


TECH – WOD

✓ *Technologia wody i ścieków,*
✓ *Projektowanie i badania.*

ul. Truskawkowa 10
61-306 Poznań
tel. (061) 8798-835
fax. (061) 8798-739

Obiekt:	Stacja Uzdatniania Wody „Szczekanica” w Piotrkowie Trybunalskim
Temat:	Badania jakościowe oraz technologiczne w skali modelowej nad uzdatnianiem wody z ujęcia Szczekanica w Piotrkowie Trybunalskim TECHNOLOGIA UZDATNIANIA WODY
Autor:	mgr inż. Tadeusz Konarczak 

styczeń 2007r.

Spis treści.

1. Wstęp.
2. Charakterystyka ujęcia wody.
 - 2.1. Jakość wody w okresie eksploatacji ujęcia w latach 1998 – 2006.
 - 2.2. Jakość wody mieszanej z ujęcia w okresie badań – styczeń 2007r.
3. Metodyka badań.
4. Wyniki badań nad uzdatnianiem wody.
 - 4.1. Napowietrzanie wody.
 - 4.2. Filtracja.
 - 4.3. Płukanie złóż filtracyjnych.
 - 4.4. dezynfekcja wody uzdatnionej.
5. Podsumowanie
6. Technologia uzdatniania wody

Spis załączników

1. Mapa orientacyjna ujęcia i SUW Szczekanica.
2. Pozwolenie wodnoprawne na pobór wód i eksploatację ujęcia.
3. Zestawienie wyników badań wody surowej z ujęcia w latach 1998 – 2006 – materiały archiwalne – tabele sztuk 20.
4. Schemat stacji modelowej – napowietrzanie ciśnieniowe.
5. Schemat stacji modelowej – napowietrzanie otwarte.
6. Efekt napowietrzania ciśnieniowego i otwartego w zależności od czasu przetrzymania.
7. Analiza sitowa piasku wpracowanego.
8. Analiza sitowa piasku surowego.
9. Karta charakterystyki masy aktywnej G-1 (braunsztyn).
10. Przebieg dezynfekcji wody uzdatnionej.
11. Schemat zasypania filtra.
12. Proponowany schemat technologiczny modernizowanej stacji uzdatniania wody w Piotrkowie Trybunalskim.

1. Wstęp.

W ramach opracowywanej koncepcji modernizacji stacji uzdatniania w Piotrkowie Trybunalskim wykonane zostały badania jakościowe wody i technologiczne w skali modelowej nad jej uzdatnianiem. Wyniki badań stanowią podstawę do opracowania koncepcji modernizacji stacji uzdatniania „Szczekanica”. Badania technologiczne wykonano w takim zakresie, aby można było ustalić wszystkie parametry i dane niezbędne do procesu uzdatniania zapewniającego uzyskanie wody o jakości wymaganej polskimi normami oraz dyrektywami Unii Europejskiej. Badania wykonano uwzględniając zmienność jakości wody oraz możliwość wykorzystania niektórych urządzeń oraz pomieszczeń istniejącej SUW. Model stacji badawczej w pełni stymulował warunki przyszłej stacji uzdatniania. Badania pozwoliły na ustalenie takich elementów uzdatniania i parametrów technologicznych jak:

- ✓ jakość wody surowej mieszanej,
- ✓ system napowietrzania,
- ✓ czas przetrzymania w zbiorniku reakcji,
- ✓ dobór złoża filtracyjnego,
- ✓ prędkość filtracji,
- ✓ czas cyklu filtracyjnego,
- ✓ parametry płukania złóż filtracyjnych,
- ✓ parametry wody nadosadowej (z wód popłucznych po określonym czasie sedimentacji)
- ✓ ustalenie dawki chloru do dezynfekcji.

2. Charakterystyka ujęcia wody.

W chwili obecnej ujęcie wody „Szczekanica” składa się z 8 studni wierconych. Parametry eksploatowanych studni dalece odbiegają od założonych w momencie odwiercania. Ze względu na specyfikację hydrogeochemiczną warstwy wodonośnej żywotność poszczególnych studni jest stosunkowo krótka. Następuje utrata wydajności spowodowana kolmatacją filtrów studziennych oraz piaszczeniem. Z pracujących 8 studni 4 są już po rekonstrukcji natomiast pozostałe pochodzą z 1981, 88 i ich wydajność z czasem spada. Według opinii geologa żywotność tych studni zawiera się od 12 do 20 lat. W związku z tym należy spodziewać się, że studnie z roku 1981 i 1988 będą musiały być zrekonstruowane lub odwiercone nowe (dotyczy to studni nr C-1, B II, A IV).

W związku z modernizacją stacji uzdatniania do wydajności 650 m³/h konieczne jest utrzymanie w pełnej wydajności 8 studni dla bezpieczeństwa ciągłości dostaw wody do sieci..

W związku z tym, że żywotność studni regenerowanych jest o wiele krótsza niż nowoodwierconych należy w programie modernizacji uwzględnić odwierty nowych studni według opinii lokalizacyjnej geologa. Aby nie szło do skokowego obniżenia ilości czynnych otworów należy się liczyć z tym, że w okresie około 5 lat należy dokonać nowych odwiertów lub rekonstruować studnie.

Tabela nr 1

Studnie pracujące od początku	Rekonstruowane
C-1 1988r.	I - 2000r.
B-II 1982r.	III - 1993r
IV 1988r.	A-V - 1992r.
A-VI 1988r.	B-VI - 1991r.

Z dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych wynika, że odwiercenie studni zastępczych w obecnym terenie (w sąsiedztwie studni eksploatowanej)

może okazać się nietrafne. W związku z tym należy rozpatrzeć możliwość powiększenia terenu dla nowych studni lub poszukiwanie nowych terenów przyszłościowych pod to ujęcie. Decyzje tą powinien podjąć geolog, który rozpatrzy problem w aspekcie przyznaných zasobów dla stacji wodociągowej Szczekanica.

Pozwolenie wodno prawne ważne do 31.12.2010r. (załącznik nr 2) zezwala na pobór wody w ilości:

$$Q_{\max h} = 650\text{m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\max d} = 15\,600\text{m}^3/\text{dobę}$$

$$\text{Depresja } S = 8,4\text{m}$$

Parametry eksploatacyjne 8 studni po przeprowadzonych rekonstrukcjach przedstawiają się następująco.

Tabela nr 2.

Parametr	Numer studni							
	I	IC	IIB	III	IV	V A	VIA	VIB
1. Data	7.11.2000	2.07.1998	6.04.1982	17.02.1993	13.08.1988	10.06.1992	17.05.1988	11.02.1991
2. Statyczne lustro wody m p.p.t.	18,90	19,44	14,67	22,93	16,10	18,20	16,06	16,77
3. Wydajność m ³ /h	125	144	159	80	90	100	200	170
4. Depresja m	7,2	9,5	7,95	6,7	10,8	11,5	8,65	7,8
5. Dynamiczne lustro wody m p.p.t.	26,1	28,94	22,62	28,83	25,90	29,70	24,71	24,59

2.1. Jakość wody w okresie eksploatacji ujęcia w latach 1998 – 2006r.

Woda z ujęcia Szczekanica ujmowana jest studniami wierconymi z utworów czwartorzędowych. W załączniku nr 3 w tabelach 1 – 20 zestawione są wyniki badań wody o roku 1998 do 2006. Z materiałów archiwalnych wynika, że woda charakteryzuje się dużą zmiennością stężeń żelaza i manganu, co ma istotny wpływ eksploatację stacji uzdatniania.

2.2. Jakość wody mieszanej z ujęcia w okresie badań – styczeń 2007r.

W okresie przeprowadzonych badań technologicznych nad uzdatnianiem wody wykonywano analizę wody surowej mieszanej z aktualnie pracujących studni. Analizę wykonano w zakresie niezbędnym dla scharakteryzowania jakości wody ujmowanej i sposobu jej uzdatniania. Parametry jakości wody przedstawione są w tabeli nr 3.

Na podstawie wykonanych badań wodę mieszaną z ujęcia czwartorzędowego Szczekanica można scharakteryzować w następujący sposób:

- ✓ woda wykazuje wyraźny zapach siarkowodorowy,
- ✓ barwa wody jest niska i kształtuje się na poziomie 7 – 10 w skali platynowej,
- ✓ odczyn wody jest lekko alkaliczny i wynosi 7,35 – 7,45 pH,
- ✓ woda zawiera wolny dwutlenek węgla w ilości 44 – 48 mg CO₂/dm³,
- ✓ zasadowość wody wynosi 5,5 – 6,8 mval/dm³ a jej twardość 6,0 – 6,9 mval/dm³ (300 – 345 mg CaCO₃) co charakteryzuje ją jako wodę średnio twardą,
- ✓ stężenie związków azotowych jest na bardzo niskim poziomie i wynosi odpowiednio: azot amonowy 0,15 – 0,20 mg N/dm³, azot azotanowy 1,55 – 1,80 mg N/dm³, azot azotynowy 0,02 – 0,05 mg N/dm³,
- ✓ woda zawiera ponadnormatywne stężenie żelaza i manganu. Stężenie żelaza kształtuje się na poziomie 1,85 – 2,4 mg Fe/dm³, a manganu 0,25 – 0,35 mg Mn/dm³,
- ✓ utlenialność wody jest niska i wynosi 2,2 – 2,45 mg O₂/dm³ co świadczy o niskim zanieczyszczeniu związkami organicznymi,
- ✓ stopień zmineralizowania wody jest na średnim poziomie i mierzony przewodnością wynosi 530 – 582 μs/cm.

Tabela nr 3

Analiza fizyko – chemiczna wody surowej mieszanej z ujęcia Szczekanica w okresie prowadzonych badań technologicznych styczeń 2007r.

Data/Pracujące studnie nr	3.01	4.01	5.01	11.01	12.01	13.01	19.01	20.01
	I C	VI B	VI B	IV	I	II B	I	IV
Parametr	III	I C	III C	I	I C	III	I C	I
	IV	I	I	I C	VI	IV	II B	I C
				III		VI	III	VI
							VI B	
1. Zapach	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}	zS _{H2S}
2. Barwa mg Pt/dm ³	10	10	7	10	7	7	10	10
3. Metność NTU	3	3	5	3	1	5	5	5
4. Odczyn pH	7,35	7,40	7,40	7,35	7,45	7,40	7,35	7,40
5. Zasadowość mval/dm ³	6,8	6,6	5,8	6,2	5,7	5,9	5,5	5,7
6. Twardość og. mval/dm ³	6,9	6,8	6,5	6,4	6,0	6,1	6,0	6,1
7. Twardość og. mg CaCO ₃ /dm ³	345	340	325	320	300	305	300	305
8. Azot amonowy mg N/dm ³	0,18	0,15	0,18	0,15	0,15	0,18	0,15	0,20
9. Azot azotanowy mg N/dm ³	1,8	1,8	1,7	1,65	1,6	1,65	1,7	1,55
10. Chorki mg Cl/dm ³	13,2	12,4	15,6	17,4	18,6	16,4	16,4	15,8
11. Wolny CO ₂ mg CO ₂ /dm ³	48	44	48	44	48	46,4	44	46,4
12. Przewodność μs/cm	582	540	561	506	549	560	531	548
13. Utlenialność mg O ₂ /dm ³	2,4	2,35	2,2	2,4	2,4	2,3	2,35	2,45
14. Żelazo mg Fe/dm ³	2,30	1,85	2,1	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9
15. Mangan mg Mn/dm ³	0,25	0,28	0,33	0,25	0,28	0,25	0,35	0,28

3. Metodyka badań.

Z parametrów jakości wody oraz dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych (stacja uzdatniania pracuje około 20 lat) wynika, że uzdatnianie w zakresie odżelaziania i odmanganiania realizowane poprzez napowietrzanie wody w układzie ciśnieniowym z bardzo krótkim czasem reakcji oraz filtrację przez złożę kwarcowe wpracowane nie zapewnia uzyskania odpowiedniego efektu nawet przy ograniczonej prędkości filtracji. Obecna produkcja wody wynosi średnio 300 m³/h skąd prędkość filtracji około 5 m/h.

W celu opracowania optymalnej technologii uzdatniania dla modernizowanej stacji uzdatniania dla wydajności 650 m³/h i zachowania istniejącej powierzchni filtracji wykonane zostały badania na instalacji modelowej uwzględniającej napowietrzanie ciśnieniowe i otwarte, wydłużony czas kontaktu oraz filtrację przez złożę kwarcowe, mieszane braunsztynowi kwarcowe i kwarcowo antracytowe stosując prędkość filtracji od 8 do 12 m/h. Napowietrzanie w systemie ciśnieniowym realizowano wykorzystując eksploatowany na SUW system napowietrzania ciśnieniowego uzupełniony zbiornikiem kontaktowym pozwalającym na wydłużenie przetrzymania wody z powietrzem.

W systemie otwartym napowietrzanie realizowane było za pomocą dyszy rozbryzgowej, nad zbiornikiem reakcji o regulowanym czasie przetrzymania. Efektywność napowietrzania oceniono poprzez oznaczenie w wodzie napowietrzanej po określonym czasie kontaktu takich wskaźników jak: zapach, tlen rozpuszczony, odczyn, zasadowość, stężenie żelaza ogólnego i trójwartościowego (ilość żelaza utlenionego), dwutlenek węgla wolny.

Filtracje napowietrzanej wody realizowano na filtrach o średnicy 100 mm wykonanych ze szkła organicznego. Całkowita wysokość filtrów 3 m. Filtry wyposażone były w ruszt siatkowy, na którym ułożono warstwę podkładową żwiru i złożę filtracyjne. Filtry wyposażone były w system zaworów do regulacji natężenia przepływu w czasie filtracji i płukania (schemat stacji badawczej w załączeniu). Prędkość filtracji mierzona metodą objętościową. Płukanie filtrów

wykonywano wodą z sieci. Istota tak skonstruowanego modelu było odwzorowanie warunków jakie będą istniały w skali technicznej na modernizowanej SUW w Piotrkowie Trybunalskim. Równocześnie z badaniami w układzie dynamicznym wykonano szereg prób testowych w skali laboratoryjnej. Kontrolę procesu uzdatniania prowadzono poprzez pobór prób wody surowej aktualnie tłoczzonej do SUW napowietrzanej i filtratu i analizę w niezbędnym zakresie. Kontrolę procesu prowadzono na bieżąco w zorganizowanym pomieszczeniu budynku administracyjno socjalnego laboratorium. Wyposażenie laboratorium pozwoliło na wykonanie oznaczeń w zakresie: zapach, barwa, mętność, odczyn, zasadowość, twardość, amoniak, azotany, azotyny, chlorki, CO₂, przewodność, utlenialność, żelazo, mangan, sedymentacja osadów w leju Imhoffa. Wykonano pięć cykli badań w następujących wariantach:

Cykl I

- ✓ napowietrzanie ciśnieniowe,
- ✓ czas kontaktu 1 – 1,2 min,
- ✓ filtracja F1 – złożę braunsztynowo piaskowe
 F2 – złożę piaskowe wpracowane,
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Cykl II

- ✓ napowietrzanie ciśnieniowe,
- ✓ zbiornik reakcji o czasie przetrzymania 15 min,
- ✓ filtracja – jak w cyklu I
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Cykl III

- ✓ napowietrzanie otwarte,
- ✓ czas kontaktu 15 min,

- ✓ filtracja jak w cyklu I i II
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Cykl IV

- ✓ napowietrzanie otwarte,
- ✓ czas kontaktu 15 min,
- ✓ filtracja F-1 jak w cyklu III
F – 2 złożo braunsztynowo piaskowe, braunsztyn o granulacji 1 – 2 mm (30 cm), piasek wpracowany 90 cm
- ✓ prędkość filtracji 8 – 12 m/h

Cykl V

- ✓ napowietrzanie otwarte
- ✓ czas kontaktu 15 min,
- ✓ filtracja F – 1 złożo braunsztynowo – piaskowo – antracytowe
F – 2 złożo braunsztynowe + piasek kwarcowy surowy
- ✓ prędkość filtracji 10 – 12 m/h

4. Wyniki badań w skali modelowej.

4.1. Napowietrzanie wody.

Jak stwierdzono w ocenie jakości wody takie wskaźniki jak wyraźny zapach siarkowodorowy, wysokie stężenie wolnego dwutlenku węgla (na poziomie 48 mg CO₂/dm³) oraz bardzo utrudnione utlenianie żelaza wskazują na konieczność sprawdzenia efektów napowietrzania zarówno otwartego jak i ciśnieniowego. Przy nieodpowiednio dobranych parametrach napowietrzania procesy hydrolizy, utleniania i kłaczkowania związków żelaza przebiegają wewnątrz złoża co bardzo utrudnia proces odmanganiania. W tym celu wykonano próby napowietrzania ciśnieniowego i otwartego przy tych samych czasach

przetrzymania w komorze reakcji. Oznaczono takie wskaźniki jak: zapach, odczyn, żelazo ogólne i III wartościowe, wolny dwutlenek węgla, tlen rozpuszczony i obliczono procent utlenienia żelaza z II do III wartościowego. Napowietrzanie ciśnieniowe realizowane było w aeratorach pracujących w skali technicznej a czas przetrzymania w zamkniętym zbiorniku, z którego woda kierowana była na filtry doświadczalne. Napowietrzanie otwarte realizowano za pomocą dyszy rozbryzgowej u mieszczonyj nad zbiornikiem reakcji umożliwiającym regulowanie czasu przetrzymania intensywnością wypływu ze zbiornika. Z badań wynika, że przy tych samych czasach przetrzymania i natlenienia wody na zbliżonym poziomie uzyskuje się zdecydowanie lepsze efekty stosując napowietrzanie otwarte. W tabeli 4 i 5 przedstawione są efekty napowietrzenia ciśnieniowego i otwartego w zależności od czasu kontaktu wody z tlenem z powietrza.

Stosując otwarty system napowietrzania dyszą rozbryzgową przy czasie kontaktu 15 min uzyskuje się:

- ✓ natlenienie wody do $7,7 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$,
- ✓ odgazowanie – uwolnienie wolnego dwutlenku węgla z $48 \text{ mg}/\text{dm}^3$ do $4,4 \text{ mg CO}_2/\text{dm}^3$,
- ✓ utlenienie żelaza z II do III wartościowego w około 55%,
- ✓ wzrost odczynu wody z 7,35 do 7,45 pH

Efekt uzyskany przy tych parametrach napowietrzania stanowi dobre przygotowanie wstępne wody przed filtracją.

Tabela 4

Efekty napowietrzania ciśnieniowego i otwartego w zależności od czasu kontaktu (przetrzymania).

Napowietrzanie ciśnieniowe

Parametr	Woda surowa	Czas kontaktu (minut)					
		1,5	5	10	15	20	30
Zapach	z2S _{H2S}	z1S _{H2S}	z1R	z1R	z1R	z1R	z1R
Odczyn pH	7,35	7,35	7,40	7,45	7,45	7,45	7,45
Wolny CO ₂ mg CO ₂ /dm ³	48	32,6	26,4	22,0	17,6	17,6	17,6
Żelazo og. mg CO ₂ /dm ³	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Żelazo III wart. mg Fe/dm ³	nw.	0,15	0,25	0,4	0,6	0,8	1,0
Żelazo II wart mg Fe/dm ³	2,4	2,25	2,15	2,0	1,8	1,6	1,4
% utlenienia Fe	0	6,25	10,5	16,6	25,0	33,3	41,6
Tlen rozpuszczony	0	6,8	6,6	6,6	6,5	6,4	6,4

Tabela 5

Napowietrzanie otwarte.

Parametr	Woda surowa	Czas kontaktu (minut)					
		5	7	10	15	20	30
Zapach	z2S _{H2S}	z1R	z1R	z1R	z1R	z1R	z1R
Odczyn pH	7,35	7,40	7,45	7,45	7,45	7,5	7,5
Wolny CO ₂ mg CO ₂ /dm ³	48	13,2	8,8	6,6	4,4	4,4	4,4
Żelazo og. mg CO ₂ /dm ³	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Żelazo III wart. mg Fe/dm ³	nw.	0,75	0,95	1,1	1,3	1,5	1,7
Żelazo II wart mg Fe/dm ³	2,4	1,65	1,45	1,3	1,1	0,9	0,7
% utlenienia Fe	0	30	35	45	55	62	70
Tlen rozpuszczony	0	7,8	8,0	7,8	7,7	7,4	7,4

4.2. Filtracja.

Filtrację realizowano na dwóch filtrach wypełnionych złożami o charakterystyce przedstawionej w punkcie 3.

Wykonano pięć cykli filtracyjnych, w których stosowano odmiennie parametry w zakresie:

- ✓ napowietrzania,
- ✓ czasu przetrzymania,
- ✓ rodzaju złoża,
- ✓ prędkości filtracji.

Stosowano prędkość filtracji 8 – 12 m/h. W trakcie cyklu filtracyjnego dokonywano pomiaru przyrostu oporu złoża oraz kontrolowano prędkość filtracji. Próby filtratu oraz próby wody surowej i nienapowietrzonej pobierano w trakcie trwania cyklu i wykonano analizę w zakresie niezbędnym dla określenia efektów uzdatniania. Wyniki uzyskane w układzie filtracji przez różne złoża przedstawione są w tabelach od 6 do 15, a ocenę uzyskanych wyników w punkcie 5

Cykl I

- ✓ napowietrzanie ciśnieniowe,
- ✓ czas kontaktu 1 – 1,2 min,
- ✓ filtracja F1 – złoża braunsztynowo piaskowe
 F2 – złoża piaskowe wpracowane,
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Tabela nr 6

F-1

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
1	8	0,08	0,06	6,8	36
14	10	0,12	0,08	6,6	102
17	10	0,18	0,18	-	134
20	8	0,06	0,06	6,6	160
24	8	0,05	0,06	6,6	188

Tabela nr 7

F-2

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
1	8	0,05	0,08	6,6	32
14	10	0,15	0,10	6,4	108
17	10	0,12	0,12	-	140
20	8	0,08	0,06	6,4	168
24	8	0,08	0,08	6,4	192
woda surowa	-	2,1	0,25	nw.	-

Cykl II

- ✓ napowietrzanie ciśnieniowe,
- ✓ zbiornik reakcji o czasie przetrzymania 15 min,
- ✓ filtracja – jak w cyklu I
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Tabela nr 8

F-1

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,03	0,08	6,4	34
12	10	0,05	0,08	6,4	100
18	8	0,03	0,06	-	140
22	8	0,03	0,05	6,4	168
28	8	0,03	0,06	6,4	196

Tabela nr 9

F-2

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,05	0,1	6,6	32
12	10	0,08	0,1	6,6	98
18	8	0,05	0,08	-	138
22	8	0,05	0,08	6,5	160
28	8	0,05	0,08	6,5	190
woda surowa	-	2,2	0,23	nw.	-

Cykl III

- ✓ napowietrzanie otwarte,
- ✓ czas kontaktu 15 min,
- ✓ filtracja jak w cyklu I i II
- ✓ prędkość filtracji 8 – 10 m/h

Tabela nr 10

F-1

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,01	0,03	7,4	18
15	10	0,01	0,02	7,6	102
19	12	0,05	0,04	-	130
24	12	0,05	0,04	7,8	150
36	8	nw.	0,01	-	210
40	10	0,01	0,01	7,8	230

Tabela nr 11

F-2

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,03	0,05	7,8	22
15	10	0,03	0,04	7,6	110
19	12	0,08	0,06	-	132
24	12	0,08	0,05	7,8	158
36	8	0,03	0,03	7,8	215
40	10	0,05	0,03	7,8	240
woda surowa	-	2,2	0,28	nw.	-

Cykl IV

✓ napowietrzanie otwarte,

✓ czas kontaktu 15 min,

✓ filtracja F-1 jak w cyklu III

F – 2 złoża braunsztynowo piaskowe, braunsztyń o granulacji 1 – 2 mm (30 cm), piasek wpracowany 90 cm

✓ prędkość filtracji 8 – 12 m/h

Tabela nr 12

F-1

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,02	0,03	7,8	20
15	10	0,02	0,03	7,8	110
19	12	0,05	0,05	-	136
24	12	0,06	0,04	7,6	164
26	12	0,06	0,04	7,6	180

Tabela nr 13

F-2

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	0,01	0,03	7,8	25
15	10	0,01	0,02	7,6	118
19	12	0,03	0,04	-	146
24	12	0,03	0,03	7,6	170
26	12	0,03	0,03	7,8	192
woda surowa	-	2,3	0,25	nw.	-

Cykl V

- ✓ napowietrzanie otwarte
- ✓ czas kontaktu 15 min,
- ✓ filtracja F – 1 złożo braunsztynowo – piaskowo – antracytowe
F – 2 złożo braunsztynowe + piasek kwarcowy surowy
- ✓ prędkość filtracji 10 – 12 m/h

Tabela nr 14

F-1

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	10	nw.	0,02	8,0	12
12	10	nw.	0,01	8,2	50
18	12	0,03	0,02	-	80
24	12	0,03	0,03	7,8	112
36	8	0,01	0,01	7,8	140
44	10	0,03	0,02	7,8	202

Tabela nr 15

F-2

Godzina cyklu	Prędkość filtracji m/h	Żelazo mg Fe/dm ³	Mangan mg Mn/dm ³	Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	Opór złoża cm
2	8	śl.	0,01	7,8	24
12	10	śl.	0,02	7,8	106
18	10	0,01	0,02	-	130
24	12	0,02	0,02	7,8	160
36	12	0,02	0,03	7,8	220
44	10	0,01	0,02	7,8	245
woda surowa	-	2,1	0,25	nw.	-

4.3. Płukanie ziół filtracyjnych.

Płukanie ziół filtracyjnych wykonano wodą uzdatnioną z eksploatowanej SUW. Płukanie wykonano po zakończonym cyklu filtracyjnym stosując intensywność przepływu wody $15 - 18 \text{ dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. W trakcie płukania pobierano próby popłuczyn co 30 sekund oznaczając mętność w końcowych próbach w celu uchwycenia końca płukania. Z pobranych prób wykonano próbę średnią, w której oznaczono stężenie żelaza oraz wykonano pomiar czasu sedymentacji osadu i ilości osadu w leju Imhoffa. W czasie płukania wykonano pomiar ilości wody do płukania i obliczono intensywność płukania. Dokonano pomiaru ekspansji zióła przy różnych intensywnościach płukania. Uzyskane wyniki przedstawione są w tabelach.

Tabela nr 16

Cykl II	F-1 zióło braunsztyn+piasek 20+100cm	F-2 zióło piasek wpracowany 130cm
Q=l/min	7,48	6,55
i=l/m ₂ * s	16	14
t=minut	8	10
E=cm	32	28
%	25	22

Cykl IV	F-1 złożo braunsztyn+piasek 20+110cm	F-2 złożo braunsztyn+piasek surowy 30+100cm
Q=l/min	8,42	7,02
i=l/m ₂ * s	18	15
t=minut	6	8
E=cm	36	30
%	27,7	23

Cykl V	F-1 złożo braunsztyn+piasek+antracyt 20+60+50cm	F-2 złożo braunsztyn+piasek surowy 30+100cm
Q=l/min	7,02	7,95
i=l/m ₂ * s	15	17
t=minut	7	7
E=cm	46	33
%	35	25,4

E – ekspansja złoża

Wyniki płukania

Tabela nr 17

Parametr	Cykl 2		Cykl 4		Cykl 5	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
1. Stężenie żelaza w uśrednionej próbie popłuczyn mg Fe/dm ³	235	230	240	220	280	208
2. Mętność po zakończeniu płukania NTU	5	10	3	10	15	7
3. Ilość osadu w leju Imhoffa po 12 godzinach sedimentacji cm ³ /dm ³	4,2	4,0	4,8	3,8	5,4	3,6
4. Ilość zawiesin w wodzie nadosadowej po 12 godzinach po 12 godzinach sedimentacji mg/dm ³	10	18	12	18	28	14
5. Stężenie żelaza w wodzie nadosadowej po 12 godzinach sedimentacji mg Fe/dm ³	4,8	6,2	3,6	6,0	6,8	4,4

4.4. Dezynfekcja wody uzdatnionej.

Wykonano próbę dezynfekcji wody w celu ustalenia dawki chloru do dezynfekcji (zapotrzebowanie chloru). Chlorowanie wykonano roztworem podchlorynu sodu. Do 10 prób wody uzdatnionej dodawano odpowiednie dawki chloru od 0,4 do 1,5 mg/dm³ i po 30 minutach oznaczono w próbach chlor pozostały. W tabeli 18 oraz na wykresie przedstawiony jest przebieg chlorowania wody uzdatnionej.

Tabela 18

Dawka chloru mg Cl ₂ /dm ³	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5
Chlor pozostały mg Cl ₂ /dm ³	0,010	0,025	0,1	0,15	0,20	0,30	0,40	0,5	0,6	0,8

Z przeprowadzonych badań wynika, że do dezynfekcji wody uzdatnionej należy stosować dawkę chloru 0,6 do 0,9 mg Cl₂/dm³, aby uzyskać stężenie chloru pozostałego w wodzie 0,1 do 0,3 mg Cl₂/dm³ (Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19.11 2002 w sprawie warunków jakim powinna odpowiadać woda do

spożycia przez ludzi). Do obliczeń stacji chlorowania przyjąć dawkę 0,9 mg Cl_2/dm^3 .

5. Podsumowanie.

W miesiącu styczniu 2007r. wykonano badania jakościowe i technologiczne w skali modelowej nad uzdatnianiem wody z ujęcia Szczekanica w Piotrkowie Trybunalskim. Przedmiotem badań była woda z ujęcia w czasie jego pracy z wydajnością 250 – 350 m^3/h . W trakcie badań pobierano próby wody mieszanej tłoczony aktualnie do SUW i wykonano analizy w zakresie niezbędnym dla scharakteryzowania jakości i sposobu jej uzdatniania. Z analizy jakościowej wynika, że woda wymaga uzdatniania w kierunku obniżenia stężenia żelaza i manganu oraz uwolnienia siarkowodoru i nadmiernego wolnego dwutlenku węgla. Woda wymaga dobrego przygotowania wstępnego przed filtracją oraz dobrania złoża filtracyjnego zapewniającego odżelazienie i odmanganienie bez potrzeby stosowania dodatkowych reagentów. Badania technologiczne nad uzdatnianiem wykonane zostały na instalacji modelowej stymulującej przyszłą stację uzdatniania. W trakcie badań wykonywane były analizy w zakresie niezbędnym do określenia efektów uzdatniania na odpowiednio dobranych złożach filtracyjnych w systemie napowietrzania ciśnieniowego i otwartego. Optymalny czas przetrzymania po napowietrzaniu określony w próbach testowych wynosił 15 minut.

Filtrację prowadzono w układzie jednostopniowym przez złoża o charakterystyce przedstawionej w punkcie 3. Stosowano prędkość filtracji od 8 do 12 m/h . Po każdym cyklu filtracji złoża płukano wodą uzdatnioną a po cyklu 2, 4 i 5 wykonano pomiar i intensywność płukania, czas płukania i ilość wody do płukania oraz wykonano analizę wód popłucznych i oznaczono czas sedimentacji osadu z wód popłucznych.

Badania wykazały, że najkorzystniejsze efekty uzyskano stosując otwarty system napowietrzania z czasem przetrzymania 15 minut oraz filtrację przez

złożę mieszane braunsztynowo piaskowe z prędkościami 8 – 12 m/h. Najkorzystniejszy efekt w zakresie odżelaziania i odmanganiania uzyskano na złożu braunsztynowo – piaskowo – antracytowym (cykl 5 filtr 1).

Dodatek warstwy antracytu powodował, że opory złoża przyrastały bardzo wolno co pozwoliło na wydłużenie cyklu filtracyjnego. Stosowanie jednak antracytu wymagałoby dostosowania istniejących filtrów do tego rodzaju złoża. Ze względu na niski ciężar nasypowy antracytu przestrzeń między poziomem złoża a przelewem wód popłucznych musiałby wynosić co najmniej 70 cm. by zapobiec wypłukiwaniu antracytu. Zmniejszenie natomiast intensywności płukania uniemożliwiłoby odpowiednie wypłukanie warstwy piasku i braunsztynu.

Stosowano braunsztyn o nazwie handlowej – masa aktywna G – 1. Masa ta ma właściwości utleniające i działa katalitycznie w stosunku do manganu, amoniaku i niektórych metali takich jak: kadm, miedź, ołów, nikiel, chrom. W wyniku uzdatniania na opisanym modelu uzyskano wodę o parametrach odpowiadających wymaganiom zawartym w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi oraz dyrektywie Unii Europejskiej.

6. Technologia uzdatniania wody z ujęcia Szczekanica w Piotrkowie Trybunalskim

Na podstawie przeprowadzonych w styczniu 2007 r badań jakości wody z ujęcia oraz w wyniku przeprowadzonych badań technologicznych na urządzeniach modelowych ustala się następujący schemat uzdatniania.

6.1. Wodę napowietrzyć w systemie napowietrzania otwartego stosując dyszę rozbryzgową, kolumnę Roeslera lub urządzenie napowietrzające Aqua – Jet AF30T2.

6.2. Wodę napowietrzoną przetrzymać w otwartym zbiorniku reakcji o czasie przetrzymania 15 minut. W przypadku napowietrzania urządzeniem Aqua – Jet napowietrzanie odbywa się w zbiorniku. Ze względu na wyraźny zapach siarkowodorowy, wysokie stężenie wolnego dwutlenku węgla niezbędny jest taki system napowietrzania i czas kontaktu by uzyskać odpowiednie utlenienie żelaza z dwu do trój wartościowego i uwolnienie zawartych w wodzie gazów.

W wyniku napowietrzania uzyskuje się:

- ✓ natlenienie wody do około 7,0 – 7,5 mg O₂/dm³,
- ✓ utlenienie żelaza z dwu do trój wartościowego w około 60%,
- ✓ uwolnienie siarkowodoru i wolnego CO₂,
- ✓ wzrost odczynu wody o 1,5 stopnia pH czyli z 7,35 do 7,5 pH

6.3. Wodę napowietrzoną filtrować przez złożę mieszane braunsztynowo – kwarcowe ułożone na warstwie podtrzymującej żwiru. Złożę zasypać w istniejących filtrach stalowych zamkniętych z drenażem grzybkowym.

Warstwa podtrzymująca:

- ✓ żwir o granulacji 3 – 20 mm i wysokości warstw od dołu
 - 10 – 20 mm h = 10 cm
 - 5 – 10 mm h = 7,5 cm
 - 3 – 5 mm h = 7,5 cm

Warstwa filtracyjna składać się będzie z:

- ✓ braunsztynu (masa aktywna G-1) o granulacji 1 – 2 mm i wysokości warstwy 30 cm,
- ✓ piasek kwarcowy surowy o granulacji 0,8 – 1,4 i wysokości warstwy 90 – 100 cm

Wskazane byłoby częściowe wykorzystanie piasku z istniejących filtrów pod warunkiem dobrego jego wypłukania i przeniesienie w warunkach uniemożliwiających jego skażenie.

6.4. Prędkość filtracji.

Stosować prędkość filtracji 10 m/h. Przy tej prędkości filtracji uzyskuje się wodę o zawartości żelaza i manganu w stężeniach śladowych. Wzrost prędkości filtracji do 12 m/h nie powoduje zwiększenia stężenia żelaza i manganu powyżej 0,1 mg Fe/dm³ i manganu powyżej 0,03 mg Mn/dm³. Istniejąca powierzchnia filtracji 63 m³ (14 filtrów o powierzchni filtracji 4,5 m²) zapewnia spełnienie tych warunków tym bardziej, że płukanie filtrów może odbywać się przy zmniejszonej wydajności ujęcia bowiem pokrycie rozbioru wody zapewniają zbiorniki retencyjne i pompownia II°.

6.5. Czas cyklu filtracyjnego.

Z pomiaru przyrostu oporów złoża w czasie cyklu filtracyjnego i średniej prędkości filtracji należy przyjąć cykl filtracyjny 48 godzin efektywnej pracy filtra. Czas pracy filtrów należy dokładnie ustalić w trakcie eksploatacji przyjmując jako wskaźnik przyrost oporów na złożu lub ilość przefiltrowanej wody.

Przyrost oporu na złożu o charakterystyce przedstawionej w punkcie 7.3. wynosi około 300 cm H₂O.

6.6. Płukanie złoża filtracyjnego.

Płukanie przeprowadzić w następujący sposób:

Po zamknięciu zasuwy doprowadzającej wodę surową spuścić wodę z filtra do poziomu złoża i włączyć powietrze w celu spulchnienia złoża stosując intensywność przepływu 20 dm³/m² * s w ciągu 3 minut. Dla tych parametrów należy dobrać dmuchawę. po tym czasie zamknąć zasuwę powietrza i rozpocząć płukanie wodą uzdatnioną stosując intensywność płukania nie mniejszą niż 16 dm³/m² * s ze względu na ciężar nasypowy braunsztynu. Dla tych parametrów dobrać pompę do płukania. Ekspansja złoża stosowanego w filtrach przy tej

intensywności płukania wynosi 30%. Czas płukania 7 – 8 minut. Pierwszy filtrat w ciągu pierwszych 5 minut odprowadzić do zbiornika wód popłucznych.

6.7. Odprowadzenie wód popłucznych.

Wody popłuczne (pierwszy spust z nad złoża, wody popłuczne oraz pierwszy filtrat) odprowadzić do osadnika wód popłucznych o czasie przetrzymania około 20 godzin. po tym czasie wody nadosadowe odprowadzić do systemu wód powierzchniowych lub rowów melioracyjnych lub do kanalizacji a osady okresowo wozem asenizacyjnym w miejsce do tego celu przeznaczone. Jakość wód nadosadowych po 12 godzinach sedymentacji:

- ✓ mętność około 18 NTU (zawiesina około 20 mg/dm^3),
- ✓ żelazo 4 – 6 mg Fe/dm^3 ,
- ✓ mangan 0,8 – 1,4 mg Mn/dm^3 .

Ilość osadów po 12 godzinach sedymentacji oznaczona w leju Imhoffa wynosi $4,5 - 5,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$.

Rozważyć należy również wariant odprowadzenia wód popłucznych do kanalizacji pod warunkiem uzgodnienia z odbiorcą ścieków. Uśrednione wody popłuczne z płukania filtra mają średnie stężenie żelaza 108 mg Fe/dm^3 , natomiast maksymalne stężenie w 2 i 3 minucie płukania wynosi $380 - 420 \text{ mg Fe/dm}^3$

6.8. Dezynfekcja wody uzdatnionej.

Wodę uzdatnioną dezynfekować okresowo chlorem w postaci podchlorynu sodu. Oznaczone zapotrzebowanie chloru dla wody uzdatnionej wynosi $0,9 \text{ mg Cl}_2/\text{dm}^3$ tak by w wodzie po 30 minutach przetrzymania chlor pozostały wynosił $0,3 \text{ mg Cl}_2/\text{dm}^3$

W wyniku zastosowania przedstawionej technologii uzdatniania uzyska się wodę o parametrach odpowiadających wymaganiom zawartym w

Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 19.11.2002r. w sprawie wymagań dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi.

6.9. Analiza fizyko – chemiczna wody uzdatnionej na filtrze modelowym przy następujących parametrach uzdatniania:

- ✓ napowietrzanie otwarte 7,2 mg O₂/dm³,
- ✓ czas przetrzymania 15 minut,
- ✓ utlenienie żelaza z dwu do trój wartościowego – około 60%,
- ✓ filtracja przez złożę braunsztynowo – piaskowe,
- ✓ prędkość filtracji 10 m/h

Tabela nr 19

Parametr	Woda uzdatniona	Wartość dopuszczalna dla wody do spożycia
1. Zapach	z1R	akceptowalny
2. Mętność NTU	0	1
3. Barwa mg Pt/dm ³	5	15
4. Odczyn pH	7,45	6,5 – 9,5
5. Zasadowość mval/dm ³	5,9	-
6. Twardość og. mval/dm ³	6,1	-
7. Twardość og. mg CaCO ₃ /dm ³	305	60 – 500
8. Wolny CO ₂ mg CO ₂ /dm ³	8,8	-
9. Azot amonowy mg N/dm ³	0,1	0,5
10. Azot azotanowy mg N/dm ³	1,8	10
11. Żelazo mg Fe/dm ³	śl.	0,2
12. Mangan mg Mn/dm ³	śl.	0,05
13. Utlenialność mg O ₂ /dm ³	1,8	5
14. Przewodność µs/cm	506	2500
15. Tlen rozpuszczony mg O ₂ /dm ³	7,0	-
16. Chlor pozostały mg Cl ₂ /dm ³	0,3	0,1 – 0,3