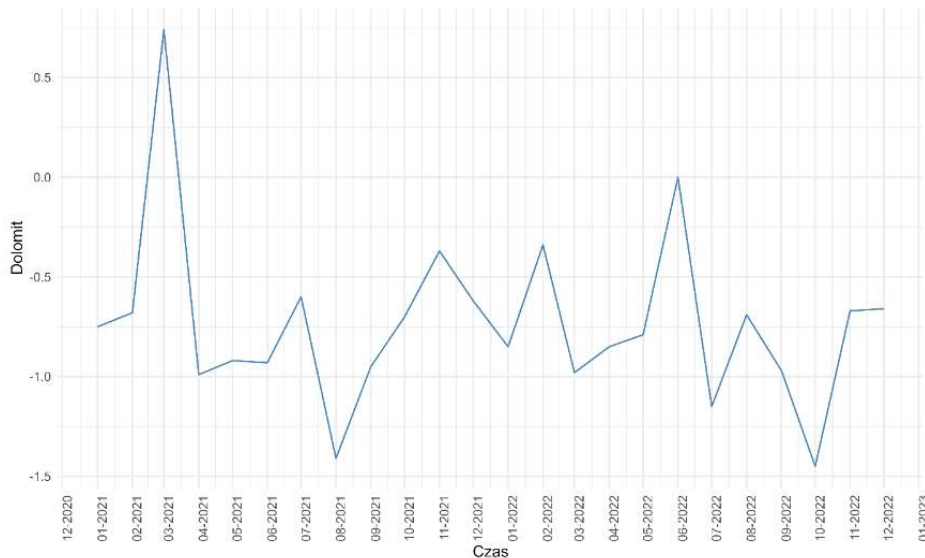
Rys. 9.189. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.189. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 5,5 do 7,5. Możemy powiedzieć, że minerał będzie wytrącał się z wody.



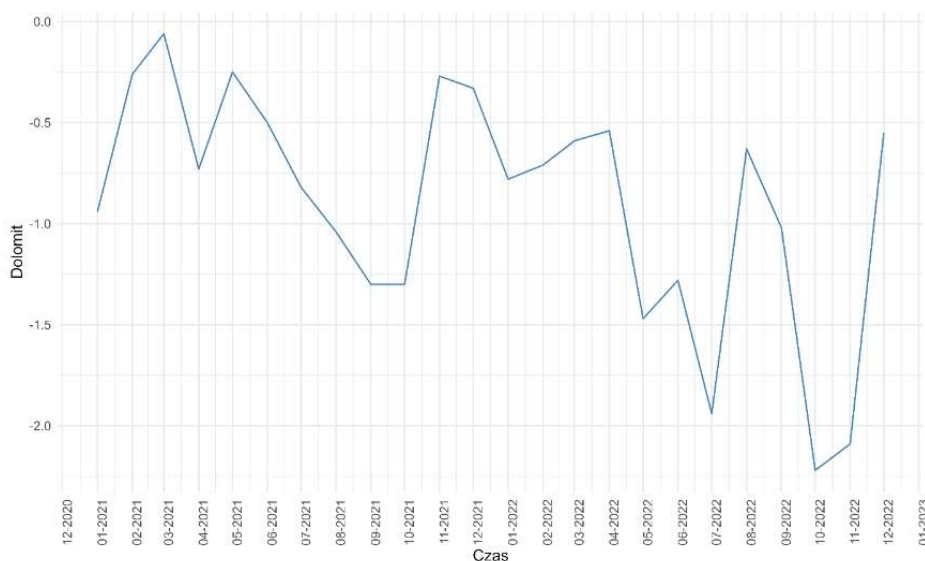
Rys. 9.190. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.190. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej getytu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od 0 (odnotowano w maju 2021 r.) do 8. Wnioskuje się, że minerał będzie niezmiennie wytrącał się z wody.



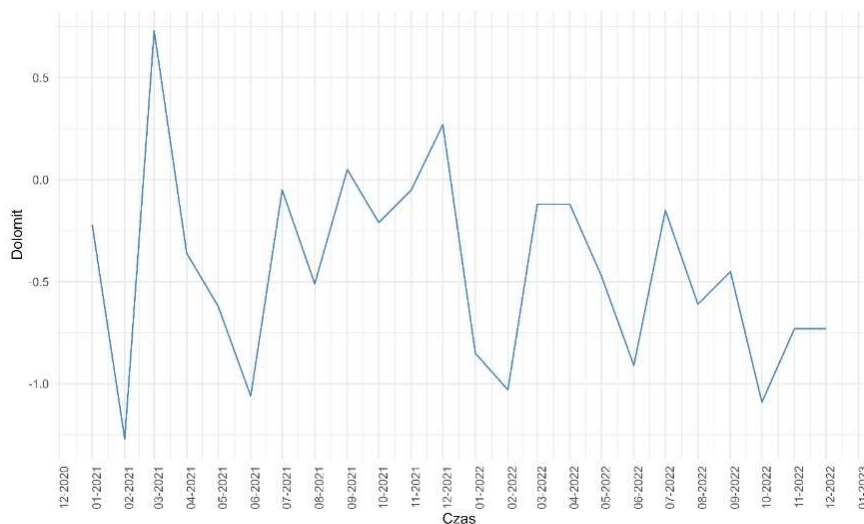
Rys. 9.191. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.191. przedstawiono zmienność dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,5 do 0,75 (odnotowano w marcu 2021 r.). Oznacza to, że minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a także dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



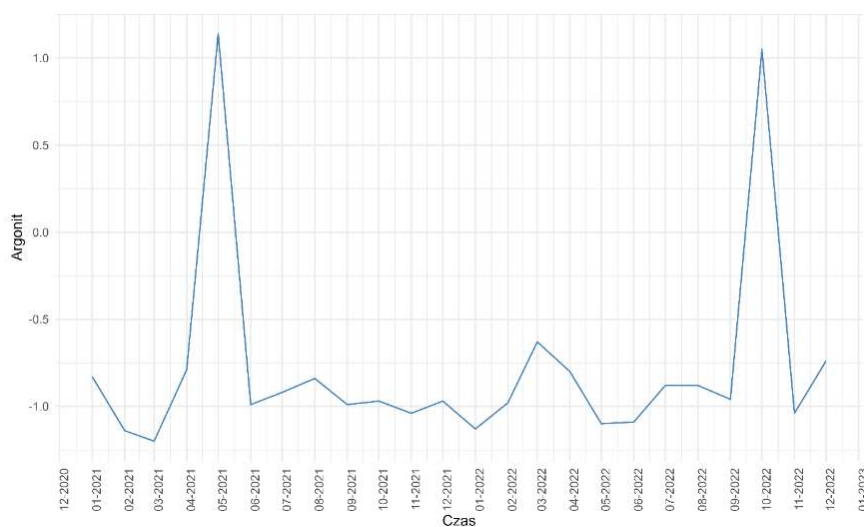
Rys. 9.192. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.192. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -2,25 do 0. Oznacza to, że minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a także dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



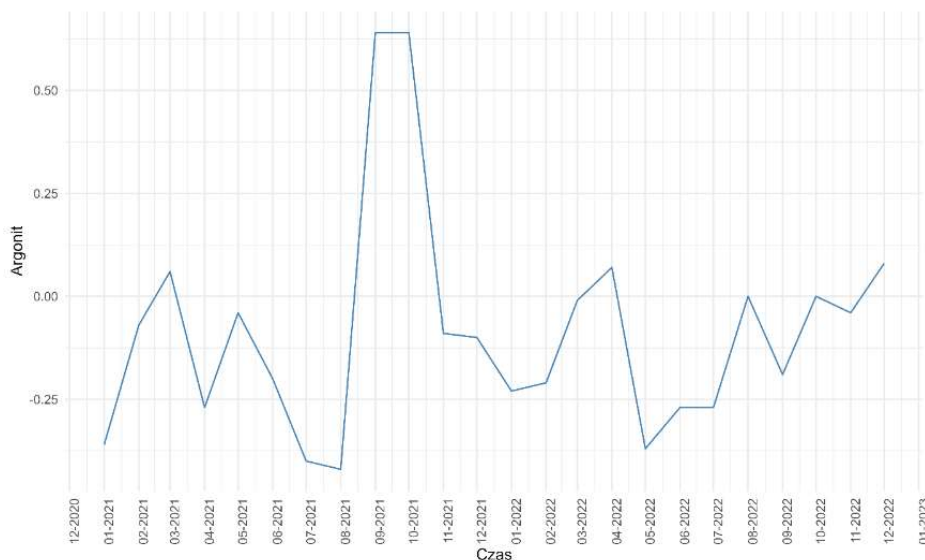
Rys. 9.193. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.193. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej dolomitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,5 do 0,75 (odnotowano w marcu 2021 r.). Minerał ten będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a także dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



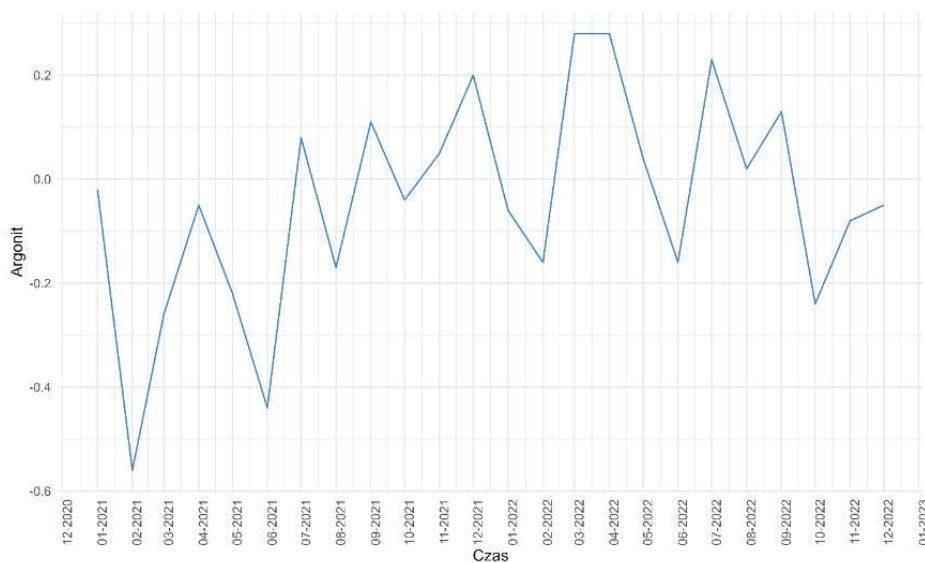
Rys. 9.194. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.194. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -1,2 do 1,2 (odnotowano w marcu 2021 r. oraz październiku 2022 r.). Wskazuje to, na to, że minerał będzie głównie rozpuszczał się w wodzie, a także dla kilku miesięcy pozostawał z nią w równowadze.



Rys. 9.195. Zmienność aragonitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.195. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,3 do 0,6 (odnotowano we wrześniu i październiku 2021 r.). Minerale ten będzie pozostawał w równowadze z wodą.



Rys. 9.196. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa

Na rys. 9.196. przedstawiono zmienność indeksów stabilności chemicznej aragonitu na przestrzeni 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru Wola Kopcowa. Indeksy stabilności chemicznej oscylują w granicach od -0,6(odnotowano w lutym 2021 r.) do 0,3. Oznacza to, że minerał podobnie jak dla miejsca poboru 2 będzie pozostawał w równowadze z wodą.

9.4.5 Ranking wielokryterialny dla 3punktów poboru na sieci

Tab. 9.2. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru - ujęcie

miesiąc	miejsce poboru	Bolechowice	Kołomań	Wola Kopcowa
styczeń	ujęcie	8,22	8,04	6,31
luty	ujęcie	8,86	8,11	7,75
marzec	ujęcie	9,31	9,54	7,25
kwiecień	ujęcie	9,17	10,12	8,41
maj	ujęcie	8,85	9,91	9,71
czerwiec	ujęcie	7,51	9,06	9,54
lipiec	ujęcie	8,16	8,78	8,97
sierpień	ujęcie	8,4	8,54	9,33
wrzesień	ujęcie	9,65	9,39	9,55
październik	ujęcie	9,67	9,08	9,59
listopad	ujęcie	9,76	9,84	9,87
grudzień	ujęcie	9,72	9,70	10,17

W tab. 9.2. przedstawiono ranking wielokryterialny, który wskazuje pozycje badanych wód pod kątem jakościowym. Ranking ten przeprowadzono dla każdego ujęcia oraz dla każdego punktu poboru dla 2022 r. z uwzględnieniem aktywności ^{222}Rn w wodzie. Prezentowane wyniki są sumą stymulant (dla zasadowości ogólnej, jonów magnezu oraz pH), oraz destymulant (pozostałe wyniki wykazane w załączniku). Zielonym kolorem przedstawiono wody, które wg. rankingu są najlepsze jakościowo. Przyjęta granica dla najlepszej wody wynosiła 9,9. Na pierwszym miejscu jest woda z Woli Kopcowej z wynikiem 10,17 pobierana w grudniu. Kolorem żółtym zaznaczono pośrednie wartości, które to mieszczą się w przedziale 8,31 – 8,9. Jest ich najwięcej w przedstawionym rankingu. W pierwszym

punkcie poboru pojawiły się aż dwa przypadki wyników z najniższych pozycji w omawianym rankingu- przyjęto zakres od 6,31- 7,31. Wodę na najniższej pozycji w rankingu wielokryterialnym wyznaczono dla Woli Kopcowej w miesiącu styczniu z wynikiem 6,31 oraz marcu z w wynikiem 7,25.

Tab. 9.3. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru - środek sieci (ŚS)

miesiąc	miejsce poboru	Bolechowice	Kołomań	Wola Kopcowa
styczeń	ŚS	8,96	9,64	10,01
luty	ŚS	8,59	8,32	8,84
marzec	ŚS	10,67	9,26	9,84
kwiecień	ŚS	9,43	9,12	8,18
maj	ŚS	8,4	9,69	9,63
czerwiec	ŚS	9,01	9,69	9,68
lipiec	ŚS	8,91	10,28	9,07
sierpień	ŚS	9,31	9,48	9,46
wrzesień	ŚS	9,37	9,76	9,68
październik	ŚS	9,75	10,00	9,8
listopad	ŚS	9,97	10,59	9,88
grudzień	ŚS	10,26	10,15	10,23

W tab. 9.3. przedstawiono ranking wielokryterialny, który wskazuje pozycje badanych wód pod kątem jakościowym. Prezentowane wyniki są sumą stymulant oraz destymulant wskaźników jakościowych wody, które dobrano identycznie jak dla końca sieci wodociągowej. Zielonym kolorem przedstawiono wody, które wg. rankingu są najlepsze jakościowe. Na pierwszym miejscu na środku sieci jest woda z Kołomani z wynikiem 10,15. Kolorem żółtym zaznaczono wartości graniczące z najgorszymi wynikami w tym rankingu. Dla środka sieci podobnie jak dla pierwszego punktu poboru nie ma wyników z najniższymi wartościami przyjętymi dla tego rankingu. Warto zaznaczyć, że najniższa wartość wynosi dla środka sieci

jedynie 8,18. Jest to wartość niższa niż wartości przyjęte dla średnich w rankingu, zaś dużo wyższa od krytycznych pozycji. Na środku sieci obserwuje się minimalny wzrost pozycji w rankingu dla większości miejsc i czasu poboru. Można sugerować, że w 2022 r. dla środka ujęcia jakość wody ulega polepszeniu.

Tab. 9.4. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru - koniec sieci (KS)

miesiąc	miejsce poboru	Bolechowice	Kołomań	Wola Kopcowa
styczeń	KS	9,16	9,65	10,90
luty	KS	8,59	10,26	9,14
marzec	KS	9,75	10,69	10,43
kwiecień	KS	8,42	9,59	9,32
maj	KS	8,27	10,52	10,36
czerwiec	KS	8,86	10,40	10,19
lipiec	KS	8,57	10,52	9,47
sierpień	KS	9,48	10,12	10,08
wrzesień	KS	9,41	10,26	9,87
październik	KS	8,97	9,84	10,51
listopad	KS	8,47	10,51	10,44
grudzień	KS	8,58	9,93	10,84

W tab. 9.4. przedstawiono ranking wielokryterialny, który wskazuje pozycje badanych wód pod kątem jakościowym. Ranking ten przeprowadzono dla każdego ujęcia oraz dla każdego punktu poboru dla 2022 r. z uwzględnieniem aktywności ^{222}Rn w wodzie. Prezentowane wyniki są sumą stymulant (dla zasadowości ogólnej, jonów magnezu oraz pH), oraz destymulant (pozostałe wyniki). Zielonym kolorem przedstawiono wody, które wg. rankingu są jakościowo najlepsze. Przyjęta granica dla najlepszej wody wynosiła 9,9. Na pierwszym miejscu jest woda z Woli Kopcowej z wynikiem 10,90. Kolorem żółtym zaznaczono pośrednie wartości, które to mieszczą się w przedziale 8,31 – 8,9. Dla końca sieci nie ma

wyników z najniższymi wartościami przyjętymi dla tego rankingu, które przyjmują zakres od 6,31- 7,31. Najniższa wartość w rankingu dla końca sieci wynosi 8,27 dla Bolechowic w maju. Jest to wartość, która jest zbyt wysoka by zaliczać się do najgorszych, tak więc można ją zaliczyć do bliskiej dla średnich w rankingu. Z powyższej tabeli wynika również, że najgorzej w tym rankingu wypadają Bolechowice zaś najlepiej Kołomań. Różnice wartości w rankingu są stosunkowo niskie. Warto zaznaczyć, że nie można przez to powiedzieć, że tylko woda z ujęcia Kołomań jest dobrej jakości, a pozostałe złej. Wartości w rankingu dla końca sieci są najlepsze spośród badanych punktów na sieci. 2022 r. wykazuje, że woda z czasem przepływu może nie ulegać pogorszeniu i do potencjalnego konsumenta dopływa charakteryzując się bardzo dobrą jakością. W tab. 9.2. przedstawiono ranking wielokryterialny, który wskazuje pozycje badanych wód pod kątem jakościowym. Ranking ten przeprowadzono dla każdego ujęcia oraz dla każdego punktu poboru dla 2022 r. z uwzględnieniem aktywności ^{22}Rn w wodzie. Prezentowane wyniki są sumą stymulant (dla zasadowości ogólnej, jonów magnezu oraz pH), oraz destymulant (pozostałe wyniki). Zielonym kolorem przedstawiono wody, które wg. rankingu są najlepsze jakościowe. Przyjęta granica dla najlepszej wody wynosiła 9,9. Na pierwszym miejscu jest woda z Woli Kopcowej z wynikiem 10,90. Kolorem żółtym zaznaczono pośrednie wartości, które to mieszczą się w przedziale 8,31 – 8,9. Dla końca sieci nie ma wyników z najniższymi wartościami przyjętymi dla tego rankingu, które przyjmują zakres od 6,31- 7,31.

10 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Woda zwana również monotlenkiem diwodoru jest jednym z najważniejszych produktów potrzebnych do funkcjonowania ludzi oraz zwierząt. W swojej czystej postaci występuje bardzo rzadko, ponieważ jako „super rozpuszczalnik” jest roztworem różnych substancji chemicznych. Bardzo istotnym jest, aby jej jakość była niezmienna na całej linii sieci wodociągowej i trafiała do konsumenta w niezmiennym składzie chemicznym. Kolejną ważną kwestią jest zachowanie stabilności chemicznej wody. W tym celu na pierwszym miejscu powinno się sprawdzić, czy takie minerały jak kalcyt (ma w swoim składzie wapń, który może tworzyć twarde kamień w rurociągach) pozostają w równowadze z wodą, a także czy takie minerały jak hematyt, getyt (zawierające w swoim składzie jony żelaza) nie będą się w wodzie rozpuszczać. W zależności od warunków występujących w wodzie, a głównie od szybkości korozji oraz utleniania, tworzą się związki żelaza o odmiennym składzie chemicznym i strukturze krystalograficznej. Są one podstawowym budulcem osadów korozyjnych. Woda niestabilna chemicznie ma niekorzystny wpływ na eksploatację sieci wodociągowej.

Dla ujęć wód podziemnych Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa pozyskano dane z Wodociągów Kielce Sp. z o.o. dla okresu 8 lat – od 2012 r. do 2020 r., w postaci wyników badań wskaźników jakościowych, zaś dla ostatnich dwóch lat, tj. 2020 – 2022 przeprowadzono samodzielne badania tych samych wskaźników dla 3 punktów poboru na sieci – ujęcie, środek sieci oraz koniec sieci. Następnie zebrane dane zostały wprowadzone do programu komputerowego PHREEQC, dzięki czemu otrzymano wyniki indeksów stabilności chemicznej badanych wód. Woda w 2022 r. została również zbadana pod kątem aktywności w niej promieniotwórczego pierwiastka jakim jest radon. Analiza wyników przeprowadzonych badań pozwoliła na określenie czy jakość wód z poszczególnych ujęć oraz jej stabilność chemiczna ulegają pogorszeniu w czasie, a także czy są widoczne zmiany tych wskaźników w różnych miejscach sieci wodociągowych wraz z przepływem wody. Określono również czy dla badanych wód wodociągowych istnieje zagrożenie radonowe.

Dla ujęcia Bolechowice zasadowość ogólna oraz zawartość jonów żelaza wykazują tendencję wzrostową w czasie. Do wskaźników jakościowych wykazujących możliwość spadku w czasie zalicza się jony wapnia, siarczany, azotany. Jon amonowy długo utrzymuje stężenie $0,13 \text{ mg/dm}^3$, następnie widoczny jest spadek wartości do $0,04 \text{ mg/dm}^3$. Azotyny,

chlorki, jony magnezu oraz jony sodu utrzymują się w ciągu 10 badanych lat na podobnym poziomie bez znaczących linii trendu.

Dla ujęcia Kołomań nie ma znaczących tendencji wzrostowych dla badanych wskaźników jakościowych wody, zaś dla siarczanów oraz manganu możliwy jest spadek wartości stężenia w czasie. Jony wapnia utrzymują się na poziomie nie przekraczającym 40 mg/dm^3 . Oznacza to, że woda jest bardzo miękka. Jony żelaza, jony magnezu, chlorki, azotyny, azotany, amonowy jon, jony sodu oraz zasadowość ogólna utrzymują zbliżone stężenia dla 10 badanych lat. Średnie wartości badanych substancji w wodzie nie przekraczają dopuszczalnych norm dla wody pitnej.

Dla ujęcia Wola Kopcowa również nie ma znaczących tendencji wzrostowych dla badanych wskaźników jakościowych wody, zaś dla jony manganu (II) możliwy jest spadek wartości stężenia w czasie. Jony wapnia, jony magnezu, chlorki, azotany oraz jony sodu przyjmują zbliżone wartości stężeń na przestrzeni badanego okresu czasu, natomiast jony żelaza przyjmują średnie roczne wartości większe od dopuszczalnych dla wody przeznaczonej do picia.

Kolejna analiza dla ujęć Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa dotyczyła stanu jakości wody na przestrzeni 24 miesięcy dla 3 wybranych punktów na sieci wodociągowej. W przypadku jonów żelaza widoczne są częste przekroczenia norm dla każdego z 3 punktów poboru na każdym z 3 badanych ujęć. Źródłem żelaza w wodzie mogą być żeliwne elementy konstrukcyjne oraz instalacje wodociągowe. Z tego powodu obserwuje się częste przekroczenia stężenia jonów żelaza w wodzie dla ujęcia Bolechowice dla każdego z badanych punktów sieci. Jony magnezu, jony sodu, jony wapnia, fosforany, chlorki, azotyny, azotany oraz amonowy jon wartości dla każdego punktu poboru na sieci wodociągowej Bolechowice nie przekraczają dozwolonych dopuszczalnych stężeń dla wody pitnej, natomiast dla ujęcia Kołomań zdarzają się pojedyncze przekroczenia; w przypadku azotanów odnotowuje się spadek wartości na ostatnim punkcie poboru wody do badań dla ujęcia Bolechowice, natomiast dla ujęcia Kołomań dla każdego miejsca poboru spadek dla ostatnich miesięcy roku 2022.

Jakość wody na przestrzeni 10 badanych lat dla ujęcia Bolechowice, Kołomań oraz Wola Kopcowa utrzymuje się na dobrym poziomie, bez znaczących wzrostów wartości z wyjątkiem jonów żelaza, gdzie odnotowuje się częste przekroczenia dopuszczalnego stężenia dla wody pitnej. Nie ma widocznych zmian jakości wody pomiędzy początkowymi, a końcowymi punktami na sieci wodociągowej.

Minerały, które są istotne dla stabilności chemicznej wody są wodorotlenek żelaza (III), getyt, hematyt oraz syderyt są produktami korozyjnymi, które nie powinny się rozpuszczać w wodzie. Drugą grupą minerałów jest aragonit, kalcyt oraz dolomit, które zawierają w swoim składzie wapń, dlatego też powinny pozostawać w równowadze z wodą, w celu uniknięcia pojawienia się twardego osadu w sieci wodociągowej. Pozostałe minerały, czyli: wiwianit, hydroksyapatyt, rodochrozyt, piroluzyt, manganit, pirochroity, hausmanit pojawiają się w wodzie ze względu na skład wody.

Przeprowadzona analiza indeksów stabilności chemicznej dla ujęcia Bolechowice wykazała, że wodorotlenek żelaza (III), getyt, hematyt będą przeważnie wytrącać się z badanej wody z małymi szansami pozostawania z nią w równowadze na przestrzeni czasu. Piroluzyt, hausmanit, manganit, pirochroity, rodochrozyt oraz syderyt będą się w niej rozpuszczać, natomiast aragonit, kalcyt oraz dolomit dla większości badanego okresu będą pozostawać w równowadze z wodą. Oznacza to, że można tę wodę określić jako stabilną chemicznie.

W przypadku ujęcia Kołomań wodorotlenek żelaza (III), getyt oraz hematyt będą się w wodzie wytrącać ze znaczną tendencją do spadku wartości indeksów stabilności chemicznej w czasie, co może w przyszłości prowadzić do stanu równowagi z wodą dla tych minerałów, a nawet do rozpuszczenia się tych minerałów w wodzie co w perspektywie czasu może świadczyć o pogorszeniu się jakości tej wody. Aragonit, manganit, pirochroity, piroluzyt, hausmanit, dolomit oraz syderyt będą się w wodzie rozpuszczać, natomiast kalcyt (najistotniejszy minerał dla stabilności chemicznej wody) dla omawianego okresu czasu pozostaje w większości w równowadze z wodą z silną tendencją utrzymania tego stanu w czasie. Oznacza to, że można tą wodę określić jako stabilną chemicznie.

Dla ujęcia Wola Kopcowa wodorotlenek żelaza (III), getyt oraz hematyt będą się z wody wytrącać. Manganit oraz pirochronit będą się w wodzie rozpuszczać z tendencją spadku wartości indeksów stabilności w czasie co będzie powodowało oddalanie się od stanu równowagi z wodą. Piroluzyt, hausmanit oraz syderyt będą się rozpuszczać w badanej wodzie z tendencją do utrzymania stałych wartości w czasie. Aragonit, kalcyt, rodochrozyt oraz dolomit pozostają w równowadze z wodą dla 10 badanych lat. Oznacza to, że woda jest stabilna chemicznie.

Dla każdego omawianego ujęcia przedstawiono jakość wody w rankingu wielokryterialnym dla wód pobieranych w 2022 r. Wykazał on, że najlepsza jakość wody jest dla ujęcia Wola Kopcowa w styczniu dla końcowego punktu poboru z wynikiem 10,9.

Natomiast najniższe miejsce w rankingu przypadło również dla Woli Kopcowej w miesiącu styczniu z wynikiem 6,31. Ranking ten wykazał dla każdego ujęcia, że jakość wody wraz z przepływem przez sieć wodociągową nie ulega pogorszeniu i trafiając do konsumenta charakteryzuje się dobrą jakością.

Przy pomocy modelu sieci bayesowskiej wykazano, że aktywność radonu koreluje z cechą jon amonowy oraz cechą jony wapnia. Wraz ze wzrostem tych cech rośnie aktywność radonu w wodzie. Zależność wapnia oraz radonu może wynikać z tego, że oba te pierwiastki dostają się do wody w wyniku kontaktu ze skałami.

Silne korelacje w wodzie tworzą również chlorki z cechą jony wapnia oraz cechą jony sodu - wraz ze wzrostem tych cech rośnie wartość chlorków w wodzie; azotany z cechą jony magnezu - wraz ze wzrostem tej cechy rośnie wartość azotanów; fosforany z cechą jonami sodu – wraz ze wzrostem tej cechy rośnie wartość fosforanów; magnez koreluje z cechą jony wapnia oraz cechą jony sodu - wraz ze wzrostem tych cech maleje wartość jonów magnezu w wodzie.

W niniejszej pracy zostały szczegółowo opisane i przeanalizowane pozyskane oraz własne wyniki badań wody wodociągowej. Założone cele badawcze zostały zrealizowane, a postawione tezy zweryfikowane. Na podstawie wyników badań sformułowano następujące wnioski szczegółowe, które dotyczą przedstawionych w dysertacji ujęć wody wraz z wytypowanymi punktami kontrolnymi sieci wodociągowej:

- Jakość wody na przełomie 10 lat nie ulega pogorszeniu, co więcej dla każdego badanego ujęcia obserwuje się znaczny trend spadkowy wartości wskaźników jakościowych, m.in. manganu. Stabilność chemiczna wód ujmowanych nie ulega istotnej zmianie w okresie 10 lat eksploatacji ujęcia. Wodę pobraną z ujęcia Bolechowice, jak również w wytypowanych punktach sieci, charakteryzuje relatywnie niska jakość.
- Wodorotlenek żelaza (III) wykazuje nieznaczną tendencję do wytrącania się z wody dla każdego ujęcia, a kalcyt oraz aragonit pozostają z wodą w równowadze, co jest silnym wyznacznikiem stabilności chemicznej badanych wód.
- Dla badanego okresu czasu dla wszystkich ujęć obserwuje się incydentalne przekroczenia dla jonów żelaza w wodzie, poza tym wszystkie wartości mieszczą się

w zakresie dopuszczalnych dla wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Wobec tego stan tych wód wodociągowych można określić jako dobry.

- Najwyższą aktywność ^{222}Rn w wodzie wodociągowej odnotowano na ujęciu wody.
- Aktywność ^{222}Rn w wodzie w czasie jej przepływu przez sieć wodociągową wykazuje tendencję spadkową.
- Średnioroczne stężenia radonu w sieci wodociągowej nie przekraczają limitów EPA w końcowym punkcie sieci w Woli Kopcowej. Spadek aktywności ^{222}Rn może wpływać na poprawę jakości wody w trakcie jej przepływu przez sieć wodociągową.

WYKAZ LITERATURY

Akty prawne

- [1] Norma europejska PN-EN 15975-2:2013-12, określająca bezpieczeństwo zaopatrzenia w wodę do spożycia oraz wytyczne dotyczące zarządzania kryzysowego i ryzyka.
- [2] Norma Międzynarodowa PN-EN ISO 14189:2016-10, określająca jakość wody, oznaczenie ilościowe *Clostridium perfringens* metodą filtracji membranowej
- [3] Norma Międzynarodowa PN-EN ISO 17994:2014-04, określająca jakość wody, wytyczne do porównania względnego odzysku mikroorganizmów według dwóch metod ilościowych (zastępuje wycofaną Normę PN-EN ISO 17994:2007 określającą jakość wody, kryteria ustalania równoważności metod mikrobiologicznych).
- [4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie terenów, na których średnioroczne stężenie promieniotwórcze radonu w powietrzu wewnątrz pomieszczeń w znacznej liczbie budynków może przekraczać poziom odniesienia (Dz. U. 2020 poz. 1139).
- [5] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2017 r. poz. 2294).
- [6] Dyrektywa Rady 98/83/WE z dnia 03.11.1998r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [7] Dyrektywa Komisji (UE) 2015/1787 z dnia 06.10.2015r., wprowadzająca zmiany do załączników II i III do ww. dyrektywy.
- [8] Dyrektywa Rady 2013/51/EURATOM z dnia 22.10.2013r.[5], która wprowadza wymagania pod kątem dopuszczalnych zawartości substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/2184 z dnia 16.12.2020r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.
- [10] Dyrektywa Rady 91/676/EWG z dnia 12.12.1991r. w sprawie ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego.
- [11] Ustawa z dnia 07.06.2001 r. o zbiorowym zaopatrzeniu w wodę i zbiorowym odprowadzaniu ścieków.
- [12] Ustawa z dnia 14.03.1985 r. o Państwowej Inspekcji Sanitarnej (Dz. U. z 2021 r. poz. 195 z późniejszymi zmianami).
- [13] Ustawa z dnia 20 lipca 2017r. Prawo wodne (Dz. U. z 2022 r. poz. 2625 z późniejszymi zmianami). Ustawa określająca zarządzanie zasobami wodnymi.

Bibliografia

- [14] Dane udzielone przez „Wodociągi Kieleckie” Spółka z o.o.; Kielce ul. Krakowska 64.

- [15] Wolska M., Mołczan M. 2015: Ocena stabilności wody wprowadzanej do sieci wodociągowej, 4(37), s. 51-56.
- [16] Palomo A. i in., 1999: Chemical stability of cementitious materials based on metakaolin. *Cement and Concrete Research* , 7(29), s. 997–1004.
- [17] Tatara M. 2001: Wtórne zanieczyszczenia wody wodociągowej podczas jej dystrybucji w aspekcie pogorszenia fizykochemicznej jakości wody. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 6, s. 201-205
- [18] Sarin P, Snoeyink V. L., Lytle D.A., Kriven W.M. 2004: Iron corrosion scales: Model for scale growth, iron release, and colored water formation. *Journal of Environmental Engineering* ,4(130), s. 364–373
- [19] Volk C., Dundore E, Schiermann J., Le-Chevallier M.W. 2000: Practical evaluation of iron corrosion control in a drinking water distribution system. *Water Research*, 6(34), s. 1967–1974.
- [20] <https://wod-kiel.com.pl/zaopatrzenie-w-wode-mieszkancow-miedzygminnego-zwiazku-wodociagow-i-kanalizacji-59.html>, dostępność dnia 20.04.20.
- [21] Macioszczyk A., Dobrzyński D., *Hydrochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych*, PWN, Warszawa 2002.
- [22] Kowal L., Świdarska-Bróż M., "Oczyszczanie wody" Tom 1, Zasoby, wymagania, ocena jakości i monitoring, str. 17-47. Warszawa, 2022.
- [23] Adamczyk-Lorenc A., Goldsztejn P., Rozkład stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfiku Łądką -Śnieżnika, *Prace Naukowe Instytutu górnictwa Politechniki Wrocławskiej*, Warszawa 2005.
- [23] Granops M., Kierdyńska L., Sulewski R., Wnęć T., *Efektywność technologiczna usuwania jonu amonowego z wód podziemnych*, Warszawa, 2008.
- [24] Główny Inspektorat Sanitarny <https://www.gov.pl/web/gis/glowny-inspektorat-sanitarny>, dostępność 21.03.21.
- [25] Żygadło M., Gawdzik J., *Przewodnik do ćwiczeń z chemii sanitarnej*, Kielce, 2009
- [26] Chmura W., *Badania składu izotopowego azotanów w wodach podziemnych i powierzchniowych – aspekty metodyczne i zastosowania*, s. 23, 2008.
- [27] Kowal A.L., Świdarska-Bróż M., *Oczyszczanie wody. Podstawy teoretyczne i technologiczne procesy i urządzenia*, PWN, Warszawa 2007.
- [28] Gomółka E. , Szaynok A., *Chemia wody i powietrza*, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1982.
- [29] Edzwald J., and American Water Works Association, *Water quality and treatment: a handbook on drinkig water*, McGraw-Hill Educations, 2011.
- [30] Małgorzata Wolska, Marek Mołczan *Ocena stabilności wody wprowadzanej do sieci wodociągowej, ochrona środowiska*, vol.37, strony: 1,55-562015.

- [31] Zdanowicz A. i Płatek B, 2013: Twardość wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi, Analiza jakości wody w aspekcie twardości.
- [32] Zhou, W., Kageyama, K., Yuasa, A., Monitoring of microbiological water quality by real-time PCR, Environmental Technology, 2007.
- [33] Płochniewski Z. i Pich J., Żelazo i mangan w wodach podziemnych różnych środowisk hydrogeochemicznych, s. 783, Kraków 1986.
- [34] <http://phie.pl/pdf/phe-2010/phe-2010-1-137.pdf>, dostępność 13.11.22.
- [35] Sapek A., Chlorki w wodzie na obszarach wiejskich, 8(22), s. 264-264, 2008.
- [36] Cygański A., „Metody elektroanalityczne”, 2(2.1.), 1995.
- [37] Metryka-Telka M., Gawdzik J., Analiza jakości oraz stabilności chemicznej wód wodociągowych w Kielcach w latach 2016-2020, str. 100-112, Kielce, 2021.
- [38] Dąbrowska L., Usuwanie prekursorów trihalometanów w procesie koagulacji chlorkami poliglinu, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 2020.
- [39] Macioszczk A., Hydrogeochemia, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1987.
- [40] Polak-Mazur D., Rojek A., Monitoring stanu chemicznego oraz ocena stanu jednolitych części wód podziemnych w dorzeczach – stan na rok 2019, Warszawa 2020
- [41] Nawrocki J., Biłozora S. Uzdatnianie wody, Procesy chemiczne i biologiczne, Warszawa – Poznań, 2000.
- [42] Apolnary L., Kowal M. i in. Oczyszczanie wody, tom 1 – Zasoby, wymagania, ocena jakości i monitoring, Warszawa 2022.
- [43] Papciak D., Reczek L., Mikrobiologia i biotechnologia w procesach oczyszczania wody, Rzeszów, 2011.
- [44] K. S. Rosenthal, M. A. Pfaller Patrick R. Murray, Mikrobiologia, Redakcja wydania polskiego, 2022.
- [45] Wygoda G., Ujęcia wody pitnej i jej uzdatnianie, Krosno 2018.
- [46] Strona internetowa: <https://www.gov.pl/web/wsse-rzeszow/jakosc-wody-przeznaczonej-do-spozycia---charakterystyka> dostęp dnia 20.01.23r.
- [47] Krupńska I., Problemy związane z występowaniem substancji humusowych w wodach podziemnych, Zeszyty naukowe, Inżynieria Środowiska, Uniwersytet Zielonogórski, Zielona Góra 2012.
- [48] Lin L., Yang H., Xu X., Effect of water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: a review, str. 10-22, Chiny, 2022.
- [49] Michałkiewicz, M., Mikrobiologia wód podziemnych, Technologia wody 2011, 6.

- [50] Oleńczuk -Nejman K., Mikroorganizmy w kształtowaniu jakości i uzdatniania wód podziemnych, Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001.
- [51] Feruson A.S., Layton A.C. Mailloux B.J., Culligan P.J., Williams D.E., Smartt A.E., van Geen A., Comparison of feecal indicators with pathogenic bacteria and rotavirus in groundwater, Science of the Total Environment 2012.
- [52] Mądry T. Problem starzenia się sieci wodociągowej, Kraków 2006.
- [53] Nawrocki J. , Świetlik J., Analiza zjawiska korozji w sieciach wodociągowych, Ochrona Środowiska, Vol 33, nr. 4, 2011.
- [54] Srinivasan G., Harrington G.H., Biostability analysis for drinking water distribution systems., Vol. 41, No. 10, str. 2127–2138, Water Research 2007.
- [55] Tatara M. 2001: Wtórne zanieczyszczenia wody wodociągowej podczas jej dystrybucji w aspekcie pogorszenia fizykochemicznej jakości wody. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, 6, s. 201-205.
- [56] Lasocka-Gomuła, P. Kania, A. Maciołek, Stabilność chemiczna wody podziemnej ze stacji oczyszczania w Gruszczynie. Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód, tom I, s. 545-554 (XX Jubileuszowa Krajowa, VIII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna), 2008.
- [57] Wolska M., Mołczan M., Ocena stabilności wody wprowadzanej do sieci wodociągowej, Ochrona Środowiska, 2016.
- [58] Mazur J., Materiały pomocnicze do ćwiczeń laboratoryjnych z chemii środowiska, Szczecin, 2019.
- [59] Łomotowski J. i Radosz M., Stabilność wody w systemach wodociągowych. Mat. konf. „Wspomaganie komputerowe w projektowaniu i eksploatacji systemów wodociągowych i kanalizacyjnych”, Świnoujście- Kopenhaga, 2002.
- [60] Kowal A., „Przyczyny i zapobieganie zmianom jakości wody w systemach wodociągowych”, Ochrona Środowiska”, 2003.
- [61] Garcia-Avila F. i in., Evaluation of water quality and stability in the drinking water distribution network in the Azogues city, Ecuador, 2018.
- [62] Abbasnia A., Alimohammadi M., Mahvi AH, Nabizadeh R., Yousefi M., Mohammadi AA, Pasalari H., Mirzabeigi M. Ocena jakości wód podziemnych oraz ocena potencjału skalowania i korozyjności próbek wody pitnej we wsiach miasta Chabahr, Prowincja Sistan i Beludżystan w Iranie. Podsumowanie danych. 2018;16:182–192
- [63] Yousefi M., Najafi Saleh H., Mahvi A.H., Alimohammadi M., Nabizadeh R., Mohammadi A.A. Data on corrosion and scaling potential of drinking water resources using stability indices in Jolfa, East Azerbaijan, Iran. Data Brief. 2018;16:724–731.

- [64] Strona internetowa: <https://corrosion-doctors.org/Cooling-Water-Towers/Index-Ryznar.htm>, dostępność 03.01.23.
- [65] Kowal L., Świdorska-Bróż M., Wolska M., *Oczyszczanie wody TOM I i II*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2022.
- [66] Nawrocki J., Biłozor S., *Uzdatnianie wody. Procesy chemiczne i biologiczne*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2000.
- [67] Łomotowski J., Siwoń Z., The use of programmes stimulating the ionic composition of water to assess the chemical stability of tap water, *Ochrona Środowiska*, 2004, 4, 13 - 16.
- [68] Kowal L., Świdorska-Bróż M., Wolska M., *Oczyszczanie wody TOM I i II*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2022.
- [69] Skwarek J., *Stabilność chemiczna wody w systemach wodociągowych na przykładzie wybranego miasta*, Rozprawa Doktorska, Wyd. Politechnika Świętokrzyska 2004.
- [70] Żbikowski R., *O skałach i minerałach*, MOW, 2022.
- [71] Olaf Medenbach, Cornelia Sussieck-Fornefeld: *Minerały*. Warszawa: Świat Książki, 1996, seria: *Leksykon Przyrodniczy*. ISBN 83-7129-194-9.
- [72] Kazimierz Maślankiewicz: *Kamienie szlachetne*. Wyd. 3 popr. i uzupełn. Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne, 1982.
- [73] Sachanbiński N., *Vademecum zbieracza kamieni szlachetnych i ozdobnych*. Warszawa: Wydawnictwo Geologiczne, 1984. ISBN 83-220-0199-1
- [74] Schumann W., *Minerały świata*, AP, 2008.
- [75] Rupert H., *Minerały, kamienie szlachetne, skały*, Multico, 2022.
- [76] Bolewski A., Manecki A.: *Mineralogia szczegółowa*. Wyd. PAE, Warszawa 1993.
- [77] Gormaz G., Casanovas J., – „Wiedza i życie” 1992,
- [78] W. Heflik, L. Natkaniec – Nowak – *Minerały Polski – Wyd. „Antykw” – 1998*.
- [79] Wiglusz R., *Nano-hydroksyapatyty w zastosowaniach biomedycznych*, „Postępy Farmacji”, 2012.
- [80] Żaba J., *Ilustrowany słownik skał i minerałów*. Videograf II, 2003.
- [81] *Surowce mineralne Polski. Sól kamienna*. Państwowy Instytut Badawczy, (dostęp 14.12.21.)
- [82] Wojnowski J.(red.), *Wielka Encyklopedia PWN*, t. 25, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2004, s. 396, ISBN 83-01-14193-X, ISBN 83-01-13357-0, OCLC 830629358.
- [83] Bielański A., *Podstawy chemii nieorganicznej*, wyd. 6, t. 2, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2010, s. 956, ISBN 978-83-01-16282-5.

- [84] Zhou Q., Bian Z. i in., Stability of Drinking Water Distribution Systems and Control of Disinfection By-Products, Toxics, Chiny, 2023.
- [85] Tong, H.; Zhao, P.; Zhang, H.; Tian, Y.; Chen, X.; Zhao, W.; Li, M. Identyfikacja i charakterystyka wody stałej i okludowanej w systemach dystrybucji wody pitnej. *Chemosfera* **2015** , 119 , 1141–1147.
- [86] Wen-Bin, Z.; Ri-Hui, Z.; Hai-Yang, J. Obecny stan higieniczny i środki zaradcze w fabrykach wody w kraju Lianyungang. *mod. poprzedni Med.* **2001** , 4 , 469–470
- [87] Dombay, G. Korozja w systemach dystrybucji wody pitnej. *ResearchGate* **1997** , 49 , 1–8.
- [88] Lytle, DA; Gerke, TL; Maynard, JB Wpływ redukcji siarczanów bakteryjnych na łuski korozji żelaza. *J. Am. Praca wodna. doc.* **2005** , 97 , 109–120
- [89] Sarin, P.; Snoeyink, VL; Bebee, J.; Kriven, WM; Clement, JA Fizyko-chemiczna charakterystyka korozji w starych rurach żelaznych. *Odporność na wodę* **2001** , 35 , 2961–2969.
- [90] Yang, F.; Shi, B.; Gu, J.; Wang, D.; Yang, M. Charakterystyka morfologiczna i fizykochemiczna łusek korozyjnych żelaza powstałych w różnych historiach źródeł wody w systemie dystrybucji wody pitnej. *Odporność na wodę* **2012** , 46 , 5423–5433.
- [91] Świetlik, J.; Raczyk-Stanisławiak, U.; Piszora, P.; Nawrocki, J. Korozja w rurach wody pitnej: Znaczenie zielonej rdzy. *Odporność na wodę* **2012** , 46 , 1–10.
- [92] Janik M.; Przenoszenie radonu z gruntu do budynku. Modelowanie komputerowe i weryfikacja w budynkach mieszkalnych, 7,9 Kraków, 2005.
- [93] Characklis, W.G.; James, D.B.I.B. Bioengineering Report. Fouling biofilm development: A process analysis. *Biotechnol. Bioeng.* 2009, 102, 309–347
- [93] Flemming, H.C.; Wingender, J. The biofilm matrix. *Nat. Rev. Microbiol.* 2010, 8, 623–633. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- [94] Nguyen, T.; Roddick, F.A.; Fan, L. Biofouling of Water Treatment Membranes: A Review of the Underlying Causes, Monitoring Techniques and Control Measures. *Membranes* 2012, 2, 804–840. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed][Green Version]
- [95] Fish, K.E.; Osborn, A.M.; Boxall, J. Characterising and understanding the impact of microbial biofilms and the extracellular polymeric substance (EPS) matrix in drinking water distribution systems. *Environ. Sci. Water Res. Technol.* 2016, 2, 614–630. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]
- [96] Hunt, A.P.; Parry, J.D.J.B. The effect of substratum roughness and river flow rate on the development of a freshwater biofilm community. *Biofouling* 1998, 12, 287–303. [Google Scholar] [CrossRef]
- [97] Revetta, R.P.; Vicente, G.A.; Gerke, T.L.; Claudine, C.; Santo, D.J.W.; Ashbolt, N. Establishment and early succession of bacterial communities in monochloramine-treated

drinking water biofilms. *Fems Microbiol. Ecol.* 2014, 86, 404–414. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]

[98] Liu, R.; Yu, Z.; Guo, H.; Liu, M.; Zhang, H.; Yang, M. Pyrosequencing analysis of eukaryotic and bacterial communities in faucet biofilms. *Sci. Total Environ.* 2012, 435–436, 124–131. [Google Scholar] [CrossRef]

[99] Bartrand, T.A.; Causey, J.J.; Clancy, J.L. *Naegleria fowleri*: An emerging drinking water pathogen. *J. Am. Water Work. Assoc.* 2014, 106, E32–E418. [Google Scholar] [CrossRef][Green Version]

[101] Ndiongue, S.; Huck, P.M.; Slawson, R.M. Effects of temperature and biodegradable organic matter on control of biofilms by free chlorine in a model drinking water distribution system. *Water Res.* 2005, 39, 953–964. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

[102] Liu, S.; Gunawan, C.; Barraud, N.; Rice, S.A.; Harry, E.J.; Amal, R. Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 8954–8976. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

[103] Liu, S.; Gunawan, C.; Barraud, N.; Rice, S.A.; Harry, E.J.; Amal, R. Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 8954–8976. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

[104] Starosvetsky, D.; Armon, R.; Yahalom, J.; Starosvetsky, J. Pitting corrosion of carbon steel caused by iron bacteria. *Int. Biodeterior.* 2001, 47, 79–87. [Google Scholar] [CrossRef]

[105] King, R.A.; Miller, J.D. Corrosion by the sulphate-reducing bacteria. *Nature* 1971, 233, 491–492. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

[106] Wang, H.; Hu, C.; Hu, X.; Yang, M.; Qu, J. Effects of disinfectant and biofilm on the corrosion of cast iron pipes in a reclaimed water distribution system. *Water Res.* 2012, 46, 1070–1078. [Google Scholar] [CrossRef]

[107] How to reduce radon levels in your home”, United States Environmental Protection Agency.

[108] Bogacz J., Mazur D., Swakoń J., Janik M., The calibration of activated charcoal detectors in a small 222 Rn exposure chamber, *Radiation Measurements* 33, 873-878; 2001.

[109] Chau N.D., Duliński M., Jodłowski P., Nowak J., Różański K., Śleziak M, Wachniew P., Natural radioactivity in groundwater – a review. *Ssotopes in Environmental and Health Studies*; 47(4): 415-433, 2011.

[110] Chau N.D., Rajchel L., Nowak J., Jodłowski P., Radium isotopes in the Polish Outer Carpathian mineral waters of various chemical composition. *Journal of Environmental Radioactivity*; 112: 38-41, 2016.

[111] Dane pozyskane z Environmental Protection Agency, <https://www.google.com/search?q=enviomental+protection+agency+informacje+o+radonie&ei=Pyw7YcDCA4SSwPAPh8akAU&oq=enviomental+protection+agency+informacje+o+rad>

onie&gs_lcp=Cgdnd3Mtd2l6EANKBAhBGABQg6QCWMuHBGD3iQRoBXACeACAAAdgBiAGxG5IBBzE5LjE0LjGYAQCgAQHAAQE&sclient=gws wiz&ved=0ahUKEwiA3pS_kvTyAhUECRAIHQcjCV8Q4dUDCA4&uact=5 (dostęp o3.06.21).

[112] El-Badry B., Al-Naggar T., Khouqeer G., Monitoring the levels of radon and toxic elements pollutants in bottled drinking water, International Journal of Radiation Research, 428,2020

[113] Przybilski T. 'Radon składnik swoisty wód leczniczych Sudetów; 3-4, Wrocław, 2005

[114] Mazur J., Raport Nr 2014/AP Dynamika procesu ekshalacji radonu z gruntu, a parametry meteorologiczne i własności gleby, Kraków, 2008.

[115] Nowak J.; Promieniotwórczość naturalna wód termalnych Karpat polskich. Kraków, 2013.

[116] Wojtkowski K., Dobroczynne promieniowanie jonizujące. Metody i techniki jądrowe, Uniwersytet Warszawski- Fizyka. Politechnika Warszawska – Fizyka Techniczna

[117] Miliszkievicz A., 1978, Radon, PWN, Wrocław.

[118] Duggal V., Sharma S., Mehra R., Radon levels in drinking water of Fatehabad district of Haryana, India, Applied Radiation and Isotopes, nr 123, 2017.

[119] Lorenc A., Goldsztejn P., 2005. Rozkład stężeń radonu w wodach podziemnych metamorfiku Ladka – Śnieżnika. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Studnia i materiały nr 113; Wrocław, 2005.

[120] Mazur J., K. Kozak, T. Horwacik, R. Haber, T. Zdziarski, Influence of meteorological conditions on radon measurements in soil – preliminary results, Prace Naukowe GIG Mining & Environment, Research Report, Quarterly Katowice 2004, NORM IV Conference Szczyrk, Poland, 59 2004.

[121] Podgórnka Z., Słonecka I., Koszuk Ł., Radon i jego źródła. Przewodnik młodego odkrywcy, Warszawa 2020.

[122] Strona internetowa: <https://promieniowanie.blogspot.com/2014/10/radon-radioaktywny-gaz-z-kopalni-i.html>, dostęp: 23.05.20.

[123] Nazaroff W.W., Nero A.V.: Radon and its decay products in indoor air. John Wiley & Sons, 1988.

[124] Removal of radon from water system, <https://awqinc.com/removal-of-radon-from-water/>, dostęp 20.01.23r.

[125] Podgórnka Z., Słonecka I., Koszuk Ł., Radon i jego źródła. Przewodnik młodego odkrywcy, Warszawa 2020.

[126] Przylibski T. A., Adamczyk A., Nowe stanowisko do pomiarów stężeń radonu ^{222}Rn w wodzie w Laboratorium Hydrogeologicznym na Wydziale Górnictw Politechniki Wrocławskiej. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 103, Seria:

Konferencje, Nr 36, ss. 329-343, „Zagadnienia interdyscyplinarne w górnictwie i geologii”, III Konferencja Doktorantów, Szklarska Porba, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2003.

[127] Gary R.W. Denton, Sara Namazi, *Indoor Radon Levels and Lung Cancer Incidence on Guam*, Water & Environmental Research Institute of the Western Pacific, University of Guam, UOG Station, Mangilao, Guam 96923, USA.

[128] Shilpa G.M., Anandaram B.N., Mohankumari T.L. Measurement of ²²²Rn concentration in drinking water in the environs of Thirthahalli taluk, Karnataka, India, 2017.

[129] Przylibski T. A. Radon concentration changes in the air of two caves in Poland. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1999

[130] Przylibski T. Radon składnik swoisty wód leczniczych Sudetów; 3-4, Wrocław, 2005

[131] Przylibski T., Gorecka J., Kowalska A., Fijałkowska-Lichwa L., Zagożdżon K., Zagożdżon P., Miśta W., Nowakowski R., ²²²Rn and ²²⁶Ra activity concentrations in groundwaters of southern Poland: New data and selected genetic relations. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 301:757-764; 2014

[132] Pachocki K., Gorzkowski B., Różycki Z., Wieczyk J., Smoter J., Radon-222 in drinking water from Jelenia Góra, 2001.

[133] Robak W., Maciejewski P., Zagrożenia radiologiczne w Polsce. Nr 2 (148) 2008 ISSN 1731-8157

[134] UNSCEAR, 1993, Report to the General Assembly, With Scientific Annexes, United Nations Sales Publication E.94.IX.2

[135] UNSCEAR, 2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B exposures from natural radiation sources.

[136] WHO, World Health Organization Guidelines for drinking-water quality (3rd ed.), Author, Geneva, Switzerland (2004) S1687-8507(21)00013-3: 9241546387.

[137] Protection Against Radon-222 at Home and at Work

I ICRP - Ann. ICRP, 1993

[138] UNSCEAR, 2000. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. ANNEX B exposures from natural radiation sources.

[139] Water Radon Removal, <https://culliganwaterma.com/water-radon-removal/>, dostęp 21.05.23r.

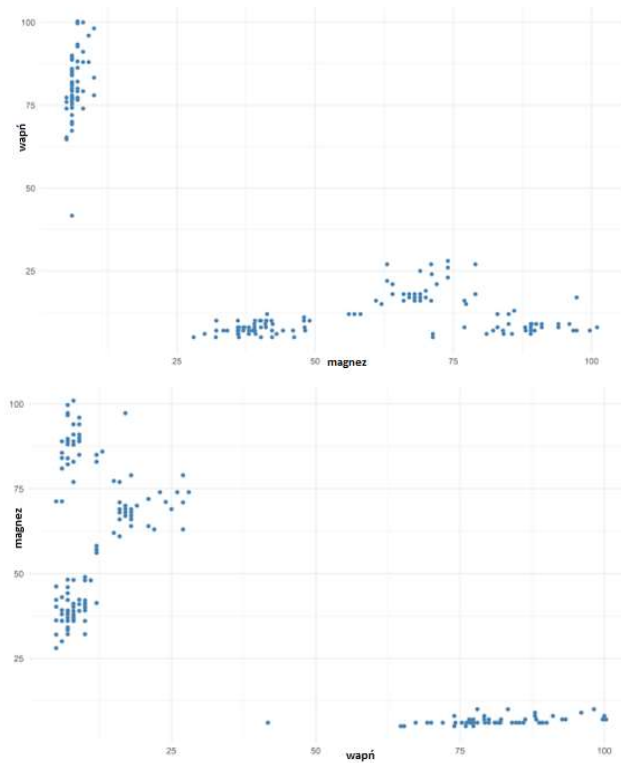
[140] Ghernaout D Aeration Process for Removing Radon from Drinking Water -A Review, Arabia, 2019.

- [141] Reducing Radon in Drinking Water, <https://extension.psu.edu/reducing-radon-in-drinking-water>, dostęp 21.05.23r.
- [142] „How to reduce radon levels in your home”, United States Environmental Protection Agency. Dostępność na stronie <http://www.epa.gov/docs/iedweb00/radon/pubs/index.html> dnia 12.11.21.
- [143] Stan środowiska w województwie świętokrzyskim w roku 2005 WIOŚ 2006
- [144] Sidło P., Stachurski M., Wójtowicz B.: Przyroda województwa świętokrzyskiego, Kielce 2000
- [145] Strona internetowa: <http://www.if.pw.edu.pl/~ttaluc/GeologiaRadonu/> dostępność 21.02.22.
Pachocki K., „Radon w środowisku”, Warszawa, 1995..
- [146] Metryka-Telka M.; Styś-Maniara M.; Dołhańczuk-Śródka A., „Activity of ^{222}Rn in tap water in Kielce County”, Structure and Environment; Kielce 2022.
- [147] Uproszczona mapa geologiczna Gór Świętokrzyskich (na podstawie: Guterch, 1974 – zmieniona i uzupełniona). Źródło: Kowalczewski Z. i Salwa S., Zarys rozwoju budowy geologicznej Gór Świętokrzyskich
- [148] Pawuła A, "Contribution to the geology of radon," A. Mickiewicz University in Poznań, Institute of Geology. Conference materials of the Maria Skłodowska-Curie Polish Society for Radiation Research, Zakopane, September 22 - 26, 1997. Available at <http://main.amu.edu.pl/%7epawula/PZH1.html>, dostęp dnia 21.02.22/
- [149] Strona internetowa: <http://www.if.pw.edu.pl/~ttaluc/GeologyRadon/> available 21.02.22 .
- [150] Bayes T., An essay towards solving a Problem in the Doctrine of Chances, 15.10.20 r. [zarchiwizowane z adresu 2011-04-10] (ang.). (Opracowanie Bayesa w zapisie oryginalnym)
- [151] Yang X i in., Mathematical foundations, Introduction to Algorithms for Data Mining and Machine Learning, 2019.
- [152] Sieci Bayesowskie Agnieszka Nowak Brzezińska, <https://docplayer.pl/1749426-Sieci-bayesowskie-agnieszka-nowak-brzezinska.html>, dostęp 23.08.23 r.
- [153] Christie, M., Cliffe, A., Dawid, A. P. and Senn, S. Introduction. In Simplicity, Complexity and Modelling, edited by M. Christie, A. Cliffe, A. P. Dawid and S. Senn, Chapter 1. J. Wiley and Sons, 1–9, 2011.
- [154] Strona internetowa: https://www.bayesfusion.com/bayesiannetworks/?gclid=Cj0KCQjwj_ajBhCqARIsAA3s0ya-V8qO5cQWb6pldxwJaCSlx40ETM_8nGqvRU6yfpcoGvDPymE_toaAtVcEALw_wcB, dostęp 02.11.21r.
- [155] Murphy K., Dynamic Bayesian Networks: Representation, Inference and Learning, 2002.

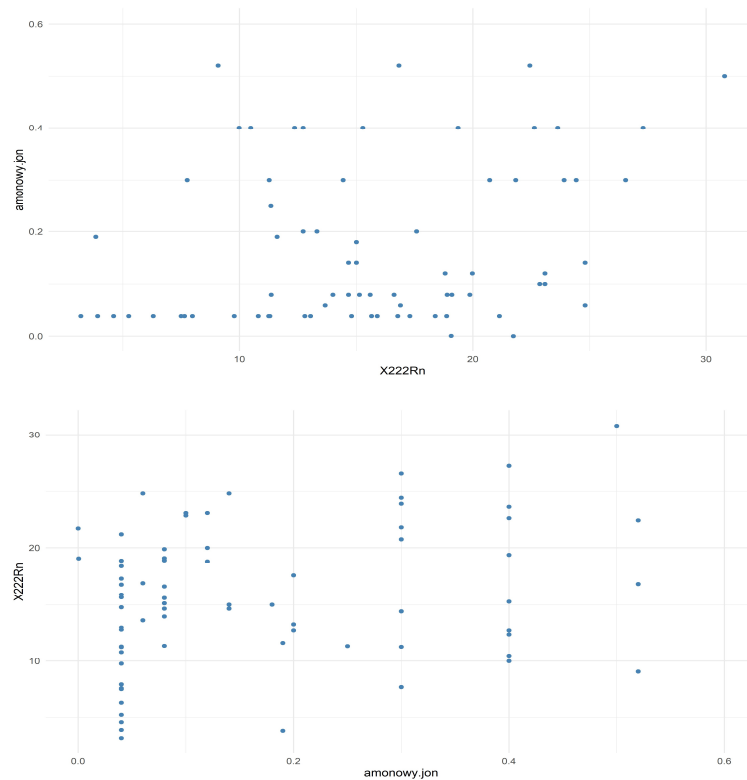
- [156]<https://docplayer.pl/1749426-Sieci-bayesowskie-agnieszka-nowak-brzezinska.html>,
dostęp 24.08.23 r.
- [157] Imoto S., Hiroshi Matsuno, in Computational Systems Biology, Gene Networks: Estimation, Modeling, and Simulation, 2006.
- [158] Dolecka J. i in., Wodociągi i kanalizacje, cz.1 – Wodociągi, Skrypt PB, 1999.
- [159] Strona internetowa: <https://instsani.pl/technik-inzynierii-sanitarnej/materialy-dozajec/sieci-komunalne-budowa-i-konserwacja/sieci-wodociagowe-2>, dostęp dnia 21.05.23 r.
- [160] Strona internetowa: <http://eco-technika.pl/studnie-glebinowe/> dostęp dnia 21.05.23r
- [161] Wingender J., Flaming H. C. 2004: Contamination potential of drinking water distribution network biofilms. *Water Science and Technology*, 11(49), s. 277-286.
- [162] Adrien R., Ellway M., Lin J. 2001: Study of corrosion material accumulated on the inner wall of steel water pipe. *Corrosion Science*, 43(11), s.2065-2081.
- [163] Marco Scutari (2010). Learning Bayesian Networks with the bnlearn R Package. *Journal of Statistical Software*, 35(3), 1-22. URL <http://www.jstatsoft.org/v35/i03/>, dostęp 21.06.23r.
- [164] Gawdzik J., Badanie migracji węglowodorów ropopochodnych w ośrosku porowatym w aspekcie zagrożenia wód podziemnych. Rozprawa doktorska, Wydział Budownictwa Lądowego, Politechnika Świętokrzyska, 2001.
- [165] strona internetowa, <https://www.etrapez.pl/wpcontent/uploads/domowe/ke/TABLICE%20rozk%C5%82ad%20Fishera-Snedecora.pdf>, dostęp dnia 26.06.2023r.

WYKAZ ZAŁĄCZNIKÓW

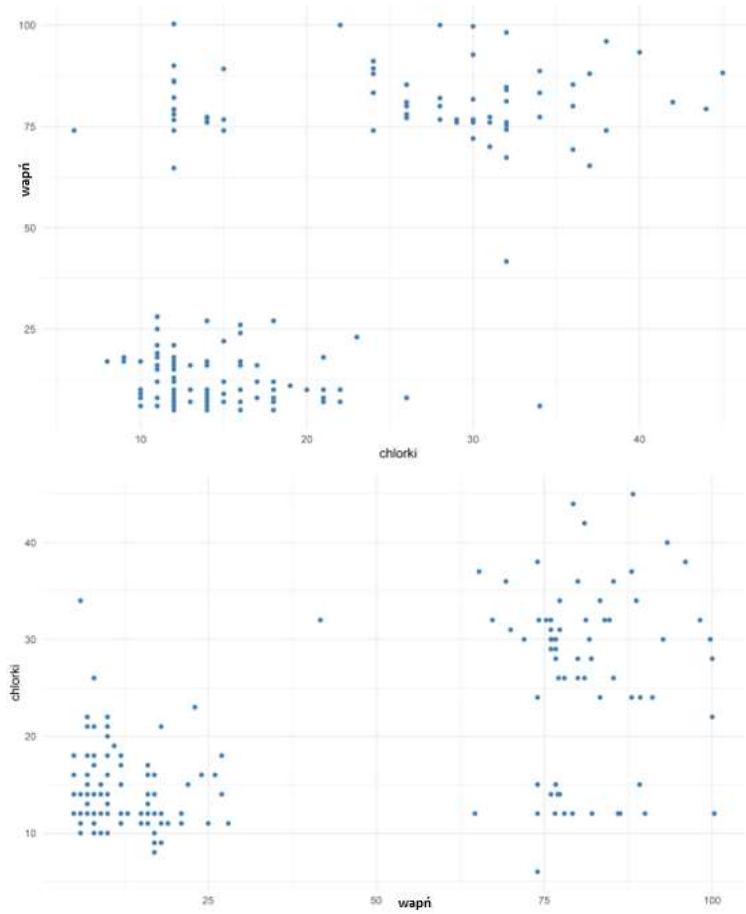
Załącznik 1 Analiza zależności między cechą: 'wapń' oraz cechą: 'magnez'



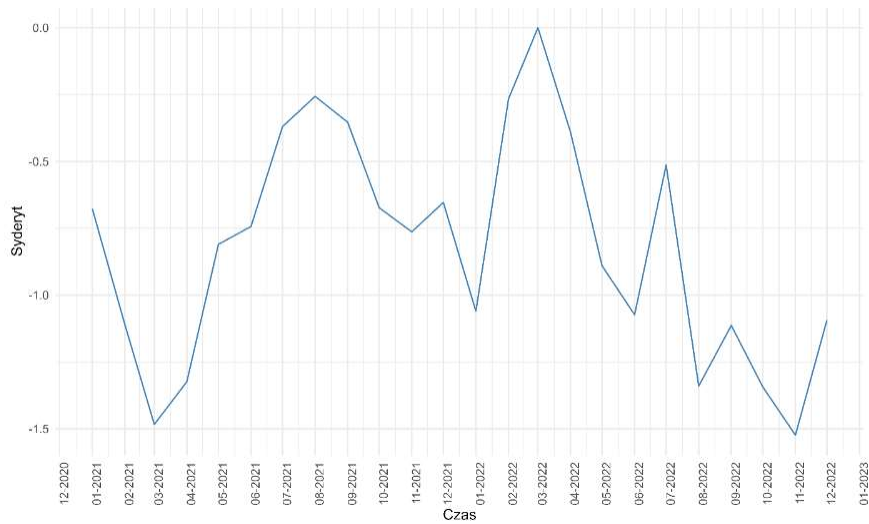
Załącznik 2 Analiza zależności między cechą: '²²²Rn' oraz cechą: 'amonowy jon'



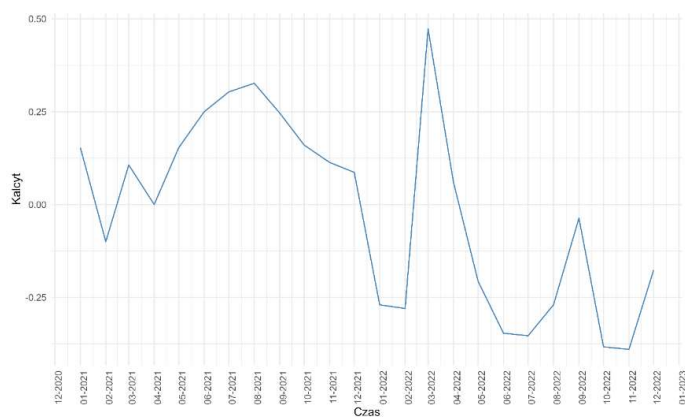
Załącznik 3 Analiza zależności między cechą: 'wapń' oraz cechą: 'chlorki'



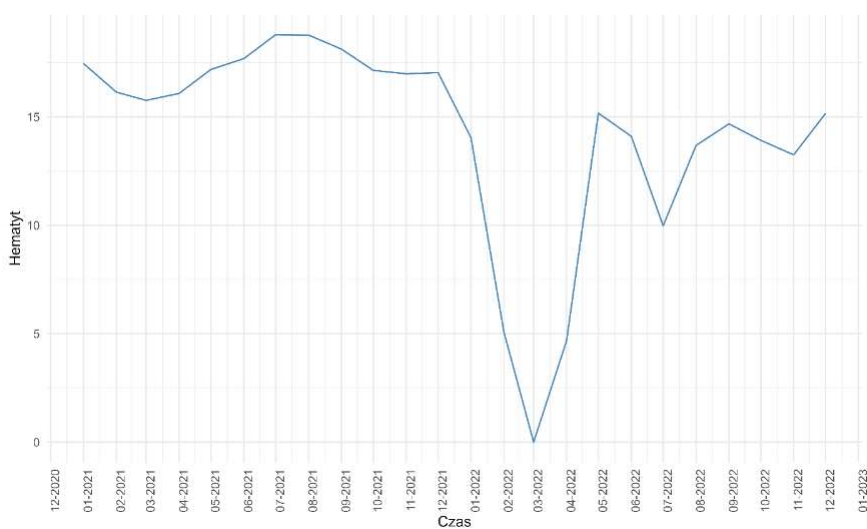
Załącznik 4 Indeksy stabilności chemicznej sydenytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



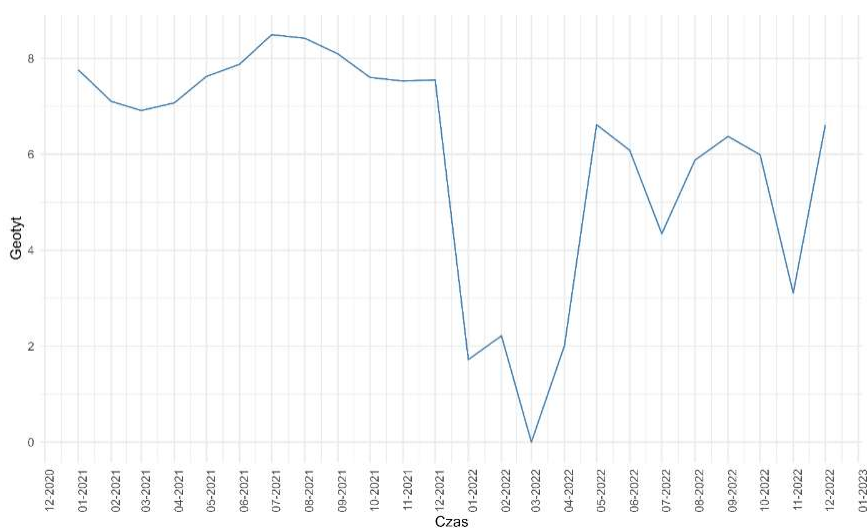
Załącznik 5 Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



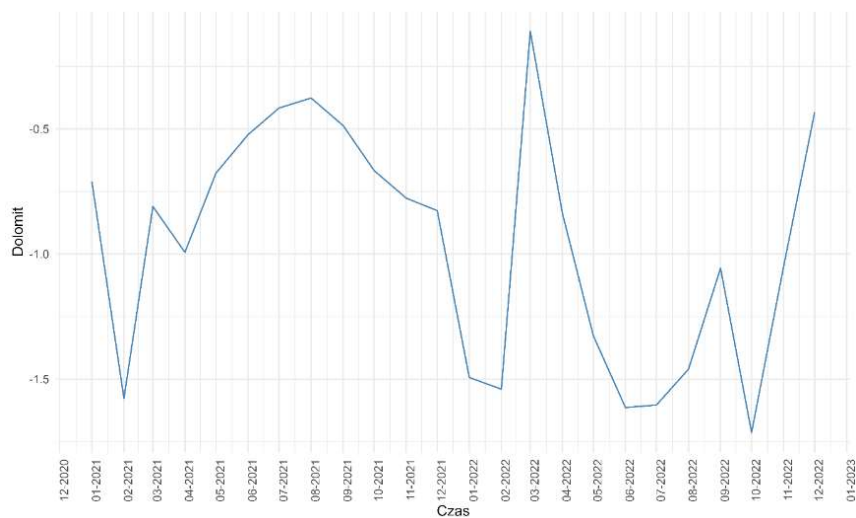
Załącznik 6 Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



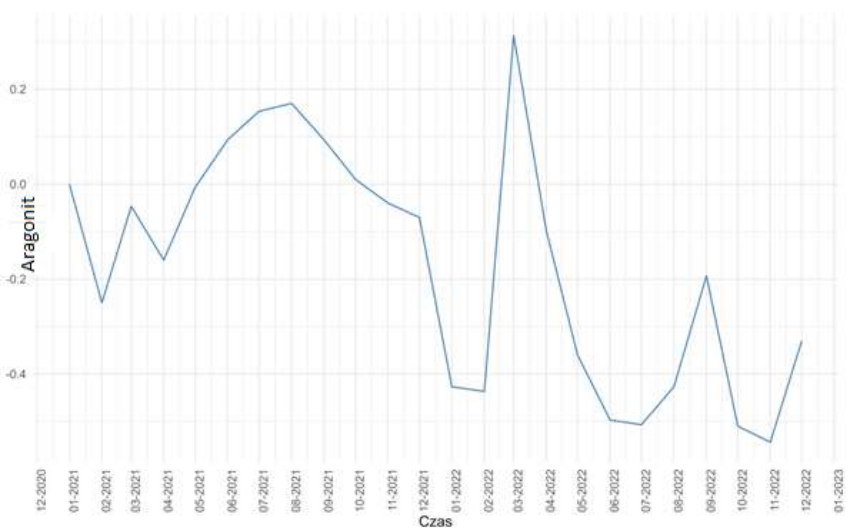
Załącznik 7 Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



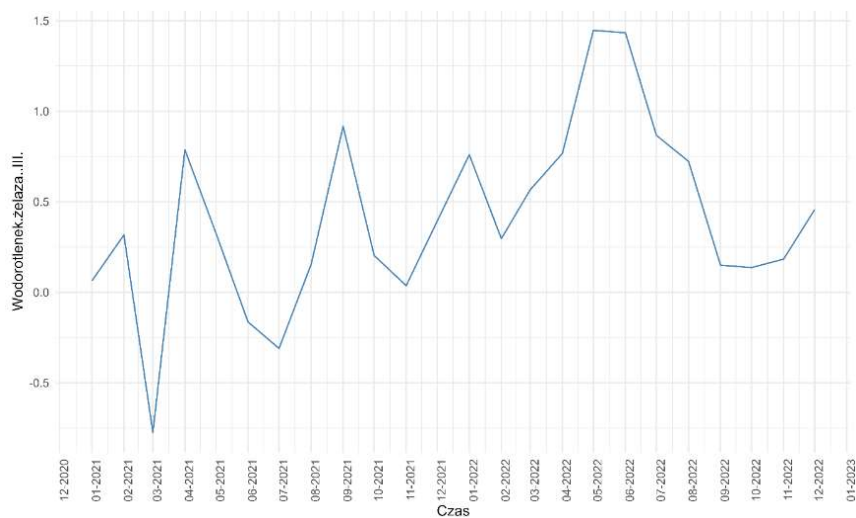
Załącznik 8 Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



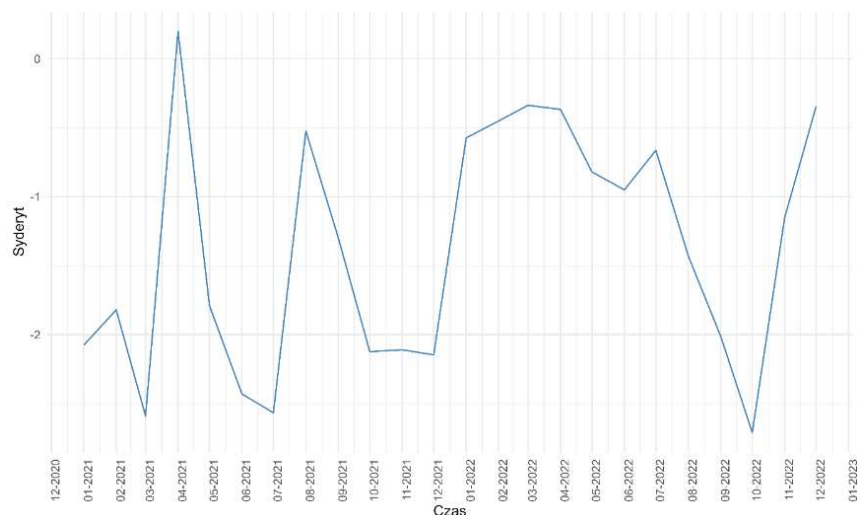
Załącznik 9 Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Bolechowice



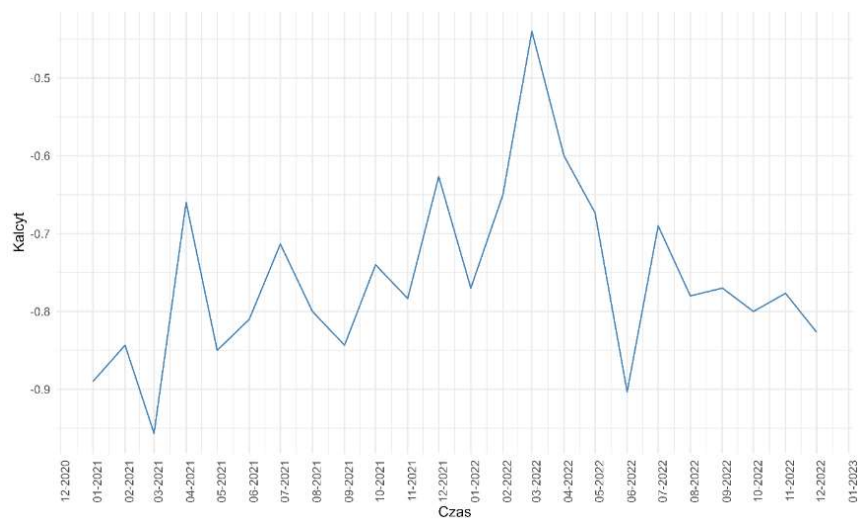
Załącznik 10 Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



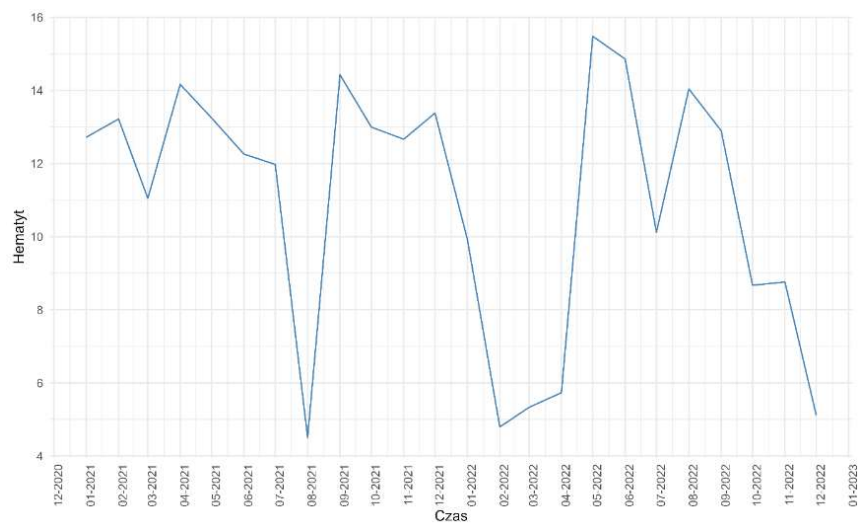
Załącznik 11 Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



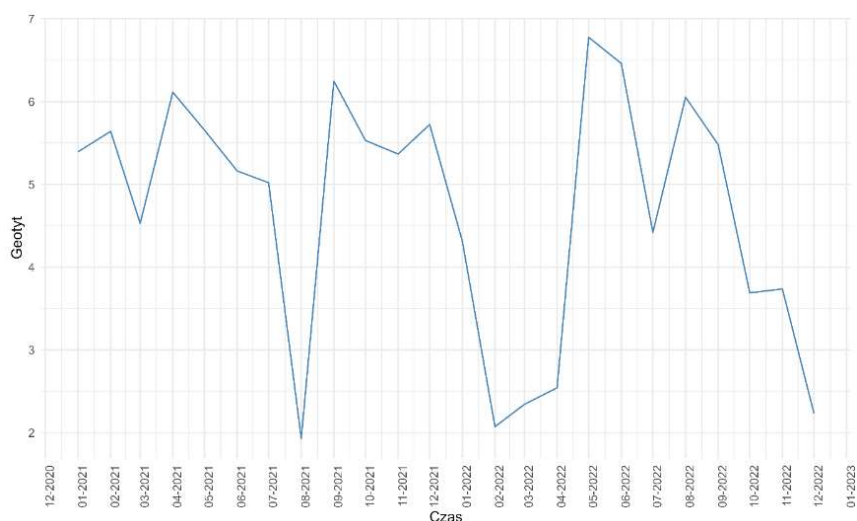
Załącznik 12 Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



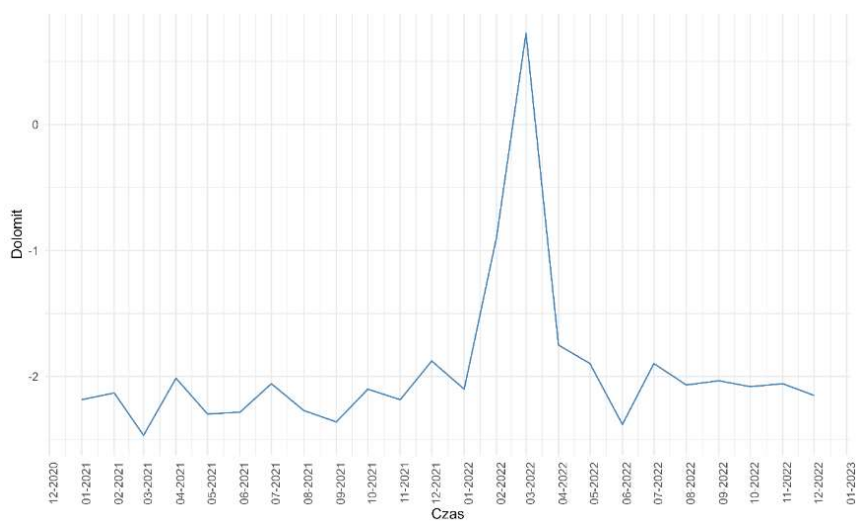
Załącznik 13 Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



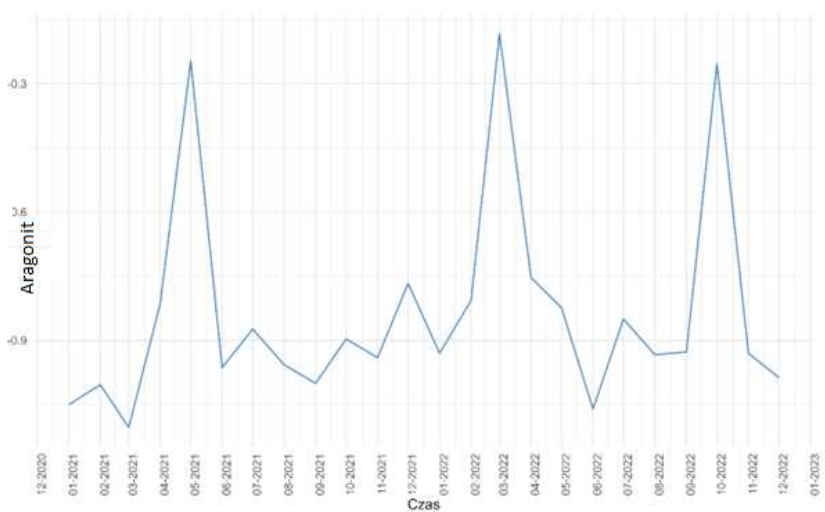
Załącznik 14 Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



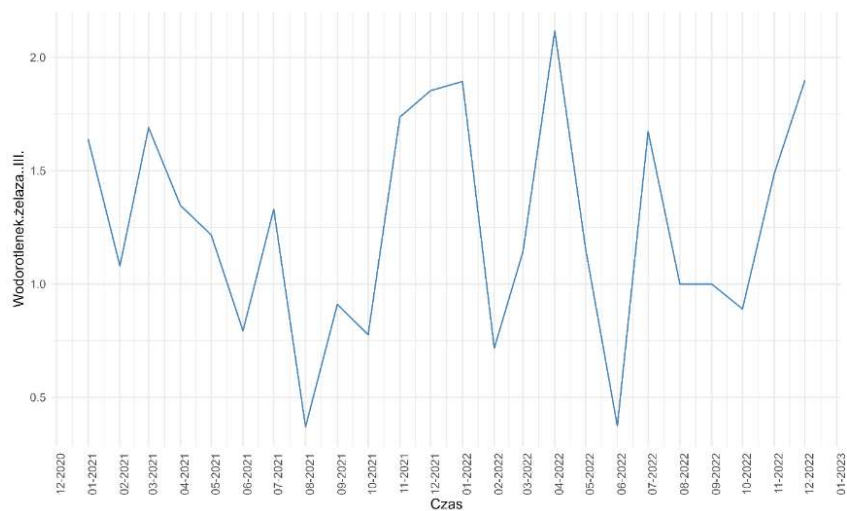
Załącznik 15 Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



Załącznik 16 Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



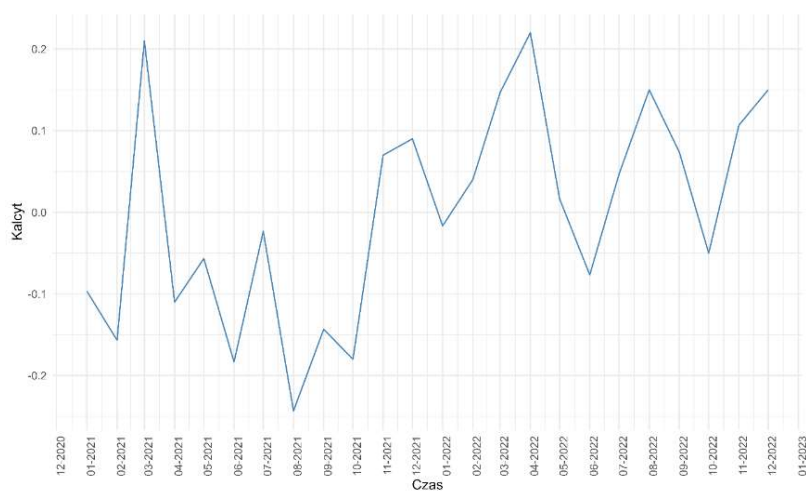
Załącznik 17 Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Kołomań



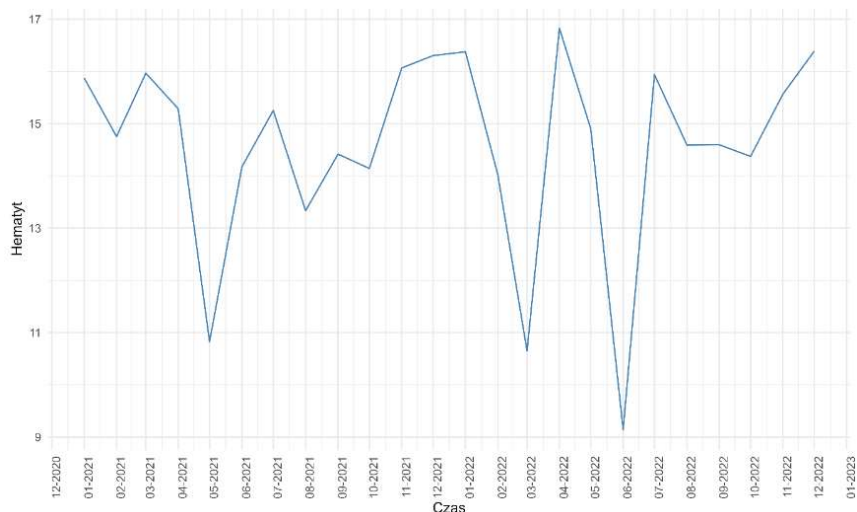
Załącznik 18 Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



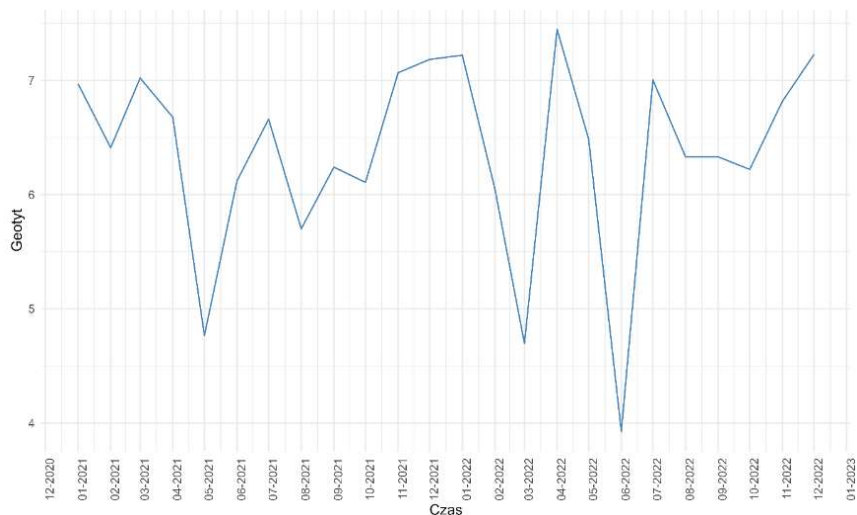
Załącznik 19 Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



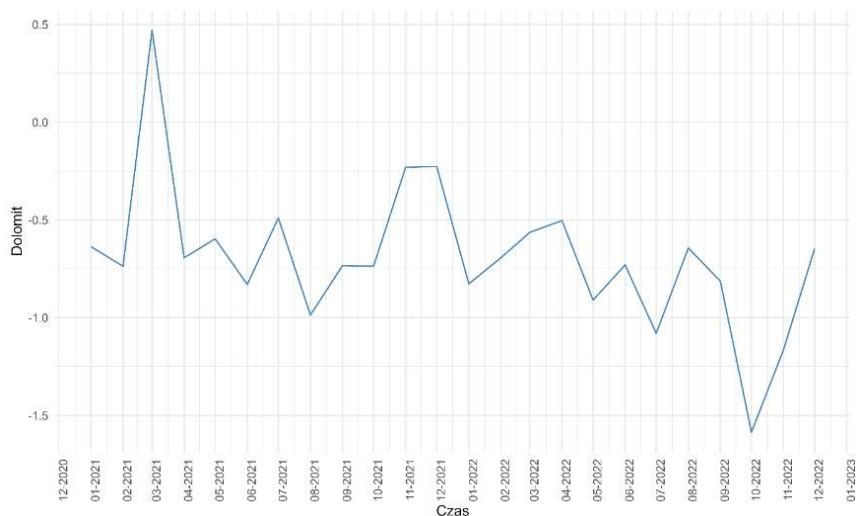
Załącznik 20 Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



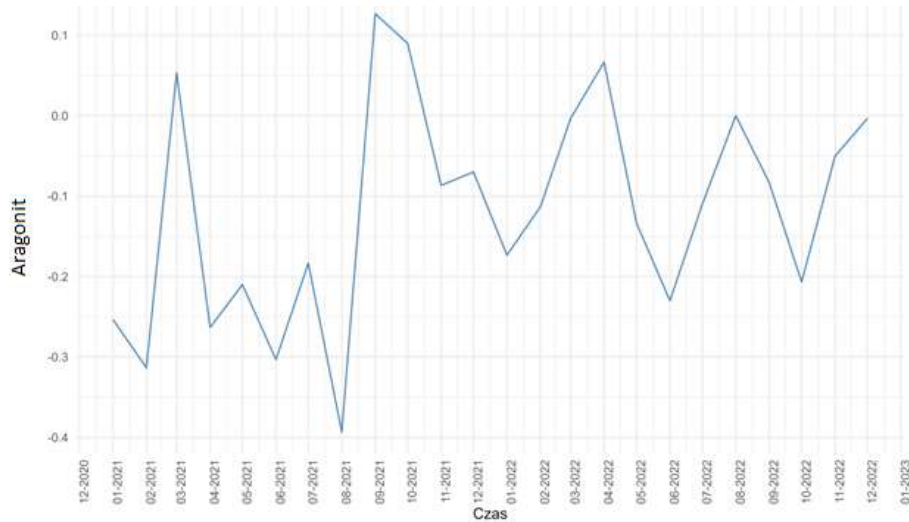
Załącznik 21 Indeksy stabilności getytu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



Załącznik 22 Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



Załącznik 23 Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla ujęcia Wola Kopcowa



Załącznik 24 Przykład wprowadzanych danych do programu PHREEQC

```

PHREEQC Interactive - [bolechowice 21]
File Edit View Options Window Help
Initial conditions
Forward and inverse modeling

SOLUTION 1
temp      10
pH        7.4
pe        4
redox     pe
units     mg/kgw
density   1
Alkalinity 150
Ca        90
Cl        12
Fe        0.14
Mg        6
N(3)     0.006
N(-3)    0.31
N(5)     2.01
F         0.02

-water    1 # kg
  
```

Załącznik 25 Wyniki symulacji w programie PHREEQC

```

PHREEQC Interactive - [bolechowice 21]
File Edit View Options Window Help
Initial conditions
Forward and inverse modeling

FeH2PO4+  9.780e-011  8.978e-011  -10.010  -10.047  -0.037
PO4-3     3.886e-012  1.794e-012  -11.411  -11.746  -0.336
FeHPO4+2  2.788e-017  1.838e-017  -16.568  -16.713  -0.149
FeHPO4+   1.800e-017  1.653e-017  -16.745  -16.782  -0.037

-----Saturation indices-----

Phase      SI log IAP  log KI
Aragonite  -0.13  -8.38  -8.26  CaCO3
Calcite    0.03  -8.38  -8.41  CaCO3
CO2(g)     -2.16  -3.43  -1.27  CO2
Dolomite   -1.00  -17.72 -16.72  CaMg(CO3)2
Fe(OH)3(a) 1.98  6.87  4.89  Fe(OH)3
Goethite   7.31  6.87  -0.44  FeOOH
HS(g)      -22.89  -25.88  -3.08  HS
H2O(g)     -1.92  -0.00  1.92  H2O
Hematite   14.56  13.75  -2.81  Fe2O3
Hydroxycarapatite -2.39  -4.41  -2.02  Ca5(PO4)3OH
NH3(g)     -9.11  -7.03  2.09  NH3
O2(g)      -42.95  -45.71  -2.77  O2
Siderite   -0.71  -11.51  -10.79  FeCO3
Vivianite  -5.28  -41.28  -36.00  Fe3(PO4)2·8H2O

End of simulation.]

Reading input data for simulation 2.

-----
End of run.
  
```


Załącznik 36 Wyniki cech statystycznych – stymulant i destymulant c.d.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
186	listopad	początek uję	0,44	0,83	0,65	0,52	1,00	0,85	0,77	0,99	0,51	0,65	0,79	0,34	0,74	0,59	9,84	
187	grudzień	początek uję	0,55	0,82	0,60	0,4	0,99	0,31	0,62	0,90	0,75	0,96	0,79	0,50	0,71	0,32	9,7	
188	styczeń	koniec uję	0,55	0,42	0,59	0,68	0,97	0,85	0,68	0,99	0,81	0,74	0,54	0,17	1,00	0,98	10,9	
189	lut	koniec uję	0,32	0,49	0,74	0,68	1,00	0,28	0,50	1,00	0,17	0,61	0,61	0,09	0,94	0,73	9,14	
190	marzec	koniec uję	0,85	0,26	0,65	0,48	1,00	0,77	0,50	0,95	0,77	0,96	0,58	0,26	0,95	0,84	10,43	
191	kwiecień	koniec uję	0,44	0,30	0,52	0,46	1,00	0,85	0,33	1,00	0,31	0,98	0,58	0,26	0,93	0,77	9,32	
192	maj	koniec uję	0,49	0,81	0,78	0	1,00	0,85	0,13	0,99	0,77	0,70	0,88	0,42	0,92	0,80	10,36	
193	czerwiec	koniec uję	0,37	0,69	0,65	0,14	1,00	0,79	0,33	0,99	0,54	1,00	0,73	0,34	0,93	0,69	10,19	
194	lipiec	koniec uję	0,44	0,37	0,57	0,08	1,00	0,85	0,93	1,00	0,14	0,97	0,50	0,34	0,93	0,72	9,47	
195	sierpień	koniec uję	0,44	0,51	0,54	0,08	1,00	0,85	0,93	0,90	0,32	0,70	0,86	0,26	0,93	0,93	10,08	
196	wrzesień	koniec uję	0,38	0,48	0,61	0,1	1,00	0,85	0,93	0,90	0,33	0,83	0,86	0,17	0,92	0,78	9,87	
197	październ	koniec uję	0,49	0,39	0,65	0,4	1,00	0,49	0,93	0,90	0,33	0,91	0,79	0,34	0,95	1,00	10,51	
198	listopad	koniec uję	0,67	0,51	0,59	0,06	1,00	0,79	0,93	0,90	0,43	0,65	0,63	0,42	0,94	0,98	10,44	
199	grudzień	koniec uję	0,38	0,37	0,59	0,56	1,00	0,85	0,93	0,90	0,51	0,96	0,79	0,17	0,97	0,95	10,84	
200	styczeń	środek uję	0,26	0,42	0,59	0,68	1,00	0,85	0,90	0,99	0,81	0,74	0,54	0,26	0,51	0,53	10,01	
201	lut	środek uję	0,38	0,49	0,74	0,68	1,00	0,28	0,67	1,00	0,17	0,61	0,61	0,13	0,64	0,51	8,84	
202	marzec	środek uję	1,00	0,26	0,65	0,48	1,00	0,77	0,50	0,95	0,77	0,96	0,58	0,21	0,56	0,28	9,84	
203	kwiecień	środek uję	0,36	0,30	0,52	0,06	1,00	0,85	0,33	1,00	0,31	0,98	0,58	0,31	0,45	0,34	8,18	

Załącznik 37 Wyniki cech statystycznych – stymulant i destymulant c.d.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
204	maj	środek uję	0,55	0,81	0,78	0,06	1,00	0,85	0,13	0,99	0,77	0,70	0,88	0,10	0,68	0,54	9,63	
205	czerwiec	środek uję	0,55	0,69	0,65	0,14	1,00	0,79	0,33	0,99	0,54	1,00	0,73	0,21	0,56	0,59	9,68	
206	lipiec	środek uję	0,54	0,37	0,57	0,08	1,00	0,85	0,93	1,00	0,14	0,97	0,50	0,26	0,50	0,47	9,07	
207	sierpień	środek uję	0,44	0,51	0,54	0,08	1,00	0,85	0,93	0,90	0,32	0,70	0,86	0,29	0,47	0,73	9,46	
208	wrzesień	środek uję	0,39	0,48	0,61	0,1	1,00	0,85	0,93	0,90	0,33	0,83	0,86	0,23	0,53	0,67	9,68	
209	październ	środek uję	0,49	0,39	0,65	0,4	1,00	0,49	0,93	0,90	0,33	0,91	0,79	0,21	0,56	0,89	9,8	
210	listopad	środek uję	0,67	0,51	0,59	0,26	1,00	0,79	0,93	0,90	0,43	0,65	0,63	0,25	0,51	0,85	9,88	
211	grudzień	środek uję	0,38	0,37	0,59	0,56	1,00	0,85	0,93	0,90	0,51	0,96	0,79	0,26	0,51	0,85	10,23	
212	styczeń	początek uję	0,02	0,40	0,00	0,48	0,99	0,15	0,93	0,00	0,26	0,30	0,63	0,72	0,00	0,48	6,31	
213	lut	początek uję	0,00	0,26	0,09	0,68	1,00	0,72	0,50	0,99	0,16	0,74	0,69	0,64	0,08	0,37	7,75	
214	marzec	początek uję	0,57	0,29	0,07	0,38	1,00	0,10	0,17	1,00	0,25	1,00	0,75	0,66	0,06	0,06	7,25	
215	kwiecień	początek uję	0,36	0,30	0,52	0,26	1,00	0,85	0,33	1,00	0,31	0,98	0,58	0,31	0,45	0,18	8,41	
216	maj	początek uję	0,55	0,81	0,78	0,26	1,00	0,85	0,13	0,99	0,48	1,00	0,79	0,10	0,68	0,35	9,71	
217	czerwiec	początek uję	0,55	0,69	0,65	0,14	1,00	0,79	0,33	0,99	0,54	1,00	0,73	0,21	0,56	0,45	9,54	
218	lipiec	początek uję	0,54	0,37	0,57	0,08	1,00	0,85	0,93	1,00	0,14	0,97	0,50	0,26	0,50	0,39	8,97	
219	sierpień	początek uję	0,44	0,51	0,54	0,08	1,00	0,85	0,93	0,90	0,32	0,70	0,86	0,29	0,47	0,58	9,33	
220	wrzesień	początek uję	0,39	0,48	0,61	0,1	1,00	0,85	0,93	0,90	0,33	0,83	0,86	0,23	0,53	0,54	9,55	
221	październ	początek uję	0,49	0,39	0,65	0,4	1,00	0,49	0,93	0,90	0,33	0,91	0,79	0,21	0,56	0,74	9,59	

Załącznik 38 Wyniki cech statystycznych – stymulant i destymulant c.d.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
222	listopad	początek uję	0,67	0,51	0,59	0,26	1,00	0,79	0,93	0,90	0,43	0,65	0,63	0,25	0,51	0,84	9,87	
223	grudzień	początek uję	0,38	0,37	0,59	0,56	1,00	0,85	0,93	0,90	0,51	0,96	0,79	0,26	0,51	0,67	10,17	
224																		

WYKAZ TABEL

Tab. 3.1. Wykaz norm dla badanych wskaźników [27].....	8-9
Tab. 3.2. Rozpuszczalność gazów występujących w wodach podziemnych [22].....	11
Tab. 3.3. Dopuszczalne wartości wskaźników fizykochemicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia [5,25]...18	
Tab.3.4. Dopuszczalne wartości wskaźników organoleptycznych w wodzie przeznaczonej do spożycia [5].....	20
Tab.3.5. Dopuszczalne wartości wskaźników mikrobiologicznych w wodzie przeznaczonej do spożycia [5]..	21-22
Tab.3.6. Zakresy stężeń metali ciężkich pojawiających się w polskich wodach podziemnych [40].....	22
Tab.3.7. Zawartość kwasów humusowych w różnych zbiornikach wód naturalnych w Polsce [47].....	22-23
Tab. 5.1. Średnie roczne wartości aktywności ^{222}Rn w wodzie.....	49
Tab.5.2. Poziomy aktywności radonu i roczne dawki efektywne dla wód pitnych dla 3 wybranych miejscowości w powiecie kieleckim.....	49
Tab. 5.3. Koncentracja uranu i radu w skałach [147].....	57
Tab. 7.1. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1983 – 2018 [14].....	69-70
Tab. 7.2. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1993 – 2017 [14].....	71
Tab. 7.3. Tworzywo i ilość wykonanych odcinków sieci w latach 1993 – 2004 [14].....	72
Tab.9.1. Zestawienie korelacji między wybranymi wskaźnikami jakości wody oraz ^{222}Rn	106-107
Tab. 9.2. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru - koniec sieci.....	188-189
Tab. 9.3. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru - środek sieci.....	189
Tab. 9.4. Ranking wielokryterialny dla punktu poboru –ujęcie.....	190

rysunków

Rys.1.1. Źródła zaopatrzenia w wodę na terenie działalności Spółki Wodociągi Kieleckie [20].....	5
Rys.3.1. Zależność pomiędzy twardością węglanową i pH, a zawartością ditlenku węgla wolnego, agresywnego i równoważnego, przy temp. 10C [27].....	13
Rys.3.2. Formy występowania ditlenku węgla [41].....	14
Rys.4.2. Schemat powstawania biofilmu [91].....	36
Rys.5.1. Stężenie radonu w powietrzu na świecie [116].....	42
Rys.5.2. Źródła dostawiania się radonu do domu [122].....	44
Rys.5.3. Rozpad uranu i toru do stabilnego ołowiu [127].....	46
Rys.5.4. Udział procentowy różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej otrzymanej przez mieszkańca Polski [133].....	48
Rys.5.5. Schemat usuwania radonu z wody [139].....	50
Rys.5.6. Schemat usuwania radonu z wody za pomocą węgla aktywnego [141].....	51
Rys.5.7. Przepuszczalność różnych formacji geologicznych [146].....	56
Rys.5.8. Budowa geologiczna województwa świętokrzyskiego z wyszczególnieniem miejscowości Bolechowice, Kołomań i Wola Kopcowa [147].....	57
Rys.6.1. Graficzne przedstawienie przykładowej sieci Bayesowskiej odnoszącej się do prawdopodobieństwa zdania egzaminu [152].....	59
Rys.7.1. Schemat ideowy ogólny wodociągu [159].....	63
Rys.7.2. Schemat wodociągu z pompami zlokalizowanymi w jednym budynku [159].....	64
Rys.7.3. Schemat wodociągu bez stacji uzdatniania [159].....	64
Rys.7.4. Schemat wodociągu grawitacyjnego [159].....	64
Rys.7.5. Studnia głębinowa – położenie w warstwach wodonośnych [160].....	65
Rys.7.6. Schemat studni wierconej [159].....	66
Rys.8.1. Zestaw do pomiaru stężenia ^{222}Rn w próbkach wody [126].....	77
Rys.8.2. Stanowisko do pomiaru aktywności ^{222}Rn w wodzie (fotografia własna).....	80
Rys.9.1. Średnie roczne wartości: zasadowość og. dla ujęcia Bolechowice.....	82
Rys.9.2. Średnie roczne wartości: wapń, siarczany, chlorki dla ujęcia Bolechowice.....	83
Rys.9.3. Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Bolechowice.....	84
Rys.9.4. Średnie roczne wartości: azotany, magnez, sól dla ujęcia Bolechowice.....	84
Rys.9.5. Średnie roczne wartości: żelazo, mangan dla ujęcia Bolechowice.....	85

Rys.9.6. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza dla ujęcia Bolechowice.....	86
Rys.9.7. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Bolechowice.....	87
Rys.9.8. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: hausmanit oraz pirolusyt dla ujęcia Bolechowice.....	87
Rys.9.9. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroity dla ujęcia Bolechowice.....	88
Rys.9.10. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: dolomit, syderyt, rodochrozyt dla ujęcia Bolechowice.....	89
Rys.9.11. Aktywność ^{222}Rn – ujęcie Bolechowi.....	89
Rys.9.12. Średnie roczne wartości: zasadowość ogólna dla ujęcia Kołomań.....	90
Rys.9.13. Średnie roczne wartości: wapnia, siarczanów oraz chlorków dla ujęcia Kołomań.....	90
Rys.9.14. Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Kołomań.....	91
Rys.9.15. Średnie roczne wartości: azotany, sód oraz magnez dla ujęcia Kołomań.....	92
Rys.9.16. Średnie roczne wartości: żelazo oraz mangan dla ujęcia Kołomań.....	92
Rys.9.17. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza dla ujęcia Kołomań.....	93
Rys.9.18. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Kołomań.....	94
Rys.9.19. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroity dla ujęcia Kołomań.....	94
Rys.9.20. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: pirolusyt, hausmanit dla ujęcia Kołomań.....	95
Rys.9.21. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Kołomań.....	96
Rys.9.22. Aktywność ^{222}Rn w wodzie dla ujęcia Kołomań.....	96
Rys.9.23. Średnie roczne wartości: zasadowość og. dla ujęcia Wola Kopcowa.....	97
Rys.9.24. Średnie roczne wartości: wapń, siarczany, chlorki dla ujęcia Wola Kopcowa.....	98
Rys.9.25. Średnie roczne wartości: amonowy jon, azotyny dla ujęcia Wola Kopcowa.....	98
Rys.9.26. Średnie roczne wartości: azotany, sód, magnez dla ujęcia Wola Kopcowa.....	99
Rys.9.27. Średnie roczne wartości: żelazo, mangan dla ujęcia Wola Kopcowa.....	99
Rys.9.28. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie aragonit, kalcyt, wodorotlenek żelaza (III) dla ujęcia Wola Kopcowa.....	100
Rys.9.29. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: getyt, hematyt dla ujęcia Wola Kopcowa.....	101
Rys.9.30. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: manganit, pirochroity dla ujęcia Wola Kopcowa.....	101
Rys.9.31. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: pirolusyt, hausmanit dla ujęcia Wola Kopcowa.....	102
Rys.9.32. Średnie roczne wartości indeksów stabilności chemicznej dla minerałów pojawiających się w wodzie: rodochrozyt, syderyt, dolomit dla ujęcia Wola Kopcowa.....	102
Rys.9.33. Aktywność ^{222}Rn w wodzie wodociągowej w Woli Kopcowej.....	103
Rys.9.34. Model sieci Bayesowskich	104
Rys.9.35. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	107
Rys.9.36. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	108
Rys.9.37. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	108
Rys.9.38. Zawartość zasadowość og. czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	109
Rys.9.39. Zawartość zasadowości og. czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	109
Rys.9.40. Zawartość zasadowości og. czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	110
Rys.9.41. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	110
Rys.9.42. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	111
Rys.9.43. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	111

Rys.9.44. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	112
Rys.9.45. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	112
Rys.9.46. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	113
Rys.9.47. Zawartość chlorki w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	113
Rys.9.48. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	114
Rys.9.49. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	114
Rys.9.50. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	115
Rys.9.51. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	115
Rys.9.52. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	116
Rys.9.53. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	116
Rys.9.54. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	117
Rys.9.55. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	117
Rys.9.56. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	118
Rys.9.57. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	118
Rys.9.58. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	119
Rys.9.59. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	119
Rys.9.60. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	120
Rys.9.61. Zawartość amonowy jon w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	120
Rys.9.62. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	121
Rys.9.63. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	121
Rys.9.64. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	122
Rys.9.65. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	122
Rys.9.66. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	123
Rys.9.67. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	123
Rys.9.68. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	124
Rys.9.69. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	124
Rys.9.70. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	125
Rys.9.71. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	125
Rys.9.72. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	126
Rys.9.73. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	126
Rys.9.74. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	127
Rys.9.75. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	127
Rys.9.76. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	128
Rys.9.77. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	128
Rys.9.78. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	129
Rys.9.79. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	129
Rys.9.80. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	130
Rys.9.81. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	130
Rys.9.82. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	131
Rys.9.83. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	131
Rys.9.84. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	132
Rys.9.85. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	132
Rys.9.86. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	133
Rys.9.87. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	133
Rys.9.88. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	134
Rys.9.89. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	134
Rys.9.90. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	135
Rys.9.91. Zawartość jonów żelaza w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	135
Rys.9.92. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	136
Rys.9.93. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	136
Rys.9.94. Zawartość zasadowości og. w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	137
Rys.9.95. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	137
Rys.9.96. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	138

Rys.9.97. Zawartość jonów wapnia w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	138
Rys.9.98. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	139
Rys.9.99. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	139
Rys.9.100. Zawartość fosforanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	140
Rys.9.101. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	140
Rys.9.102. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	141
Rys.9.103. Zawartość chlorków w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	141
Rys.9.104. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa....	142
Rys.9.105. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	142
Rys.9.106. Zawartość jonów magnezu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa....	143
Rys.9.107. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	143
Rys.9.108. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	144
Rys.9.109. Zawartość azotynów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	144
Rys.9.110. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	145
Rys.9.111. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	145
Rys.9.112. Zawartość azotanów w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	146
Rys. 9.113. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa....	146
Rys.9.114. Zawartość amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa....	147
Rys.9.115. Indeksy stabilności chemicznej amonowego jonu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	147
Rys.9.116. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	148
Rys.9.117. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	148
Rys.9.118. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	149
Rys.9.119. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru =Bolechowice.....	149
Rys.9.120. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Bolechowice.....	150
Rys.9.121. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice.....	150
Rys. 9.122. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	151
Rys.9.123. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Bolechowice.....	151
Rys.9.124. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice.....	152
Rys.9.125. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	153
Rys.9.126. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Bolechowice.....	153
Rys.9.127. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice.....	154
Rys.9.128. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	154
Rys.9.129. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Bolechowice.....	155
Rys.9.130. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice	155
Rys.9.131. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	156

Rys.9.132. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru - Bolechowice.....	156
Rys.9.133. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice.....	157
Rys.9.134. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	157
Rys.9.135. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	158
Rys.9.136. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	158
Rys.9.137. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Bolechowice.....	159
Rys.9.138. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	159
Rys.9.139. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Bolechowice.....	160
Rys.9.140. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Bolechowice.....	160
Rys.9.141. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	161
Rys.9.142. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru - Bolechowice.....	161
Rys.9.143. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru -Kołomań.....	162
Rys.9.144. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	162
Rys.9.145. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	163
Rys.9.146. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru - Kołomań.....	163
Rys.9.147. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Bolechowice.....	163
Rys.9.148. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	164
Rys.9.149. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	164
Rys.9.150. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	165
Rys.9.151. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	165
Rys.9.152. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	166
Rys.9.153. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	166
Rys.9.154. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	167
Rys.9.155. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	167
Rys.9.156. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	168
Rys.9.157. Indeksy stabilności chemicznej hydroksyapatytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	168

Rys.9.158. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	169
Rys.9.159. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	169
Rys.9.160. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	170
Rys.9.161. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	170
Rys.9.162. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	171
Rys.9.163. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	171
Rys.9.164. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	172
Rys.9.165. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	172
Rys.9.166. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	173
Rys.9.167. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Kołomań.....	174
Rys.9.168. Indeksy stabilności chemicznej w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Kołomań.....	174
Rys.9.169. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Kołomań.....	174
Rys.9.170. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	175
Rys.9.171. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	175
Rys.9.172. Indeksy stabilności chemicznej wodorotlenku żelaza (III) w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	176
Rys.9.173. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	176
Rys.9.174. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	177
Rys.9.175. Indeksy stabilności chemicznej wiwianitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	177
Rys.9.176. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	178
Rys.9.177. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	178
Rys.9.178. Indeksy stabilności chemicznej syderytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	179
Rys.9.179. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	179
Rys.9.180. Indeksy stabilności chemiczne kalcytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	180
Rys.9.181. Indeksy stabilności chemicznej kalcytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	180
Rys.9.182. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	181
Rys.9.183. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	181
Rys.9.184. Indeksy stabilności chemicznej hydroksypatyty w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	182

Rys.9.185. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	182
Rys.9.186. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	183
Rys.9.187. Indeksy stabilności chemicznej hematytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	183
Rys.9.188. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	184
Rys.9.189. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	184
Rys.9.190. Indeksy stabilności chemicznej getytu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	185
Rys.9.191. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	185
Rys.9.192. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	186
Rys.9.193. Indeksy stabilności chemicznej dolomitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	186
Rys.9.194. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla pierwszego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	186
Rys.9.195. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla drugiego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	187
Rys.9.196. Indeksy stabilności chemicznej aragonitu w czasie 24 miesięcy dla trzeciego punktu poboru – Wola Kopcowa.....	187