

# Praktyczne aspekty wydłużenia czasu pracy kolumny sorpcyjnej bez wspomagania oraz ze wspomaganiami poprzedzającym złożem filtracyjnym

*Bronisław Bartkiewicz  
Politechnika Warszawska*

*Tadeusz Piecuch, Jacek Piekarski  
Politechnika Koszalińska*

*Recenzent: Mirosław Szklarczyk  
Politechnika Wrocławska*

## 1. Wstęp

Złoża sorpcyjne tworzone z węgla aktywnych [1,2] stanowią dzisiaj bardzo często newralgiczne węzły typowych obiegów wodno-ściekowych zakładów przemysłowych. Dobór rodzajów węgla aktywnych i ich wprowadzanie do konkretnych układów wodno-mułowych zakładów przemysłowych determinowany jest najczęściej ilością oraz jakością ścieków poprodukcyjnych danego zakładu. Jednocześnie niezwykle ważnym czynnikiem warunkującym wprowadzanie kolumn sorpcyjnych do tych obiegów są możliwości finansowe zakładu – nie każdy zakład może sobie na węgle aktywne pozwolić, bowiem ich stosowanie podraża koszty eksploatacyjne, na skutek konieczności wymiany takiego zużytego sorbentu, który następnie staje się odpadem. Dlatego też, projektant obiegu wodno-mułowego w porozumieniu z inwestorem, którym najczęściej jest dany zakład przemysłowy stoi przed dylematem: czy wydłużyć okres efektywnego użytkowania danej kolumny sorpcyjnej poprzez zastosowanie dodatkowego węzła - filtracji grawitacyjnej, który poprzedza węzeł sorpcji i który to węzeł filtracyjny ma dodatkowo doczyścić po uprzedniej koagulacji zdekantowany ściek w pierwszym węźle procesu jego oczyszczania. Ten zdekantowany ściek, który najczęściej zawiera poniżej  $1 \text{ g/dm}^3$  zawiesiny jest w odniesieniu do niektórych ocen [3] tzw. przelewem sklarowanym na „zero przemysłowe”, natomiast w odniesieniu do ogólnych przepisów i norm dotyczących oczyszczania

ścieków pod kątem ich odprowadzania do ziemi i zbiorników otwartych [6] jest to wartość dosyć wysoka, a w odniesieniu do przyjętego założenia bezpośredniego wprowadzania takiego ścieku zdekantowanego na kolumnę sorpcyjną na tyle wysoką, że będzie powodować skrócenie jej efektywnego czasu pracy, na skutek tworzenia pokryć mułowych na sorbencie, a tym samym szybszego zmniejszenia chłonności sorpcyjnej danej kolumny.

Z drugiej strony wprowadzenie dodatkowego węzła filtracji grawitacyjnej, doczyszczającej zdekantowany przelew (wodę nadosadową) po koagulacji i sedymentacji grawitacyjnej to dodatkowy koszt zarówno inwestycyjny, jak i eksploatacyjny, gdyż takie złoże filtracyjne np. piasku, także trzeba wymieniać co pewien czas na skutek procesu kolmatacji [4] – a to z kolei nie tylko zwiększenie kosztów ale określony kłopot techniczny. Oczywiście piaskowe złoże filtracyjne można także płukać, najczęściej przeciwwądowno i pod ciśnieniem – ale to też pewien koszt (np. zużycie wody czystej) pojawienie się ścieku popłuczynowego, który należy oczyścić zawracając go najczęściej na pierwszy węzeł do procesu koagulacji, gdzie jednak z biegiem czasu następuje w obiegu wzrost koncentracji zawiesiny właśnie tej najtrudniej sedymentującej.

Wydaje się zatem sprawą ważną, aby dla każdego konkretnego zakładu przemysłowego w odniesieniu do jego kondycji finansowej z jednej strony, oraz w odniesieniu do rodzaju ścieków przemysłowych z drugiej strony, rozważyć możliwość wzajemnych relacji pracy kolumny sorpcyjnej dla danych warunków koagulacji i sedymentacji ścieków na węźle pierwszym w układzie bez filtracji przed kolumną sorpcyjną oraz w układzie z kolumną filtracyjną przed kolumną sorpcyjną.

Właśnie odpowiedzi na powyższe pytanie, głównie w odniesieniu do czynnika technicznego użytkowania kolumny sorpcyjnej w odniesieniu do jej pracy na konkretnych ściekach przemysłowych pochodzących z wydziału myjki zrębków Zakładu Przetwórstwa Drewna Polspan-Kronospan ma udzielić niniejsza publikacja.

## 2. Badania własne

Ściek surowy poprodukcyjny pochodzący z Myjki Zrębków Zakładu Przetwórstwa Drewna Polspan-Kronospan w Szczecinku o charakterystyce technologicznej podanej w tabeli 1 poddano najpierw procesowi koagulacji i sedymentacji grawitacyjnej [5], a następnie przyjęto dwa warianty dalszego doczyszczania cieczy nadosadowej po procesie koagulacji i sedymentacji. A mianowicie:

- wariant I - ciecz zdekantowaną wprowadzono bezpośrednio na węzeł sorpcji – tabela 2,

- wariant II - ciecz zdekantowaną przepuszczono najpierw przez grawitacyjne złoża filtracyjne zbudowane z piasku – tabela 2.

Piasek użyty do badań otrzymano ze Stacji Uzdatniania Wody w Koszalinie, jako typowy, używany w tej stacji.

**Tabela. 1.** Charakterystyka ścieku poprodukcyjnego z Wydziału Myjki Zrębków Zakładu POLSPAN-KRONOSPAN w Szczecinku [5]

**Table 1.** Characteristics of post-production wastewater from Chip Washing Division of POLSPAN-KRONOSPAN Plant in Szczecinek [5]

Lp.	Wskaźnik	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Odczyn	pH	-	5,7
2	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	ChZT	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	12300
3	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	BZT <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup>	4800
4	Zawiesina ogólna	Z	mg/dm <sup>3</sup>	23520
5	Substancje rozpuszczone	S <sub>R</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	2830
6	Sucha pozostałość	S <sub>P</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	26350
7	Ekstrakt eterowy	E <sub>E</sub>	mg/dm <sup>3</sup>	426
8	Ogólny węgiel organiczny	OWO	mg/dm <sup>3</sup>	14830

Złoże filtracyjne i sorpcyjne miało:

- wysokość - H=2 m,

oraz średnicę:

- złożo filtracyjne -  $\phi_f = 12$  cm,
- złożo sorpcyjne -  $\phi_s = 5$  cm.

Zmiennymi wynikowymi pracy kolumny sorpcyjnej bez poprzedzającej filtracji jak i z poprzedzającą filtracją zdekantowanego ścieku pokoagulacyjnego były: odczyn pH, chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT<sub>5</sub>, zawiesina ogólna Z, substancje rozpuszczone S<sub>R</sub>, sucha pozostałość S<sub>P</sub>, ekstrakt eterowy E<sub>E</sub>, ogólny węgiel organiczny OWO.

**Tabela 2.** Wyniki badań wpływu zmian ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na zmianę wartości rozpatrywanych wskaźników zmiennych wynikowych w eluacie

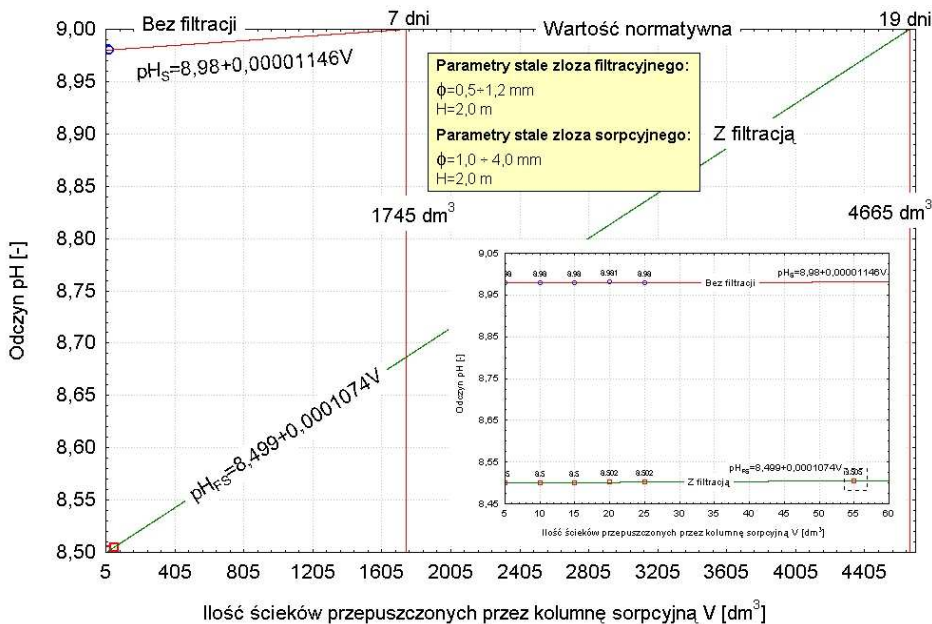
**Table 2.** Results of research on influence of sewage volume passed through a sorptional column V [dm<sup>3</sup>] on the change of variable result indexes values in eluate

Lp.	Wskaźnik	Symbol	Jednostka	Ciecz nadosadowa po koagulacji	Rodzaj	Ilość ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm <sup>3</sup> ]						Norma
						5	10	15	20	25	55	
1.	Odczyn	pH	[-]	12,3	Bez filtracji	8,980	8,981	8,98	8,981	8,981		6,5÷9,0
					Z filtracją	8,500	8,500	8,500	8,502	8,502	8,505	
2.	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	ChZT	[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	1604	Bez filtracji	97	98	97	97	98		150
					Z filtracją	53	53	54	54	53	54	
3.	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu	BZT <sub>5</sub>	[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	580	Bez filtracji	30	32	30	30	32		30
					Z filtracją	16	16	17	17	17	18	
4.	Zawiesina ogólna	Z	[mg/dm <sup>3</sup> ]	1276	Bez filtracji	34	35	34	34	35		50
					Z filtracją	21	21	22	22	21	22	
5.	Substancje rozpuszczone	S <sub>R</sub>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	2780	Bez filtracji	1000	1005	1010	1005	1010		2000
					Z filtracją	644	646	645	648	650	664	
6.	Sucha pozostałość	S <sub>P</sub>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	4056	Bez filtracji	1034	1040	1044	1039	1045		2050
					Z filtracją	665	667	667	670	671	686	
7.	Ekstrakt eterowy	E <sub>E</sub>	[mg/dm <sup>3</sup> ]	320	Bez filtracji	20	21	21	20	21		30
					Z filtracją	12	12	12	13	13	13	
8.	Ogólny węgiel organiczny	OWO	[mg/dm <sup>3</sup> ]	1400	Bez filtracji	156	158	158	157	157		40
					Z filtracją	61	61	62	62	63		

### 3. Opis i analiza wyników

#### 3.1. Odczyn pH

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na zmianę odczynu pH eluatu bez poprzedzającej filtracji jak i z poprzedzającą filtracją ujęto graficznie na rysunku 1. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złożo sorpcyjne pracowało 7 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości pH=9 określonej jako dopuszczalna norma.



**Rys. 1.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika odczynu pH [-] w eluacie  
**Fig. 1.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorption column V [dm<sup>3</sup>] influence on pH reaction index value [-] in eluate

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną odczynu pH=9 osiągnął eluat po 19 dniach. W praktyce, zakładając w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można prognozować, że w odniesieniu do normatywnej wartości odczynu pH kolumna sorpcyjna będzie pracować około 14 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 38 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest

to niewątpliwie różnica istotna, bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 2,7 razy. Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

$$\text{pH}_S=8,98+0,00001146V \quad (1)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$\text{pH}_{FS}=8,499+0,0001074V \quad (2)$$

gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [dm<sup>3</sup>].

Oczywiście, wydaje się wysoce prawdopodobne, iż po przyjęciu określonej dużej ilości ścieków, złoża sorpcyjne w ostatniej fazie pracy, tuż przed utratą zdolności sorpcyjnych zaczną je najpierw gwałtownie tracić, co graficznie (dotyczy to i pozostałych wykresów aproksymacyjnych – rys. 2÷8) zostanie przedstawione przejściem linii prostej w krzywą wykładniczą.

### 3.2. Chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT, zostały przedstawione na rysunku 2. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złoża sorpcyjne pracowało 9 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT=150 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> określonej jako dopuszczalnej normą.

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT=150 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> eluat osiągnął po 24 dniach. Ogólnie proces sorpcji na węglu aktywnym ma właśnie obniżyć głównie wskaźnik chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT [2]. W praktyce, biorąc w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można przewidzieć, że w odniesieniu do normatywnej wartości wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT=150 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> kolumna sorpcyjna będzie pracować około 18 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 48 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to niewątpliwie różnica istotna, bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 2,7 razy. Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

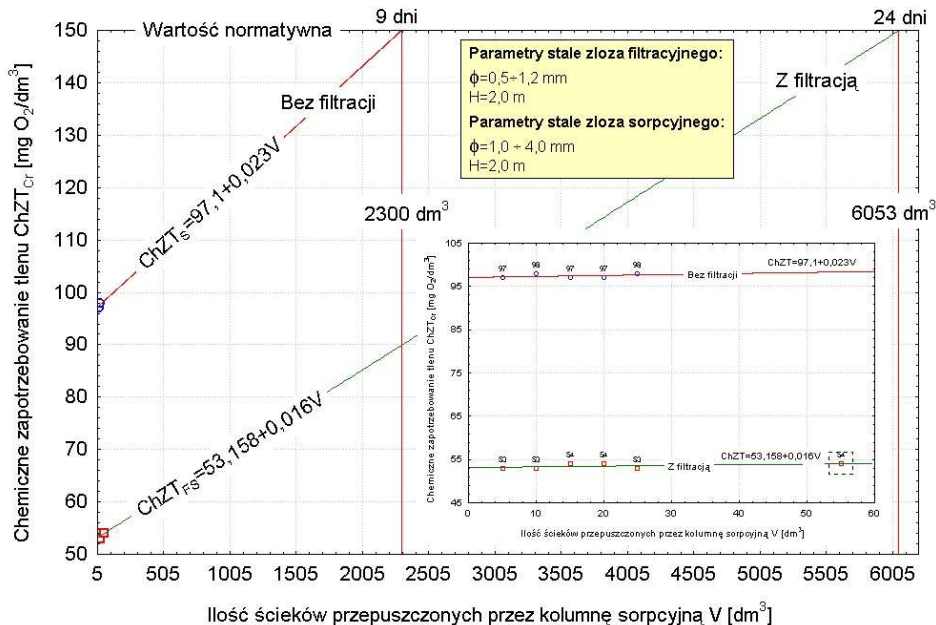
$$\text{ChZT}_S=97,1+0,023V \quad (3)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$\text{ChZT}_{\text{FS}} = 53,158 + 0,016V \quad (4)$$

gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [dm<sup>3</sup>].

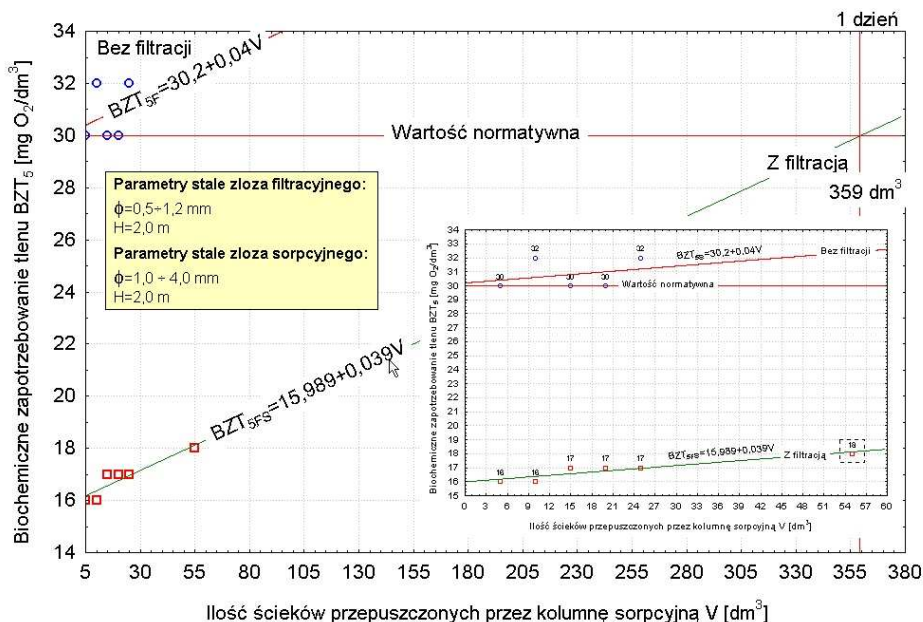


**Rys. 2.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT [mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>] w eluacie

**Fig. 2.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column V [dm<sup>3</sup>] influence on chemical oxygen demand COD index value [mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>] in eluate

### 3.3. Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu BZT<sub>5</sub>

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika biochemicznego zapotrzebowania tlenu BZT<sub>5</sub>, zostały przedstawione na rysunku 3. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złożo sorpcyjne nie osiąga granicznej wartości ChZT<sub>5</sub> = 30 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> określonej jako dopuszczalna norma.



**Rys. 3.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną  $V$  [ $\text{dm}^3$ ] na wartość wskaźnika biochemicznego zapotrzebowania tlenu  $\text{BZT}_5$  [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ] w eluacie

**Fig. 3.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column  $V$  [ $\text{dm}^3$ ] influence on biochemical oxygen demand  $\text{BOD}_5$  index value [ $\text{mg O}_2/\text{dm}^3$ ] in eluate

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika biochemicznego zapotrzebowania tlenu  $\text{BZT}_5 = 30 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  osiągnął eluat po 1 dniu. W praktyce, zakładając w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można powiedzieć, że w odniesieniu do normatywnej wartości wskaźnika biochemicznego zapotrzebowania tlenu  $\text{BZT}_5 = 30 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$  kolumna sorpcyjna będzie pracować około 2 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to niewątpliwie różnica istotna, bowiem osiągnięto wartość wskaźnika biochemicznego zapotrzebowania tlenu  $\text{BZT}_5$  poniżej normy. Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

$$\text{BZT}_{5F} = 30,2 + 0,04V \quad (5)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:



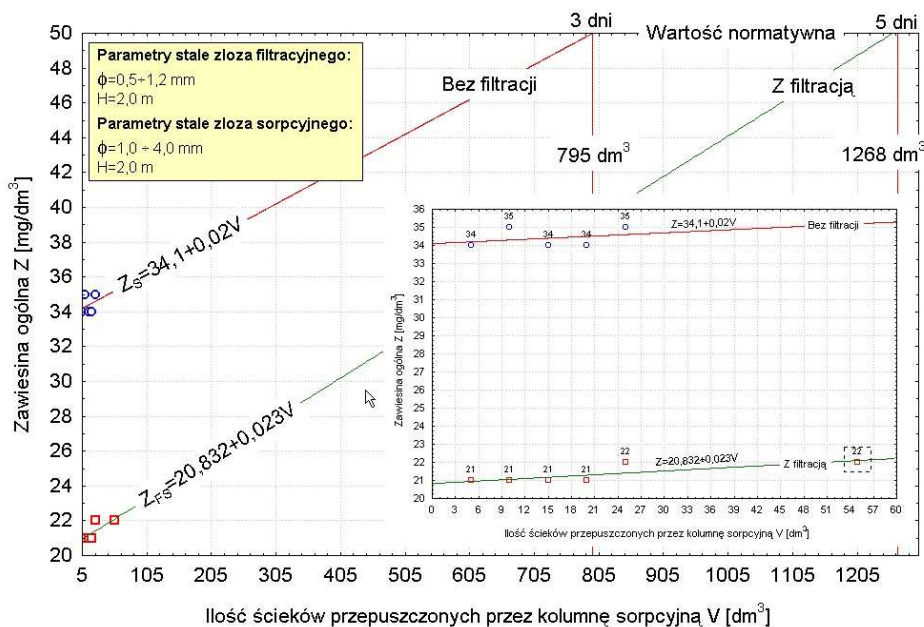
$$BZT_{5FS} = 15,989 + 0,039V \quad (6)$$

gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [dm<sup>3</sup>].

### 3.4. Zawiesina ogólna Z

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika zawiesiny ogólnej Z, zostały przedstawione na rysunku 4. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złożo sorpcyjne pracowało 3 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości wskaźnika zawiesiny ogólnej Z=50 mg/dm<sup>3</sup> określonej jako dopuszczalna norma.



**Rys. 4.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika zawiesiny ogólnej Z [mg/dm<sup>3</sup>] w eluacie

**Fig. 4.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column V [dm<sup>3</sup>] influence on total suspension Z index value [mg/dm<sup>3</sup>] in eluate

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcję węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika zawiesiny ogólnej Z=50 mg/dm<sup>3</sup> osiągnął eluat po 5 dniach. W praktyce, przyjmując w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale, przebiegi zbliżone są do linii prostej można powiedzieć, że w odniesie-

niu do normatywnej wartości wskaźnika zawiesiny ogólnej  $Z=50 \text{ mg/dm}^3$  kolumna sorpcyjna będzie pracować około 6 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 10 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to różnica istotna, bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 1,7 razy. Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

$$Z_s = 34,1 + 0,02V \quad (7)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$Z_{FS} = 20,832 + 0,023V \quad (8)$$

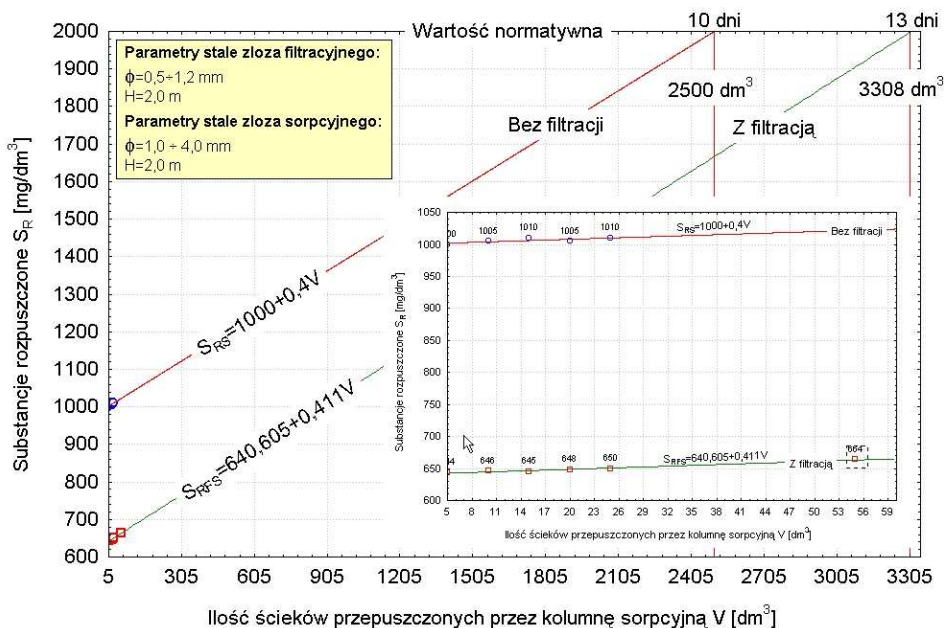
gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [ $\text{dm}^3$ ].

### 3.5. Substancje rozpuszczone $S_R$

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika substancji rozpuszczonej  $S_R$ , zostały przedstawione na rysunku 5. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złożo sorpcyjne pracowało 10 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości wskaźnika substancji rozpuszczonej  $S_R=2000 \text{ mg/dm}^3$  określonej jako dopuszczalnej normą.

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika substancji rozpuszczonej  $S_R=2000 \text{ mg/dm}^3$  osiągnął eluat po 13 dniach. Zwraca uwagę fakt, iż użyte do badań złożo piaskowe wyraźnie spowodowało wypadkowe obniżenie wskaźnika substancji rozpuszczonej, a to prawdopodobnie można tłumaczyć tym, że w piasku który tu nie jest mineralogicznie jednorodny, istnieją domieszki o właściwościach sorpcyjnych dla soli (np.: glinokrzemiany). Zwraca jednocześnie uwagę, wyraźna zmiana odczynu pH przy zastosowaniu węzła filtracji, czyli korzystna zmiana warunków zachodzenia reakcji i wytrącania się nowych związków chemicznych i ich późniejsza kolmatacja w złożu. W praktyce, zakładając w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można powiedzieć, że w odniesieniu do normatywnej wartości wskaźnika substancji rozpuszczonej  $S_R=2000 \text{ mg/dm}^3$  kolumna sorpcyjna będzie pracować około 20 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 26 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to niewątpliwie różnica istotna bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 1,3 razy.



**Rys. 5.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną  $V$  [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika substancji rozpuszczonej  $S_R$  [mg/dm<sup>3</sup>] w eluacie

**Fig. 5.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column  $V$  [dm<sup>3</sup>] influence on dissolved matter  $S_R$  index value [mg/dm<sup>3</sup>] in eluate

Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoza bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

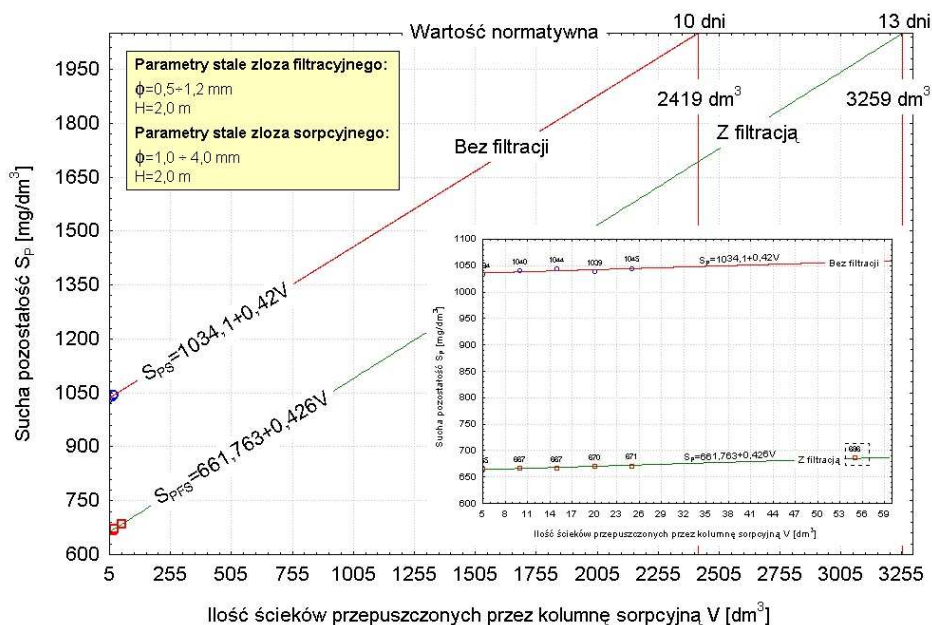
$$S_{RS} = 1000 + 0,4V \quad (9)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$S_{RFS} = 640,605 + 0,411V \quad (10)$$

gdzie:

$V$  – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [dm<sup>3</sup>].

3.6. Sucha pozostałość  $S_p$ 

**Rys. 6.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika suchej pozostałości  $S_p$  [mg/dm<sup>3</sup>] w eluacie  
**Fig. 6.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column V [dm<sup>3</sup>] influence on dry residue  $S_p$  index value [mg/dm<sup>3</sup>] in eluate

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika suchej pozostałości  $S_p$ , zostały przedstawione na rysunku 6. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji, złożo sorpcyjne pracowało 10 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości wskaźnika suchej pozostałości  $S_p=2050$  mg/dm<sup>3</sup> określonej jako dopuszczalna norma.

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika suchej pozostałości  $S_p=2050$  mg/dm<sup>3</sup> osiągnął eluat po 13 dniach. W praktyce, biorąc w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można powiedzieć, że w odniesieniu do normatywnej wartości wskaźnika suchej pozostałości  $S_p=2050$  mg/dm<sup>3</sup> kolumna sorpcyjna będzie pracować około 20 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 26 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to różnica istotna, bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 1,3 razy.

Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

$$S_{PS} = 1034,1 + 0,42V \quad (11)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

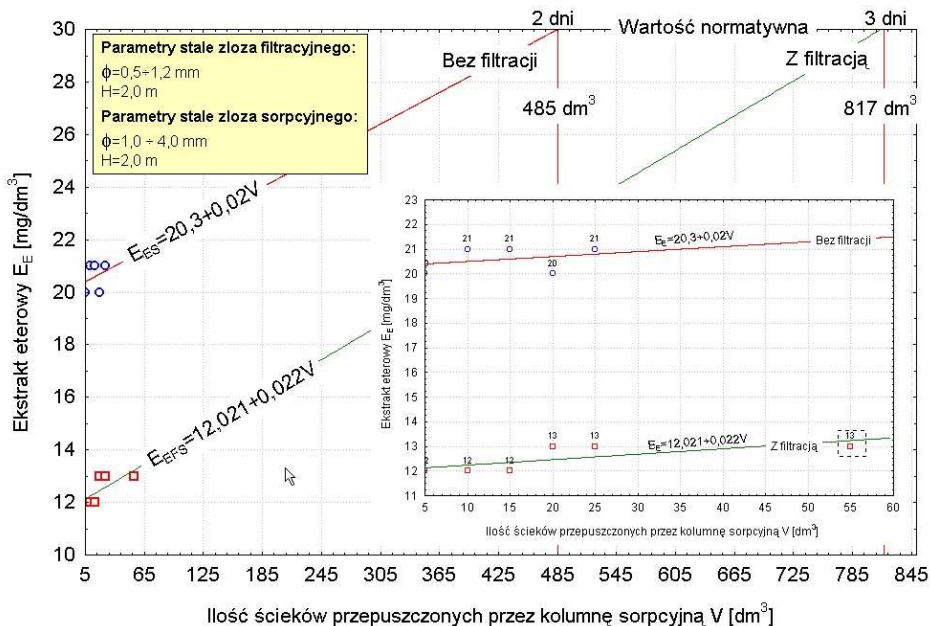
$$S_{PFS} = 661,763 + 0,426V \quad (12)$$

gdzie:

$V$  – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [ $\text{dm}^3$ ].

### 3.7. Ekstrakt eterowy $E_E$

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika ekstraktu eterowego  $E_E$ , zostały przedstawione na rysunku 7. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że bez poprzedzającej filtracji złoża sorpcyjne pracowało 2 dni do momentu osiągnięcia granicznej wartości wskaźnika ekstraktu eterowego  $E_E = 30 \text{ mg/dm}^3$  określonej jako dopuszczalna norma.



**Rys. 7.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną  $V$  [ $\text{dm}^3$ ] na wartość wskaźnika ekstraktu eterowego  $E_E$  [ $\text{mg/dm}^3$ ] w eluacie

**Fig. 7.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorption column  $V$  [ $\text{dm}^3$ ] influence on ether extract  $E_E$  index value [ $\text{mg/dm}^3$ ] in eluate

Natomiast przy zastosowaniu poprzedzającego sorpcje węzła filtracji tę wartość graniczną wskaźnika ekstraktu eterowego  $E_E=30 \text{ mg/dm}^3$  osiągnął eluat po 3 dniach. W praktyce biorąc w uproszczeniu, iż w analizowanym przedziale przebiegi zbliżone są do linii prostej można powiedzieć, że w odniesieniu do normatywnej wartości wskaźnika ekstraktu eterowego  $E_E=30 \text{ mg/dm}^3$  kolumna sorpcyjna będzie pracować około 4 dni bez poprzedzającego procesu filtracji i około 6 dni z poprzedzającym procesem filtracji – jest to różnica istotna, bowiem czas pracy kolumny został wydłużony o 1,5 razy.

Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

$$E_{ES} = 20,3 + 0,02V \quad (13)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$E_{EFS} = 12,021 + 0,022V \quad (14)$$

gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [ $\text{dm}^3$ ].

### 3.8. Ogólny węgiel organiczny OWO

Wyniki badań wpływu dawki ścieków nadanych na kolumnę sorpcyjną na wartość wskaźnika ogólnego węgla organicznego OWO zostały przedstawione na rysunku 8. Z przebiegu wykresów na tym rysunku widać, że w układzie bez poprzedzającej filtracji oraz w układzie z poprzedzającą filtracją złożo sorpcyjne nie osiągnie granicznej wartości wskaźnika ogólnego węgla organicznego  $OWO=30 \text{ mg/dm}^3$  określonej jako dopuszczalna norma. Określone przebiegi aproksymowano funkcją liniową, i tak utrata zdolności sorpcyjnej złoża bez poprzedzającej filtracji jest opisana równaniem:

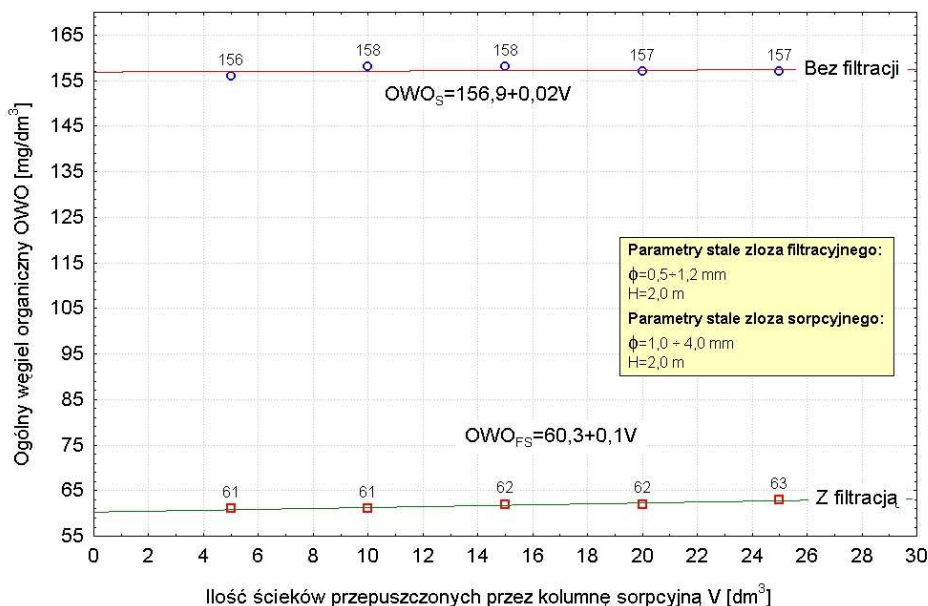
$$OWO_S = 156,9 + 0,02V \quad (15)$$

natomiast z procesem filtracji jest opisana równaniem:

$$OWO_{FS} = 60,3 + 0,1V \quad (16)$$

gdzie:

V – ilość ścieków przepuszczona przez kolumnę sorpcyjną [ $\text{dm}^3$ ].



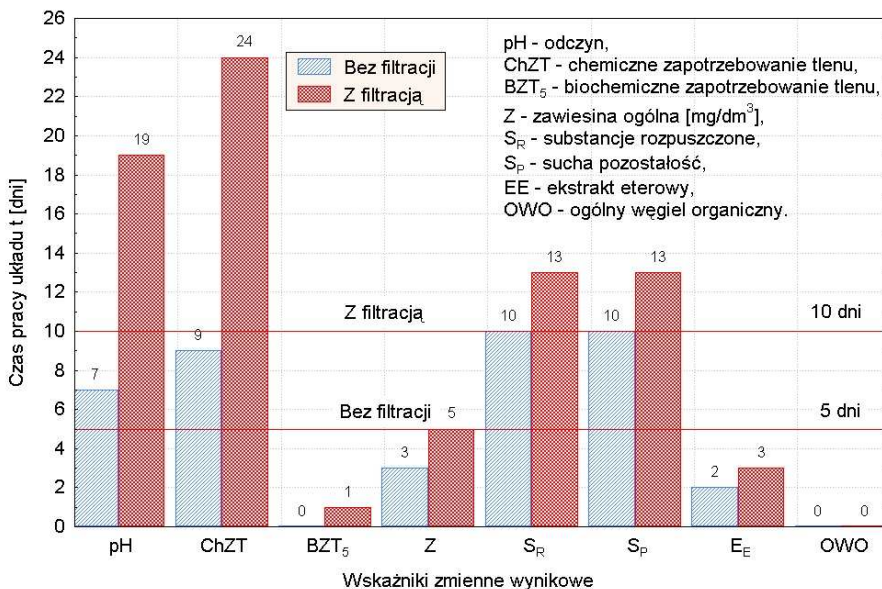
**Rys. 8.** Ekstrapolowany wykres wpływu ilości ścieków przepuszczonych przez kolumnę sorpcyjną V [dm<sup>3</sup>] na wartość wskaźnika ogólnego węgla organicznego OWO [mg/dm<sup>3</sup>] w eluacie

**Fig. 8.** Extrapolated chart of sewage volume passed through a sorptional column V [dm<sup>3</sup>] influence on total organic carbon TOC index value [mg/dm<sup>3</sup>] in eluate

### 3.9. Podsumowanie

Dla dogodnej możliwości porównania wydłużenia czasu pracy kolumny sorpcyjnej różnych badanych wskaźników zanieczyszczeń eluatu przedstawiono na rysunku 9 te wskaźniki w formie diagramu w odniesieniu do czasu pracy kolumny sorpcyjnej bez filtracji i z poprzedzającą filtracją. Analiza diagramu wskazuje, że największy pozytywny wpływ na wydłużenie efektywnej pracy kolumny sorpcyjnej z zastosowaniem procesu filtracji ma przede wszystkim obniżenie wartości zanieczyszczeń w odniesieniu do wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT.

Również wyraźne i istotne znaczenie ma zastosowanie węzła filtracji w odniesieniu do utrzymania normy w dłuższym czasie wartości odczynu pH. Natomiast dla pozostałych badanych zmiennych wpływ zastosowania węzła filtracji przed węzłem sorpcji jest mniejszy.



**Rys. 9.** Diagram czasu pracy układu t [dni] bez filtracji oraz z filtracją przy charakterystyce ścieku nadanego przedstawionego w tabeli 2

**Fig. 9.** Diagram of system working time t [days] without filtration and with filtration when sewage characteristics is as shown in Table 2

Jest sprawą oczywistą, że wartość wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT dla ogólnego efektu podczyszczania ścieków jest bardzo ważna, szczególnie w odniesieniu do faktu stosowania kolumny sorpcyjnej, której głównym zadaniem jest obniżanie tego wskaźnika.

Zatem, wydłużenie czasu pracy kolumny sorpcyjnej lub skracanie czasu pracy kolumny i jej częstsza wymiana głównie z powodu konieczności jak najdłuższego utrzymania w granicach normy, wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT musi być odniesiona do:

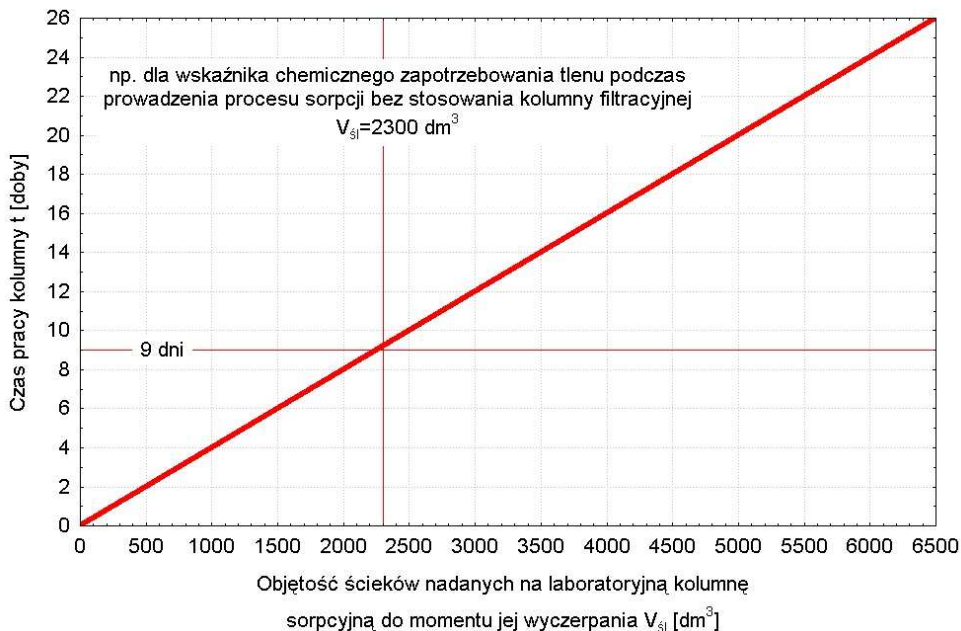
- kondycji finansowej danego zakładu,
- zgody na ewentualne uproszczenie technologiczne tj. pominięcie węzła filtracji,
- oceny kosztów inwestycyjnych oraz eksploatacyjnych wynikających z wprowadzeniem węzła filtracji.

Można przyjąć do tego typu szacunkowej analizy, co także wynika z obserwacji procesu filtracji tu prowadzonej w warunkach laboratoryjnych, że w przybliżeniu po czasie wyczerpania się złoża sorpcyjnego należało by równolegle wymienić współpracujące filtracyjne złożo piaskowe lub je zregenerować – przepłukując przeciwwądem pod ciśnieniem.



### 3.10. Praktyczne zastosowanie wyników badań

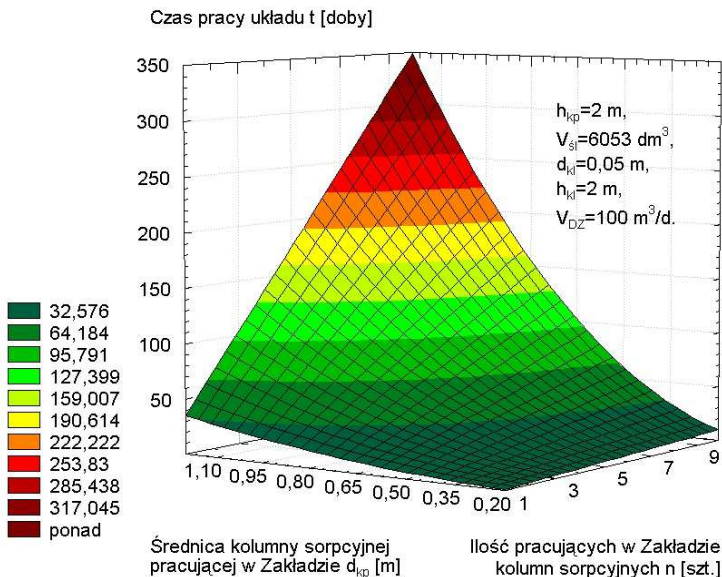
Celem praktycznego zastosowania wyników badań przeprowadzonych w ramach niniejszej publikacji, na rysunku 10 przedstawiono wpływ objętości ścieków nadanych na laboratoryjną kolumnę sorpcyjną do momentu jej wyczerpania na czas pracy kolumny w warunkach praktyczny podany w dobach. Taka kolumna zastosowana w praktyce w odniesieniu do Zakładu Przetwórstwa DREW na Polspan-Kronospan ma parametry: wysokość  $H=2$  m i średnice  $\phi=0,5$  m.



**Rys. 10.** Wykres wpływu objętości ścieków nadanych na laboratoryjną kolumnę sorpcyjną do momentu jej wyczerpania  $V_{sl}$  [ $dm^3$ ] na wartość czasu pracy kolumny  $t$  [doby]

**Fig. 10.** Chart of influence of sewage volume passed through a laboratory sorptional column until it is depleted  $V_{sl}$  [ $dm^3$ ] on column working time  $t$  [days]

W odniesieniu do tych badań opracowano program komputerowy przydatny do projektowania węzła sorpcji na węglu aktywnym ścieków poddanych wcześniej koagulacji wodorotlenkiem wapnia  $Ca(OH)_2$ , zdekantowanych a następnie podanych na złoże filtracyjne a dopiero filtrat podany jest na złoże sorpcyjne.



**Rys. 11.** Wykres wpływu ilości  $n$  [szt] oraz średnicy  $d_{kp}$  [m] pracujących w Zakładzie kolumn sorpcyjnych na wartość czasu pracy kolumny  $t$  [doby]

**Fig. 11.** Chart of influence of amount  $n$  [units] and diameter  $d_{kp}$  [m] sorptional columns working in the Plant on column working time value  $t$  [days]

Czas pracy kolumn sorpcyjnych  $t$  [doby] można wyliczyć z ogólnego równania, które otrzymano z równań bilansu przepływu i proporcji w odniesieniu do warunków prób laboratoryjnych i pracy konkretnej kolumny w warunkach przemysłowych:

$$t = \frac{n \cdot d_{kp}^2 \cdot h_{kp} \cdot V_{sl}}{1000 \cdot d_{kl}^2 \cdot h_{kl} \cdot V_{DZ}} [\text{doby}] \quad (17)$$

gdzie:

$n$  – ilość pracujących w Zakładzie kolumn sorpcyjnych [szt],

$d_{kp}$  – średnica kolumny sorpcyjnej pracującej w Zakładzie [m],

$h_{kp}$  – wysokość kolumny sorpcyjnej pracującej w Zakładzie [m],

$V_{sl}$  – objętości ścieków nadanych na laboratoryjną kolumnę sorpcyjną do momentu jej wyczerpania [ $\text{dm}^3$ ],

$d_{kl}$  – średnica kolumny sorpcyjnej pracującej w laboratorium [m],

$h_{kl}$  – wysokość kolumny sorpcyjnej pracującej w laboratorium [m],

$V_{DZ}$  – objętość ścieków poprodukcyjnych powstałych w Zakładzie w ciągu doby [ $\text{m}^3/\text{d}$ ].

Zwraca się uwagę, że opracowany wzór [17] i program komputerowy jest o tyle uniwersalny, iż można go stosować dla układu bez procesu filtracji poprzedzającego sorpcję. W tym przypadku przykładowo dla wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT nie wprowadza się do równania wartości początkowej  $V_{s1}=6053 \text{ dm}^3$  (tj z filtracją) lecz wartość  $V_{s1}=2300 \text{ dm}^3$  (tj. bez filtracji) – patrz rysunek 2, 10 i 11. Podobnie należy postąpić dla pozostałych wskaźników wynikowych.

#### 4. Wnioski

Z przeprowadzonych wyników badań oraz ich analizy można przedstawić pewne ogólne wnioski:

1. Oczyszczanie ścieków, poprzez wprowadzanie ich na kolumnę sorpcyjną w danym układzie obiegu wodno-ściekowego w przypadku gdy, taki ściek zdekantowany po koagulacji zawiera zawiesiny ogólnej około  $1276 \text{ mg/dm}^3$  powinno być poprzedzone węzłem filtracji, gdyż ze względu na podstawowy wskaźnik tj. chemiczne zapotrzebowanie tlenu ChZT a także odczyn pH wydłuża czas pracy takiej kolumny sorpcyjnej o około 2,7 razy.
2. Wpływ zastosowania złoża filtracyjnego poprzedzającego kolumnę sorpcyjną jest różny dla różnych wskaźników zanieczyszczenia eluatu po procesie sorpcji w aspekcie wydłużenia realnego efektywnego czasu pracy kolumny sorpcyjnej.
3. Wprowadzanie węzła filtracji przed procesem sorpcji powoduje jednak pewne dodatkowe problemy natury technicznej i zwiększa koszty nie tylko inwestycyjne, (które nie są tu znacznie) lecz zwiększa koszty głównie eksploatacyjne obiegu, związane z tym węzłem.

#### Literatura

1. **Anielak A. M.:** „Chemiczne i fizyko-chemiczne oczyszczanie ścieków”, PWN – Warszawa 2000,
2. **Bartkiewicz B.:** „Ścieki przemysłowe”, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, 1993,
3. **Battaglia A.:** „Odwadnianie produktów wzbogacania i obiegi wodne płuczek”, Wydawnictwo Górnictwo-Hutnicze, Katowice 1963,
4. **Piecuch T.:** „A Theoretical Study of the Process Of Gravitational Filtration With Information on Present Problems of Water and Wastes Economy”, Monography, Polish Association of Friends of Science on The Earth, Częstochowa, May 1984,
5. **Piekarski J.:** „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących z produkcji płyt wiórowych”, Praca doktorska, Warszawa, czerwiec 2000,
6. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 05.11.91 w sprawie klasyfikacji wód oraz warunków, jakim powinny odpowiadać ścieki wprowadzane do wód i do ziemi. Dz. U. nr 116, poz. 503.

## Practical Aspects of Extending Working Time of Sorptional Column without Assist and with Assist of Preceding Filtration Bed

### Abstract

Sorptional beds of active carbons are often trouble nodes of water sewage cycles of industrial plants. Designer of water sewage cycle, in consultation with investor, has a question: to extend efficient usage period of a column by application of additional node – gravitational filtration, which precedes sorption node.

This paper should answer this question taking as an example of existing industrial wastewater from Chip Washing Division of POLSPAN-KRONO-SPAN Wood Processing Plant in Szczecinek.

Post-production raw wastewater coming from Chip Washing Division, which technological characteristics is given in the Table 1, at first was treated using coagulation process and then gravitational sedimentation process. In the next step there were to variants of further treatment of sedimentation water after coagulation and sedimentation processes. Namely:

- variant I – decanted water was moved directly to the sorption node – Table 2
- variant II – decanted water was at first passed through gravitational filtration bed made of sand – Table 2.

With reference to the research a computer programme was developed. This programme may be useful in designing node of sorption on active carbon of wastewater treated earlier using coagulation with calcium hydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , decanted and then directed to the filtration bed and only then filtrate is directed to the sorption bed.

Analysing results of the research following conclusions may be drawn:

1. Wastewater treatment on sorptional column in the given water sewage cycle system, in case when after coagulation wastewater contains about  $1276 \text{ mg/dm}^3$  of total suspension, should be preceded by filtration node, because taking into consideration COD and pH it extends column working time about 2.7 times.
2. Influence of a filtration bed preceding sorptional column is different for different eluate pollution indexes after sorption process in the aspect of extending real effective sorptional column working time.
3. Introduction of filtration node before sorption process causes additional technical problems and increases investment costs as well as exploitation costs of the cycle.