



# Wykorzystanie ziarnistego węgla aktywnego do oczyszczania ścieków poprodukcyjnych przemysłu przetwórstwa drewna

## Application of granular active carbon in purification of post-production effluents in timber processing industry

Jacek PIEKARSKI <sup>1)</sup>, Tadeusz PIECUCH <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dr inż.; Politechnika Koszalińska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów; ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin; tel.: (+94) 3478 528, fax: (+94) 342 76 52; e-mail: jacek@tu.koszalin.pl

<sup>2)</sup> Prof. dr hab. inż.; Politechnika Koszalińska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Techniki Wodno-Mułowej i Utylizacji Odpadów; ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin; tel.: (+94) 3478 525, fax: (+94) 342 76 52; e-mail: piecuch@tu.koszalin.pl

RECENZENCI: dr. hab. Stanisława SANAK-RYDLEWSKA, prof. AGH; ass. prof. dr Ljudmilla BOKÁNYI Ph.D., C.Sc.

### Streszczenie

Węgle aktywne otrzymuje się z surowca organicznego takiego jak materiał drzewny czyli drewno, trociny, odpady przemysłu papierniczego oraz najczęściej surowca organicznego tworzącego kopaliny użyteczne takie jak torf, węgiel brunatny i kamienny oraz antracyt. Wytwarzanie węgla aktywnego polega na poddaniu surowca obróbce cieplnej bez dostępu powietrza czyli tzw. pirolizie w skutek czego uchodzą z niego części lotne a pozostałość substancji węglowej poddaje się obróbce poprzez aktywację gazem lub obróbce chemicznej. W ten sposób otrzymany wysoce porowaty węgiel aktywny tworzący złożę sorpcyjno-filtracyjne jest dobrym sorbentem zanieczyszczeń i stosowany jest w obiegach wodno-mułowych wielu zakładach przemysłowych jako najczęściej ostatni węzeł takiego obiegu. W publikacji przedstawiono wyniki badań podczyszczania ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna na węglu aktywnym określając jakość oczyszczania ścieków zawieszinowych poprodukcyjnych w funkcji wysokości złoża oraz średnicy ziarn węgla aktywnego. Proces opisano równaniami analityczno-empirycznymi.

### Summary

Activated carbons are produced using organic materials such as timber, sawdust, wastes from paper industry as well as organic useful minerals such as peat, brown and hard coal and anthracite. Production of activated carbon consists in thermal processing of the material without air, that is so called pyrolysis process, in which volatile parts are removed. Remaining carbon substance is activated using gas or goes through chemical activation. Obtained highly porous activated carbon in form of sorption and filtration bed is a good sorbent of contaminants and is used in water-slime cycles of many industrial plants mostly as the last node of the cycle. This paper presents results of research on pretreatment of wastewater from timber processing using activated carbon, describing quality of treatment in function of bed height and grain diameter of activated carbon. Process is described by analytical-empirical equations.

### 1. Wstęp

W większości zakładów przetwórstwa drewna zlokalizowanych na Pomorzu Środkowym nie istnieje prawidłowo rozwiązana gospodarka wodno-ściekowa. W jednym z większych zakładów tego typu, ścieki powstałe w tzw. Myjce Zrębów, w ilości około 100 m<sup>3</sup>/d transportowano do zbiornika znajdującego się w pobliżu hali produkcyjnej, a dalej przy pomocy układu pompowego na hałdę niezabezpieczonych od strony podłoża odpadów stałych. Fakt ten tłumaczono koniecznością ograniczenia pylenia drobnymi frakcjami drzewnymi pobliskich gruntów rolnych oraz miasta. W okresie letnim sucha hałda pochłaniała większą ilość ścieków poprodukcyjnych, a niżeli w czasie dużej wilgotności (jesień, zima, wiosna), kiedy to następowało zalewanie ulicy sąsiadującej z zakładem.

### 1. Introduction

In majority of timber processing plants located in the Middle Pomerania there is no proper solution of the water supply and sewage disposal issue in place. In one of the biggest plants the effluents produced in the so-called Chip Washing Station in amount of approx. 100 m<sup>3</sup>/d were being transported to a tank located near the production hall and then, via a pumping system, onto a heap of solid waste not protected at its bed. This was justified by the necessity to limit dusting caused by fine timber fractions of the nearby arable land and the city. In the summertime the dry heap could absorb more post-production effluents than in any high humidity period (autumn, winter, spring) when a nearby street was flooded.

Badania wpływu odcieku z tego typu hałdy na jakość wód gruntowych oraz opracowanie uniwersalnej technologii podczyszczania tego typu ścieków (rysunek 1), wykonano w ubiegłych latach w Katedrze Technologii Wody, Ścieków i Odpadów Politechniki Koszalińskiej [13, 14, 17].

Istnieje szereg metod unieszkodliwiania tego typu ścieków, które ogólnie można podzielić na mechaniczne, chemiczne, biologiczne oraz metody będące ich kompilacją [18].

W niniejszej publikacji przedstawiono wyniki badań podczyszczania ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna w procesie sorpcji. Wykonano badania wpływu wysokości oraz średniej wielkości frakcji ziarnowej węgla aktywnego na najczęściej spotykane wskaźniki zmienne wynikowe. Na podstawie wyników badań sformułowano końcowe aproksymacyjne równania matematyczne analityczno-empiryczne metodą punktu centralnego [11, 12]. Następnie wykonano weryfikację praktyczną (statystyczną) otrzymanych równań w skali laboratoryjnej oraz ułamkowo-technicznej.

## 2. Charakterystyka ścieku użytego do badań

Ścieki surowe cechuje barwa szaro-brązowo-mleczna, jak również zapach kwasów żywicznych i związków terpenowych. Obciążone są dużą ilością zawiesiny organicznej oraz mineralnej – łatwo opadającej oraz koloidalnej, mającej wpływ na wielkość wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu oraz biochemicznego zapotrzebowania tlenu – tablica 1 [7]. Iloraz chemicznego zapotrzebowania tlenu i biochemicznego zapotrzebowania tlenu będący wykładnikiem podatności substancji organicznej zawartej w ściekach na procesy biodegradacji [3], wynosi około 2,56. Oznacza to, że ścieki tego typu są słabo podatne na procesy biodegradacji [8, 9].

Ścieki surowe charakteryzuje stabilność ładunku zanieczyszczeń, wynikająca z automatyzacji procesu mycia zrębków, stanowiących określonej wielkości wióry oraz włókna drzewne. Ścieki poprodukcyjne wprowadzane są do zbiornika buforowego, w którym ulegają uśrednieniu poprzez naturalną turbulencję. Przed pobraniem każdej próby (po wypełnieniu zbiornika) ścieki dodatkowo mieszano przy pomocy pompy wirowej. Każda pobrana próba była analizowana, a otrzymane wartości będące średnią arytmetyczną przedstawiono w tablicy 1.

Opracowany układ technologiczny, przedstawiony na rysunku 1 w formie schematu blokowego umożliwia oczyszczenie badanych ścieków. Ścieki surowe kieruje się do pierwszego węzła technologicznego, w którym wykonuje się proces koagulacji. Wykorzystano trzy różne, najczęściej spotykane

The influence of leachate from such heap on ground waters quality and development of a universal technology for pre-treatment of such effluents (Figure 1), was investigated in the recent years at the Chair of Water, Effluent and Waste Disposal Technology Technical University of Koszalin [13, 14, 17].

There is a number of disposal methods for the treatment of such effluents, which can generally be divided into mechanical, chemical and biological methods as well as those being a compilation thereof [18].

This paper deals with the results of the chemical pre-treatment of effluents coming from timber processing by a sorption process. Influence of the height and average size of granular active carbon on the most frequently occurring resultant variable indicators has been tested. Based on the test results the final approximation analytic-empirical mathematical equations were formulated through the application of the central point method [11, 12]. Then practical (statistical) verification of the equations was carried-out in the laboratory and semi-commercial scale facility.

## 2. Characteristic features of tested effluent

The raw effluent is grey-brown-milky in colour, rendering resin acids and terpene compounds smell. The effluents contain huge amount of organic and mineral suspended solids both easily settling and colloidal that affect the chemical and biochemical oxygen demand values – see Table 1 [7]. The chemical and biochemical oxygen demand ratio, that is an exponent of effluent-contained organic substance susceptibility to biodegradation [3], is approx. 2.56 and that means that such effluents are not very susceptible to biodegradation [8, 9].

The raw effluents feature stable impurity load, which results from chip washing process automation; the chips are composed of a particular size timber shavings and fibres. The post-production effluents were fed to a buffer tank where they were blended through a natural turbulence. Before each sample was taken (following tank filling) the effluents were additionally stirred with help of an impeller pump. Each sample taken was then analysed and the values obtained being an arithmetic mean, are shown in Table 1.

The technological system developed and shown at Figure 1 as a block diagram allows the purification of the effluents. The raw effluents were fed to the first technological station where the process of coagulation was performed. Three different, most frequently used coagulants were applied, namely calcium hydroxide  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , aluminium sulphate  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  and ferric chloride  $\text{FeCl}_3$ . Single and simultaneous

koagulanty tj.: wodorotlenek wapnia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , siarczan glinowy  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  oraz chlorek żelazowy  $\text{FeCl}_3$ . Wykonano badania wpływu pojedynczego oraz równoczesnego dozowania zastosowanych odczynników. Wykorzystano układ bloków kompletnie zrandomizowanych w czynnikowej analizie wariancyjnej oraz sformułowano końcowe aproksymacyjne równania matematyczne analityczno-empiryczne metodą punktu centralnego [11, 12]. Najbardziej skutecznym odczynnikiem chemicznym odnośnie jakościowej obniżki rozpatrywanych wskaźników zmiennych wynikowych jest wodorotlenek wapnia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  w ilości  $2,0 \text{ g/dm}^3$  przy temperaturze początkowej ścieków kierowanych do procesu koagulacji równej  $293\text{K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) – tablica 1.

addition of the reagents was tested. Fully randomised block systems were applied in the factorial variance analysis and final approximation analytic-empirical mathematical equations with the application of the central point method [11, 12] were formulated. The most effective reagent, as far as qualitative reduction of the resultant variable indicators in question is concerned, is calcium hydroxide in amount of  $2.0 \text{ g/dm}^3$  at initial temperature of the effluents fed to the coagulation process being  $293\text{K}$  ( $20^\circ\text{C}$ ) – see Table 1.

Tablica 1

Wyniki badań wpływu zmian wysokości złoża sorpcyjnego  $H$  [m] oraz średniej wielkości frakcji ziarnowej  $\phi$  [mm] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w eluacie

Table 1

Results of influence of the sorption bed height [m] and average size of granular fraction  $\phi$  [mm] on change of principal indicator values in the eluate

Pos. Lp.	Independent variables Zmienne niezależne	Value Wartość	Resultant variables*** Zmienne wynikowe***							
			pH ( $y_1$ ) [-]	ChOD ChZT <sub>Cr</sub> ( $y_2$ ) [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	BOD <sub>5</sub> BZT <sub>5</sub> ( $y_3$ ) [mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	S Z ( $y_4$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	M <sub>D</sub> S <sub>R</sub> ( $y_5$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	T <sub>S</sub> S <sub>P</sub> ( $y_6$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	E <sub>E</sub> ( $y_7$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]	TOC OWO ( $y_8$ ) [mg/dm <sup>3</sup> ]
1	Raw effluents Ścieki surowe		5.7	12300	4800	23520	2830	26350	426	14830
2	Calcium hydroxide coagulation Koagulacja wodorotlenkiem wapnia		12.30	1604	580	1276	2780	4056	320	1400
3	Bed height Wysokość złoża H [m] ( $f = \text{const} = 2.5 \text{ mm}$ )	0.50	11.50	268	230	94	2010	2104	215	544
4		1.00	10.50	109	101	44	1500	1544	70	315
5		1.50	9.00	98	40	35	1010	1045	30	180
6		2.00	8.98	97	30	34	1000	1034	20	156
7	Granular fraction Frakcja ziarnowa f [mm] ( $H = \text{const} = 2.0 \text{ m}$ )	2.50	8.98	97	30	34	1000	1034	20	156
8		6.00	9.61	162	70	48	1210	1258	58	325
9		14.00	10.20	184	105	90	2420	2510	110	544
10	Facility**** Urządzenie****		8.93	85.5	25.5	38	1230	1268	29.5	122
11	Standard values* Norma*		6.5÷9.0	150	30	50	2000	2050	30	40
12	Standard values** Norma**		6.5÷9.0	350	200	150	1200	1350	40	40

(\*) – 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.

(\*\*) – Umowa z Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji na dostawę wody i odprowadzanie ścieków do kanalizacji miejskiej nr 19/95 z dnia 09.06.95 r.

(\*\*\*) – Zmienne wynikowe: pH- odczyn, ChZT<sub>Cr</sub> – chemiczne zapotrzebowanie tlenu, BZT<sub>5</sub> - biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, Z – zawiesina ogólna, S<sub>R</sub> – substancje rozpuszczone, S<sub>P</sub> – sucha pozostałość, E<sub>E</sub> – ekstrakt eterowy, OWO – ogólny węgiel organiczny.

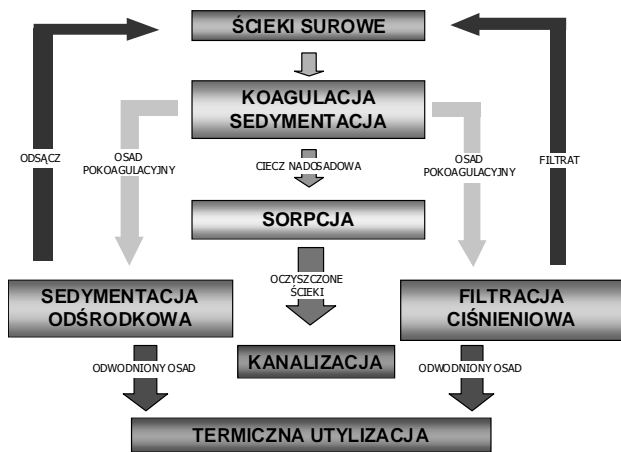
(\*\*\*\*) – Wartości otrzymane w urządzeniu typu filtrorobent wykonanym w skali ułamkowo-technicznej

(\*) – Ordinance by the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry dated 5 November 1991 regarding classification of water and conditions to be met by effluents discharged to waters and ground. Official Journal of Laws No 116, Section 503

(\*\*) – Contract made with the Water Supply and Sewerage Company for delivery of water and discharge of effluents to municipal sewerage system No 19/95 dated 9 June 1995.

(\*\*\*) – Resultant variables: pH- reaction, ChOD – chemical oxygen demand, BOD<sub>5</sub> – biochemical oxygen demand, S – total suspension, M<sub>D</sub> – dissolved matter, T<sub>S</sub> – total solids, E<sub>E</sub> – ether extract, TOC – total organic carbon.

(\*\*\*\*) – Values obtained in filtrorobent facility made in a semi-commercial scale



Rys. 1  
Schemat blokowy układu technologicznego oczyszczania ścieków i utylizacji odpadów poprodukcyjnych z zakładu przetwórstwa drewna [18]

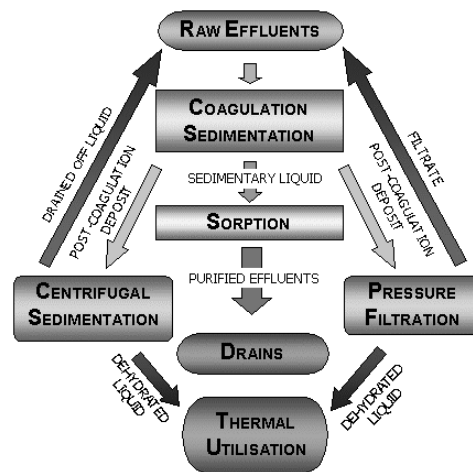


Fig. 1  
Block diagram of effluent purification and post-production waste utilisation at the timber processing plant [18]

### 3. Metoda prowadzenia badań

Parametrami zmiennymi niezależnymi w badanym procesie sorpcji były: wysokość złoża  $H$  [m] ( $x_1$ ) oraz średnia wielkość frakcji ziarnowej węgla aktywnego  $\phi$  [mm] ( $x_2$ ). Parametrami zmiennymi wynikowymi były: odczyn  $pH$  [–] ( $y_1$ ), chemiczne zapotrzebowanie tlenu  $ChZT_{Cr}$  [ $mg\ O_2/dm^3$ ] ( $y_2$ ), biochemiczne zapotrzebowanie tlenu  $BZT_5$  [ $mg\ O_2/dm^3$ ] ( $y_3$ ), zawiesina ogólna  $Z$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_4$ ), substancje rozpuszczone  $S_R$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_5$ ), sucha pozostałość  $S_P$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_6$ ), ekstrakt eterowy  $E_E$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_7$ ) oraz ogólny węgiel organiczny  $OWO$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_8$ ).

W pierwszej serii badań parametrem niezależnym stałym była średnia wielkość frakcji ziarnowej węgla aktywnego  $\phi$  [mm] wynosząca 2,5 mm (wartość ta stanowiła jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Pierwszy rozpatrywany parametr zmienny niezależny ( $x_1$ ) tj. wysokość złożeń  $H$  [m] zmieniano w przedziale od 0,00 do 2,00 m, ze stopniowaniem, co 0,5 m. Umożliwiło to dokładne zaobserwowanie i następnie odzwierciedlenie zmian parametrów zmiennych wynikowych ( $y_1 \div y_8$ ) w postaci równań matematycznych analityczno-empirycznych metodą punktu centralnego [11, 12].

W drugiej serii badań parametrem stałym niezależnym była wysokość złożeń  $H$  [m] wynosząca 2,0 m (wartość ta stanowiła jednocześnie centralny punkt aproksymacji). Drugi rozpatrywany parametr zmienny niezależny ( $x_2$ ) tj. frakcję ziarnową węgla aktywnego  $\phi$  [mm] zmieniano w przedziale od 2,5 do 14,0 mm.

Proces sorpcji prowadzony był z wykorzystaniem szklanej kolumny – rysunek 2, o średnicy 12 cm, wypełnionej w zależności od etapu prowadzonych badań – węglem aktywnym o różnym uziarnieniu i wysokości złoża.

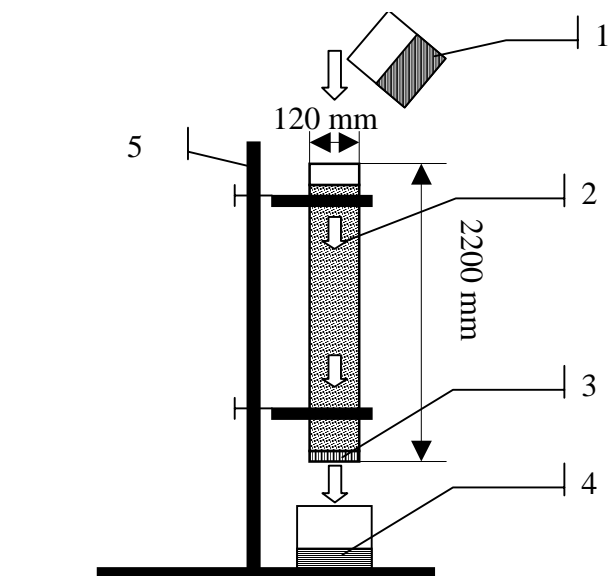
### 3. Research work methodology

The independent variable parameters in the sorption process under investigation were: bed height  $H$  [m] ( $x_1$ ) and average size of the active carbon granular fraction  $\phi$  [mm] ( $x_2$ ). The resultant variable parameters were: reaction  $pH$  [–] ( $y_1$ ), chemical oxygen demand  $ChOD$  [ $mg\ O_2/dm^3$ ] ( $y_2$ ), biochemical oxygen demand  $BOD_5$  [ $mg\ O_2/dm^3$ ] ( $y_3$ ), total suspension  $S$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_4$ ), dissolved matter  $M_D$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_5$ ), total solids  $T_S$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_6$ ), ether extract  $EE$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_7$ ) and total organic carbon  $TOC$  [ $mg/dm^3$ ] ( $y_8$ ).

In the first series of the tests the constant independent parameter was the average size of granular active carbon  $\phi$  [mm] being 2.5 mm (the value was, also, the central point of approximation). The first independent variable parameter under consideration ( $x_1$ ) i.e. the bed height [m] was being changed within the range of 0.00 ÷ 2.00 m in 0.5 m increments. This allowed the fairly accurate observation and then reflection of changes in the resultant variable parameters ( $y_1 \div y_8$ ) in the form of analytic-empirical mathematical equations with the application of the central point method [11, 12].

In the second series of tests the constant independent parameter was the bed height  $H$  [m] being 2.0 m (also this value was the central point of approximation). The second variable independent parameter under consideration ( $x_2$ ) i.e. the average size of granular active carbon  $\phi$  [mm] was being changed within the range of 2.5 ÷ 14.0 mm.

The sorption process was carried out in a glass column, see Figure 2, featuring 12 cm in diameter, filled, depending on the stage of the tests performed, with active carbon featuring various granulation and bed height.



Rys. 2

Schemat laboratoryjnego układu do badania procesu sorpcji: 1 – nadawa do procesu sorpcji, 2 – szklana kolumna sorpcyjna, 3 – warstwa podtrzymująca złożę sorpcyjne, 4 – eluat, 5 – stacyw

Fig. 2

Diagram of laboratory system for the testing of sorption process: 1 – input material for the sorption process, 2 – glass sorption column, 3 – sorption bed support layer, 4 – eluate, 5 – support structure

Pomiar badanych wskaźników zmiennych wynikowych wykonano po uzyskaniu eluatu w ilości  $5,00 \text{ dm}^3$ . Każde doświadczenie wykonano na świeżym wsadzie węgla aktywnego. Wszystkie otrzymane wyniki, ich analizę i opis równaniami matematycznymi analityczno-empirycznymi należy odnieść do takich właśnie warunków.

Ilość zawiesiny ogólnej w ścieku podanym do procesu sorpcji, a uprzednio poddanym procesowi koagulacji i sedimentacji grawitacyjnej – wynosi około  $1276 \text{ mg/dm}^3$  – co nie jest wartością małą – tabela 1. Dla dobrze i w miarę długo pracującej kolumny sorpcyjnej wartość ta powinna być wyraźnie mniejsza. Dlatego proces sorpcji stanowiącej węzeł układu technologicznego podczyszczania ścieków (rysunek 1) jest filtrosorpcją. Filtrosorbentem nazwano zbudowane dla sprawdzenia rezultatów badań laboratoryjnych i dokładności stosowania równań empirycznych, większe urządzenie w skali ułamkowo technicznej. W pierwszym węźle technologicznym (rysunek 1) podczas koagulacji i następnie sedimentacji grawitacyjnej uzyskano obniżenie ładunku zawiesiny w ściekach surowych z wartości około  $23520 \text{ mg/dm}^3$  do wartości około  $1276 \text{ mg/dm}^3$  – tabela 1, a to oznacza spadek ponad 18,4 razy. Oczywiście, nawet przy wartości zawiesiny ogólnej około  $1276 \text{ mg/dm}^3$  zawartej w ściekach do procesu filtrosorpcji należy liczyć się z tym, iż czas efektywnej sorpcji będzie krótszy a niżeli wówczas, gdyby ta wartość była wyraźnie niższa (np. około  $300 \text{ mg/dm}^3$ ). Zatem, wymiana sorbentu w tym układzie musi być częstsza [2]. Gdyby przed kolumnę

The measurement of the resultant variable indicators under investigation was done when  $5.00 \text{ dm}^3$  of eluate was obtained. Each experiment was carried out with a fresh batch of the active carbon. All the results obtained, analysis thereof and description with analytic-empirical mathematical equations had to be related to such conditions.

The quantity of total suspension in the effluent fed to the sorption process, being initially subjected to the processes of coagulation and gravity sedimentation, was approx.  $1276 \text{ mg/dm}^3$ , which is not a small value – see Table 1. This value should be clearly lower for a good and fairly long operating sorption column. Therefore, the sorption process being a station in the effluents pre-treatment technological system (Figure 1) is a filtering-sorption process. The bigger facility made in the semi-commercial scale for checking the laboratory test results and empirical equation application accuracy has been called a filtrosorbent. In the first technological station (Figure 1) the suspension load in raw effluents was reduced during coagulation, followed by gravity sedimentation, from approx.  $23520 \text{ mg/dm}^3$  down to approx.  $1276 \text{ mg/dm}^3$  – see Table 1, and this means 18.4 – fold reduction. Of course even for total suspension content in the effluent fed to the filtration-sorption process of approx.  $1276 \text{ mg/dm}^3$  it must be taken into account that the effective sorption time will be shorter than if the value were clearly lower (e.g. approx.  $300 \text{ mg/dm}^3$ ). Therefore, the sorbent must be more frequently replaced in this system [2]. If a sand gravity filter were introduced before

sorpcyjną wprowadzić piaskowy filtr grawitacyjny (złożowy), to wydłużenie czasu pracy kolumny sorpcyjnej będzie wyraźne i różne dla różnych wskaźników składu zanieczyszczeń [2]. Przykładowo czas pracy kolumny sorpcyjnej najbardziej wydłuży się dla wskaźnika chemicznego zapotrzebowania tlenu ChZT – aż o około 2,7 razy (tu z wymiany sorbentu po 9 dniach na wymianę po około 27 dniach). Dla wskaźnika substancji rozpuszczonych tylko o około 1,3 razy (tu z wymiany sorbentu po 10 dniach na wymianę po około 13 dniach) [2].

Wprowadzenie dodatkowego węzła filtracji przed procesem sorpcji – rysunek 1, spowoduje dodatkowe problemy natury technicznej (urządzenie okresowego działania). Zwiększy nie tylko koszty inwestycyjne (które nie są tu znaczne) lecz zwiększy głównie koszty eksploatacyjne obiegu. Ilość ścieków poprodukcyjnych nie jest na tyle duża (rzędu 100 m<sup>3</sup>/d), aby można było się obawiać częstszej wymiany sorbentu w relacji zwiększenia kosztów eksploatacyjnych. Ważniejsza jest tu zasada – jak najmniej problemów technicznej obsługi układu technologicznego.

#### 4. Opis i analiza wyników badań

##### Wysokość złoża sorpcyjnego

Wyniki badań wpływu zmian wysokości złoża sorpcyjnego  $H$  [m] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w eluacie przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunku 3.

Opis wykresu:		
Reaction (pH) ( $y_1$ )	Odczyn (pH)	
Chemical oxygen demand (ChOD) ( $y_2$ )	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT <sub>Cr</sub> )	
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> ) ( $y_3$ )	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT <sub>5</sub> )	
Total suspension (S) ( $y_4$ )	Zawiesina ogólna (Z)	
Dissolved matter (M <sub>D</sub> ) ( $y_5$ )	Substancje rozpuszczone (S <sub>R</sub> )	
Total solids (T <sub>S</sub> ) ( $y_6$ )	Sucha pozostałość (S <sub>P</sub> )	
Ether extract (E <sub>E</sub> ) ( $y_7$ )	Ekstrakt eterowy (E <sub>E</sub> )	
Total organic carbon (TOC) ( $y_8$ )	Ogólny węgiel organiczny (OWO)	
Lab column height	Wysokość kolumny laboratoryjnej	

Rys. 3

Diagram procentowej obniżki wartości podstawowych wskaźników chemicznych po koagulacji wodorotlenkiem wapnia i sorpcji w kolumnie o różnej wysokości złoża węgla aktywnego ziarnistego ścieków z przetwórstwa drewna

the sorption column, then the sorption column operating time would be clearly longer and different for various impurity indicators [2]. For example, the sorption column operation time would be the most extended for the chemical oxygen demand ChOD, namely 2.7 fold (i.e. from sorbent replacement after 9 days to replacement after 27 days). For the dissolved matter – only by 1.3 – fold (i.e. from sorbent replacement after 10 days to replacement after 13 days) [2].

Introduction of an additional filtration station before the sorption process, see Figure 1, will cause additional technical problems (it's a periodic operation facility). This will increase not only the investment costs (which are not very high in this case) but chiefly the operational costs of the circulation too. The post-production effluent quantity is not as high (approx. 100 m<sup>3</sup>/d) as to be concerned with more frequent sorbent replacement in relation to operational costs increasing. The principle that the fewer the technical problems in technological system operation the better, is more important here.

#### 4. Description and analysis of the results

##### Sorption bed height

The results concerning influence of the sorption bed height  $H$  [m] change influence on the change of main indicators in the eluate are shown in Table 1 and Figure 3.

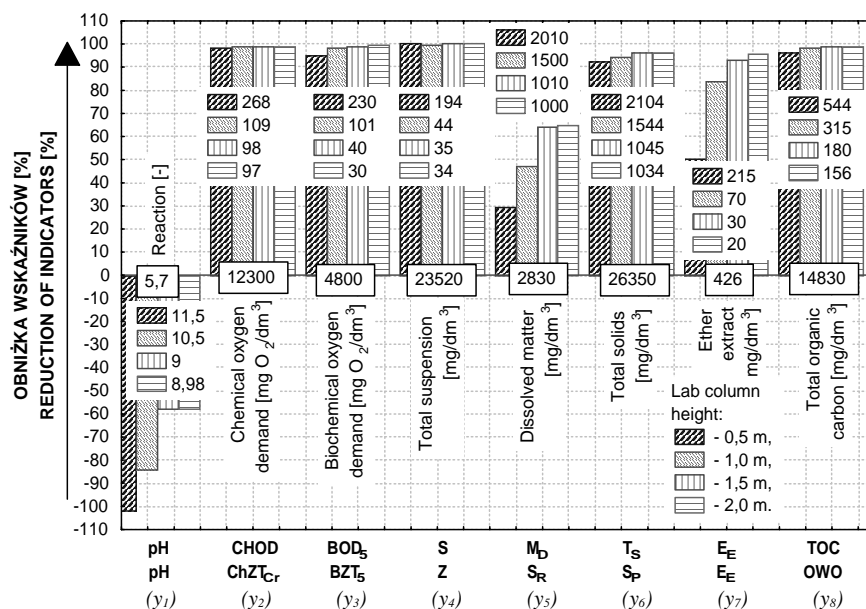


Fig. 3

Diagram showing reduction of principal chemical indicators following coagulation of post-timber processing effluent with calcium hydroxide and sorption in a column featuring various height of granular active carbon bed

Skuteczność oczyszczania ścieków metodą sorpcji na węglu aktywnym ziarnistym zależy od właściwości fizyczno-chemicznych węgla aktywnego, ilości i jakości zanieczyszczeń oraz parametrów przepływu [1]. Należy zwrócić uwagę na odpowiednie przygotowanie oczyszczanego medium, polegające na usunięciu zawiesin, co w niniejszej pracy ma miejsce podczas koagulacji w pierwszym węźle technologicznym.

Analiza wyników badań wskazuje, że w rozpatrywanym węźle technologicznym zmiana pierwszej zmiennej niezależnej ( $x_1$ ) tzn. wysokości złoża  $H$  w przedziale od 0,00 m do 2,00 m powoduje obniżenie wartości o około 90% już po przejściu przez złożo węgla aktywnego ziarnistego o wysokości 0,5 m, wskaźników takich jak: chemiczne zapotrzebowanie tlenu, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, zawiesina ogólna, sucha pozostałość oraz ogólny węgiel organiczny. Tylko w przypadku dwóch wskaźników osiągnięto wartość normatywnie umowną (chemiczne zapotrzebowanie tlenu oraz zawiesina ogólna) – tablica 1. Najlepsze rezultaty jakościowe odnośnie obniżki rozpatrywanych parametrów zmiennych wynikowych, uzyskano stosując kolumnę z węgla aktywnego ziarnistego o wysokości wynoszącej 2,00 m. Wartości normatywne otrzymano dla wszystkich wskaźników, za wyjątkiem całkowitego węgla organicznego, który osiągnął wartość 156 mg/dm<sup>3</sup>.

#### ***Srednia wielkość frakcji ziarnowej węgla aktywnego***

Wyniki badań wpływu zmian średniej wielkości frakcji ziarnowej węgla aktywnego na zmianę wartości podstawowych wskaźników w eluacie przedstawiono w tablicy 1 oraz na rysunku 4.

Analiza wyników badań wskazuje, że przy zmianie drugiej zmiennej niezależnej ( $x_2$ ) tzn. średniej wielkości frakcji ziarnowej w przedziale od 2,50 mm do 14,00 mm wartość wskaźników takich jak: chemiczne zapotrzebowanie tlenu, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu, zawiesina ogólna oraz ogólny węgiel organiczny obniża się o około 95% już po przejściu przez złożo węgla aktywnego ziarnistego o wysokości 0,5 m cieczy nadosadowej po procesie koagulacji wodorotlenkiem wapnia w ilości 2,00 g/dm<sup>3</sup> i temperaturze początkowej ścieków kierowanych do procesu wynoszącej 293K (20°C). Wartość normatywnie umowną osiągnięto stosując rozpatrywaną frakcję ziarnową tylko dla trzech wskaźników (chemiczne zapotrzebowanie tlenu, biochemiczne zapotrzebowanie tlenu oraz zawiesina ogólna). Jednak najlepsze rezultaty jakościowe odnośnie obniżki rozpatrywanych parametrów zmiennych wynikowych uzyskano stosując węgiel aktywny ziarnisty o średnim uziarnieniu  $\phi = 2,5$  mm.

The effectiveness of effluent purification through the sorption on active granular carbon depends on the physical-chemical properties of the carbon, quantity and quality of impurities and on the flow parameters. Attention must be turned to proper preparation of the medium to be purified to remove suspended matter, which in this work happens to occur by the coagulation at the first technological stage.

Analysis of the results indicates that change of the first independent variable ( $x_1$ ) in the technological station under investigation i.e. bed height  $H$  within the range of 0.00 m ÷ 2.00 m causes the reduction of such indicators value by approx. 90%. There is a significant reduction in the chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total suspension, total solids and total organic carbon even after flow through the granular active carbon bed as high as 0.5m. Only in the case of two indicators the standard values were reached (chemical oxygen demand and total suspension) – see Table 1. The best qualitative results concerning reduction of the resultant variable parameters in question were achieved when the 2.00 m high column containing granular active carbon was used. The standard values have been obtained for all the indicators, the total organic carbon remained at the 156 mg/dm<sup>3</sup> level.

#### ***Average size of the active carbon granular fraction***

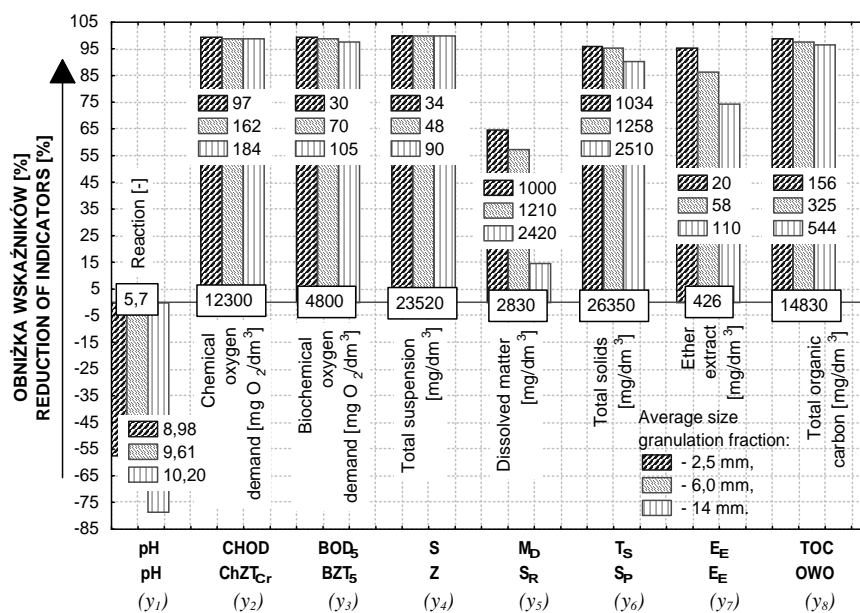
The results of influence of the average size of active carbon granular fraction on the change of the principal indicators in the eluate are shown in Table 1 and Figure 4.

Analysis of the results indicates that change of the second independent variable ( $x_2$ ) i.e. medium size granular fraction within the range of 2.5 mm ÷ 14.00 mm, results in the dramatic decrease of approx. 95% in the value of such indicators as chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total suspension and total organic carbon. This decrease was obtained even after flow through the 0.5 m high granular active carbon bed, following coagulation with calcium hydroxide in amount of 2.00 g/dm<sup>3</sup> at initial temperature of the effluent fed to the process at 293K (20°C). The standard value was achieved, in the case of this fraction, only for three indicators (chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand and total suspension). However, the best qualitative results concerning reduction of the resultant variable parameters in question were achieved when granular active carbon featuring average granularity of  $\phi = 2.5$  mm was used. The standard values have been obtained for all the indicators

Wartości normatywne osiągnęły wszystkie wskaźniki, za wyjątkiem całkowitego węgla organicznego, którego wartość wyniosła 156 mg/dm<sup>3</sup> – rysunek 4.

the total organic carbon remained 156 mg/dm<sup>3</sup> - see Figure 4.

Opis wykresu:		
Reaction (pH)	(y <sub>1</sub> )	Odczyn (pH)
Chemical oxygen demand (ChOD)	(y <sub>2</sub> )	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT <sub>Cr</sub> )
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> )	(y <sub>3</sub> )	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT <sub>5</sub> )
Total suspension (S)	(y <sub>4</sub> )	Zawiesina ogólna (Z)
Dissolved matter (M <sub>D</sub> )	(y <sub>5</sub> )	Substancje rozpuszczone (S <sub>R</sub> )
Total solids (T <sub>S</sub> )	(y <sub>6</sub> )	Sucha pozostałość (S <sub>P</sub> )
Ether extract (E <sub>E</sub> )	(y <sub>7</sub> )	Ekstrakt eterowy (E <sub>E</sub> )
Total organic carbon (TOC)	(y <sub>8</sub> )	Ogólny węgiel organiczny (OWO)
Average size granulation fraction	—	Średnia wielkość frakcji ziarnowej



Rys. 4

Diagram procentowej obniżki wartości podstawowych wskaźników chemicznych po koagulacji wodorotlenkiem wapnia i sorpcji w kolumnie o różnej średniej wielkości frakcji ziarnowej węgla aktywnego ziarnistego, ścieków z przetwórstwa drewna

Fig. 4

Diagram showing reduction of principal chemical indicators (percentage) following coagulation of timber processing effluent with calcium hydroxide and column sorption on active carbon of varying granularity

## 5. Kompendium matematyczne

### Równania matematyczne analityczno-empiryczne

W literaturze rachunek matematyczny opisujący proces adsorpcji w szeregu przypadkach uwzględnia bilansowanie masy w kilku kierunkach obszaru adsorpcyjnego, skomplikowany mechanizm kinetyczny procesu oraz wieloparametrowe równania opisu stanu równowagi układu. Jak pisze Wolborska symulacje komputerowe pozwalają śledzić odpowiedzi układu na zmianę parametrów, ale często nie wytrzymują weryfikacji doświadczalnej. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak wiarygodnych danych na temat danego układu, które muszą być wprowadzone do modelu matematycznego. Przy tak skomplikowanym procesie, jakim jest adsorpcja z roztworów wieloskładnikowych, gdzie występuje konkurencyjne oddziaływanie między poszczególnymi składnikami, powierzchnią węgla oraz polarnymi cząsteczkami wody, przewidywanie parametrów kinetycznych w oparciu o dane dla pojedynczych składników prowadzi często do dużych błędów. Dlatego równie ważny, jak prace teoretyczne, jest aspekt praktyczny. W celu uproszczenia rozwiązania zagadnienia przyjmuje się różne założenia. Bardzo istotne jest określenie dopuszczalnych zakresów

## 5. Mathematical compendium

### Analytical-empirical mathematical equations

Mathematical calculus describing the process of adsorption as indicated in other papers takes into account, in a number of cases, balancing of the mass in several directions of the adsorption area, a complex kinetic mechanism of the process and multi-parameter equations describing the system equilibrium status. Wolborska maintains that computer simulations allow monitoring system response to change of parameters but often fail in the experimental verification field. The cause of such state of affairs is lack of reliable data concerning a given system, which should be introduced to the mathematical model. In the case of such complex process as the adsorption from multi-component solutions where competitive interactions between particular constituents, carbon surface and polar water molecules occur, the prediction of kinetic parameters based on the data for a single component often leads to gross errors. Therefore, the practical aspect is equally important as the theoretical work. To simplify the problem the various assumptions are being made. It is very important to establish the admissible ranges and conditions in which such



i warunków, w których można się nimi posługiwać oraz ich doświadczalna weryfikacja [5, 19].

Badanie związków pomiędzy wieloma zmiennymi niezależnymi a zmienną zależną dokonano stosując aproksymacyjną metodę punktu centralnego [15, 16]. Wcześniej, w roku 1975 metodę opracował i zastosował w swej pracy habilitacyjnej T. Piecuch. Następnie A. M. Anielak rozwinęła tę metodę do aproksymacji wobec prostej [11, 12].

Ogólny problem obliczeniowy, jaki należy rozwiązać w takiej analizie, polega na dopasowaniu krzywej będącej wielomianem  $n$ -tego stopnia do zbioru punktów. Zależności funkcyjne pomiędzy rozpatrywanymi zmiennymi określane są wstępnie poprzez aproksymację metodą najmniejszych kwadratów, polegającą na takim doborze równania będącego najczęściej wielomianem, że suma kwadratów odległości punktów na wykresie rozrzutu od krzywej aproksymacyjnej będzie minimalna.

Po zakończonej pełnej serii badań otrzymujemy pewną abstrakcyjną przestrzeń matematyczną pęku krzywych [15, 16]:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad [1]$$

gdzie:

$y$  – wielomian na  $n$ -tym stopniu aproksymacji,  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  – wielkości wejściowe niezależne (czynniki).

Charakterystyczną cechą tej metody jest to, że wszystkie krzywe przebiegają zawsze przez jeden wspólny centralny punkt. Oczywiście poszczególne krzywe mają swój początek i koniec ograniczony przedziałami zmian (od ÷ do) w których poszczególne zmienne niezależne  $x_1, x_2, \dots, x_n$  były zadawane. Można, zatem przyjąć, że te poszczególne przebiegi tworzą między sobą pewną przestrzeń, w której otrzymane w konsekwencji takiej aproksymacji równania są często wystarczająco dokładne [15, 16].

Trzeba też zaznaczyć, że w metodzie aproksymacji wobec centralnego punktu, przyjęto upraszczające założenie, zakładające, że badane parametry zmienne niezależne  $x_1, x_2, \dots, x_n$  nie posiadają między sobą interakcji bądź też ewentualne interakcje ich między sobą są tak dalece mało istotne w stosunku do efektu zmian na wynik procesu pojedynczego czynnika  $x_i$  – iż nie popełniając dużego błędu można te ewentualne interakcje pominąć.

Aby to zweryfikować, po zakończeniu takiej serii badań, po ustaleniu końcowych równań matematycznych analityczno-empirycznych wykonano kilka losowych doświadczeń, przy zadanych, z góry wybranych dowolnie wartościach poszczególnych zmiennych  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , mieszczących się w badanych

assumptions can be used and to verify them experimentally [5, 19].

Examination of the relationships between many independent variables and a dependent variable was carried out by the approximation method of the central point [15, 16]. This method has been developed by and applied in habilitation thesis by T. Piecuch in 1975. Then A. M. Anielak further developed the method for the approximation of a linear function. [11, 12].

The general calculation problem to be solved in such analysis lays in the matching a curve being a  $n$ -degree poly-nominal for a point pattern. The functional relationships between the variables in question are initially determined through the approximation with the least squares method. In accordance to this method the selection of an equation being mostly a poly-nominal is made if the sum of squares of point distances on the dispersion graph from the approximation curve is the possible smallest.

Following the completion of a full series of tests a certain abstract mathematical space of a pencil of curves is obtained [15, 16]:

where:

$y$  –  $y$ -poly-nominal at  $n$ -degree of approximation,  
 $x_1, x_2, \dots, x_n$  – input independent values (factors).

A specific feature of this method is that all curves always go through one common central point. Obviously, the particular curves have their beginnings and ends limited with change intervals (from ÷ to) in which particular independent variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$  were set. Therefore, one can assume that those particular patterns create between themselves a certain space in which equations obtained as a consequence of such approximation are often sufficiently precise [15, 16].

It must also be noted that in the central point approximation method a simplifying assumption was adopted that the independent variable parameters tested  $x_1, x_2, \dots, x_n$  do not interact mutually or their light interactions are so negligible, when compared with the effect of change of a single factor  $x_i$  – on the process result, that those interactions can be omitted without making a big error.

To verify the above one should proceed with additional few random experiments, after completion of such series of tests and establishment of the final analytic-empirical mathematical equations, with arbitrary selected values of particular variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , falling within the initially tested change intervals that would be selected intentionally in such

poprzednio przedziałach zmian, celowo dobranych w taki sposób, aby nie kojarzyły się te wartości z punktem centralnym aproksymacji, lecz tylko z przestrzenią wokół tego punktu – a więc przestrzenią, w której przyjmuje się, iż otrzymane równania można stosować [15, 16]. Powyższe ogólne równanie [1] w pełnym zapisie funkcyjnym z uwzględnieniem wartości współczynników stałych przy zmiennych niezależnych przyjmie postać końcową odnośnie rozpatrywanych tu wskaźników:

- Odczyn (pH):

$$pH(H, \phi) = -0,906H - 1,49H^2 + 0,56H^3 + 0,259\phi - 0,009\phi^2 + 11,711$$

- Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)

$$ChZT(H, \phi) = -4980,5H + 6045,5H^2 - 3154H^3 + 594H^4 + 20,248\phi - 0,769\phi^2 + 1558,185$$

- Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT<sub>5</sub>)

$$BZT_5(H, \phi) = -929,095H + 553,714H^2 - 113,333H^3 + 16,642\phi - 0,613\phi^2 + 542,226$$

- Zawiesina ogólna (Z)

$$Z(H, \phi) = -1921,57H + 1106,285H^2 - 228H^3 + 4,935\phi + 1262,319$$

- Substancje rozpuszczone (S<sub>R</sub>)

$$S_{R,H,\phi}(H, \phi) = -1792H + 440H^2 - 7,446\phi + 7,935\phi^2 + 2793,022$$

- Sucha pozostałość (S<sub>P</sub>)

$$S_{P,H,\phi}(H, \phi) = -4969,476H + 2934,57H^2 - 602,667H^3 - 4,37\phi + 8,043\phi^2 + 4016,657$$

- Ekstrakt eterowy (E<sub>E</sub>)

$$E_E(H, \phi) = -325,571H + 84,286H^2 + 14,078\phi - 0,379\phi^2 + 301,172$$

- Ogólny węgiel organiczny (OWO)

$$OWO(H, \phi) = -2314,57H + 1534,285H^2 - 344H^3 + 63,741\phi - 1,818\phi^2 + 1252,011$$

gdzie:

$H$  – wysokość złoża sorpcyjnego  $H$  [m] – (zakres zmian: 0 m ÷ 2 m),

$\phi$  – średnia wielkość frakcji ziarnowej  $\phi$  [mm] – (zakres zmian: 2,5 mm ÷ 14 mm).

Na rysunku 5 przedstawiono przestrzenny graficzny obraz wynikający z rozwiązania otrzymanych równań matematycznych analityczno-empirycznych z uwzględnieniem punktu centralnego aproksymacji dla zmiennych wartości wysokości złoża  $H$  [m] i średniej wielkości frakcji ziarnowej  $\phi$  [mm].

### Weryfikacja statystyczna

Celem sprawdzenia dokładności wyżej otrzymanych równań przeprowadzono serię siedmiu doświadczeń przy dowolnie losowo wybranych wartościach parametrów zmiennych niezależnych tzn.  $x_1$  ( $H$  [m]) i  $x_2$  ( $\phi$  [mm]) ale takich, że nie są to wartości punktu centralnego aproksymacji. Następnie

way as not to be linked with approximation central point but with the space around that point, i.e. the space in which it is assumed that the equations obtained can be applied [15, 16]. The above general equation [1] in its full functional notion, taking into account constant factor values in the case of independent variables, shall take the below shown final form as regards the indicators under consideration:

- Reaction (pH):

- Chemical oxygen demand (ChOD = ChZT)

- Biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub> = BZT<sub>5</sub>)

- Total suspension (S = Z)

- Dissolved matter (M<sub>D</sub> = S<sub>R</sub>)

- Total solids (T<sub>S</sub> = S<sub>P</sub>)

- Ether extract (E<sub>E</sub>)

- Total organic carbon (TOC = OWO)

where:

$H$  – sorption bed height  $H$  [m] – (range of change: 0 m ÷ 2 m),

$\phi$  – average size of granular fraction  $\phi$  [mm] – (range of change: 2.5 mm ÷ 14 mm).

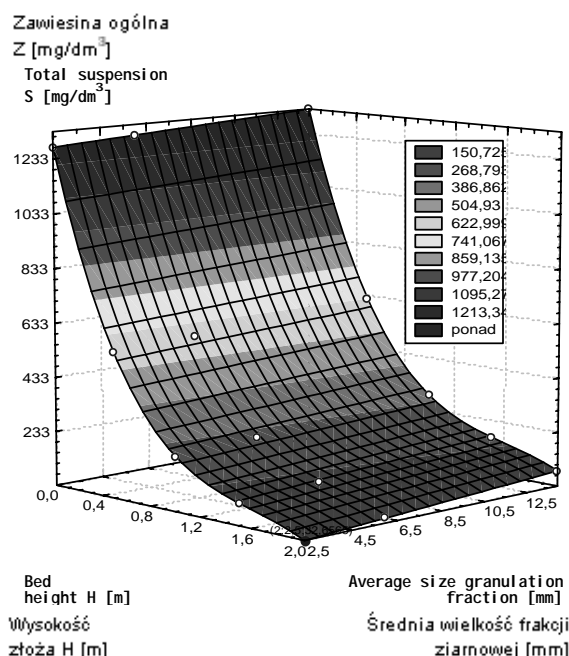
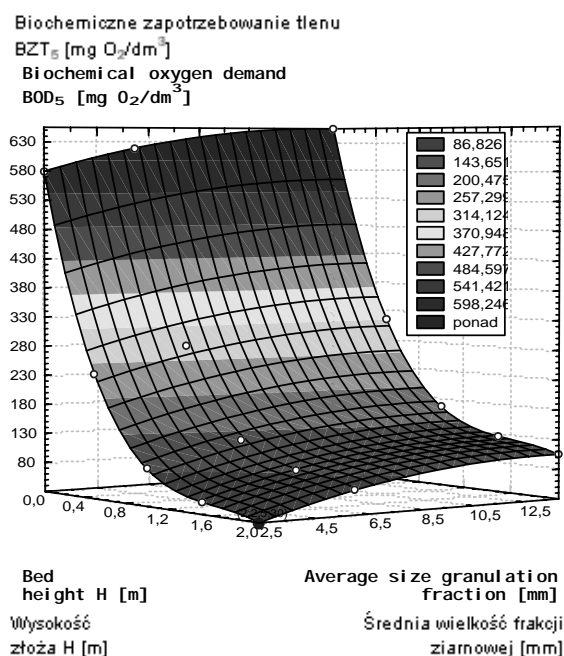
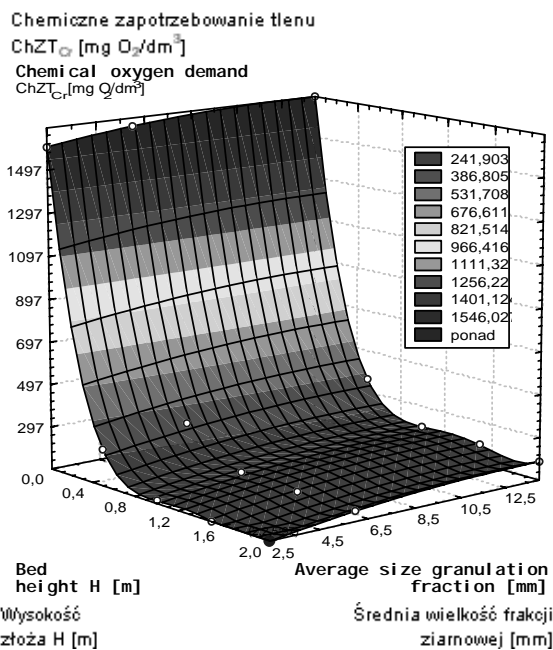
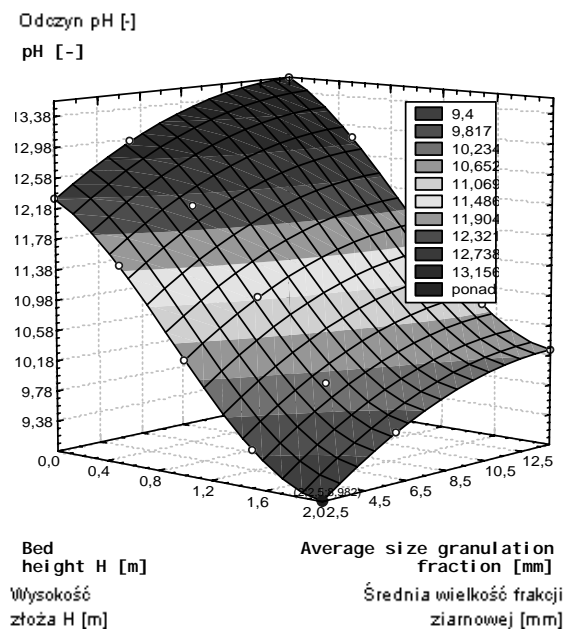
Figure 5 shows 3-D graphical image originating from solution of the mathematical analytic-empirical equations taking into account the approximation central point for variable bed height  $H$  [m] and average size granular fraction  $\phi$  [mm].

### Statistical verification

The checking the accuracy of the above equations a series of seven experiments for independent variable parameters taken at random i.e.  $x_1$  ( $H$  [m]) and  $x_2$  ( $\phi$  [mm]), but not being the approximation central point values, was carried out. Then, from the above equations values of particular indicators for

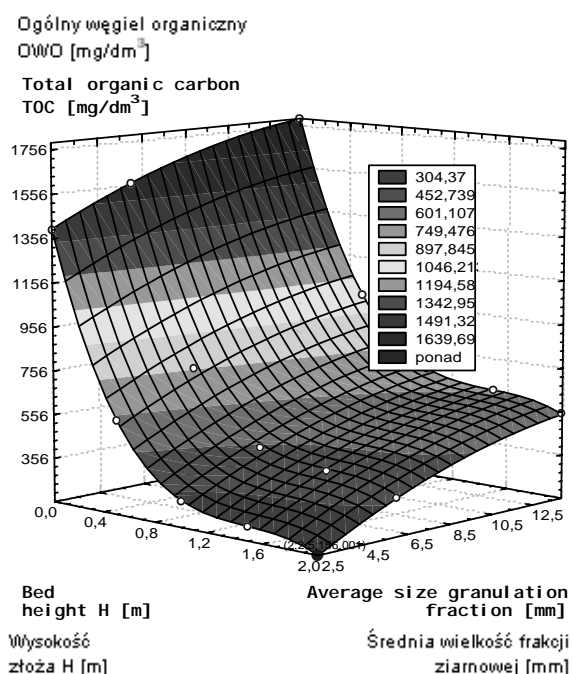
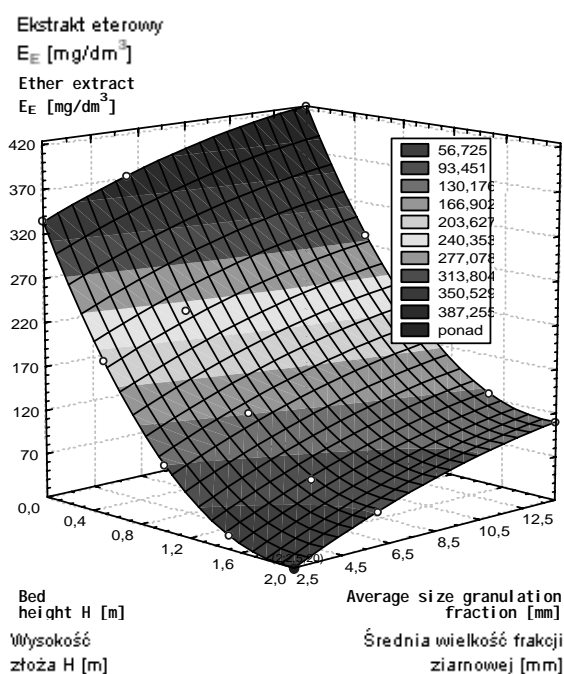
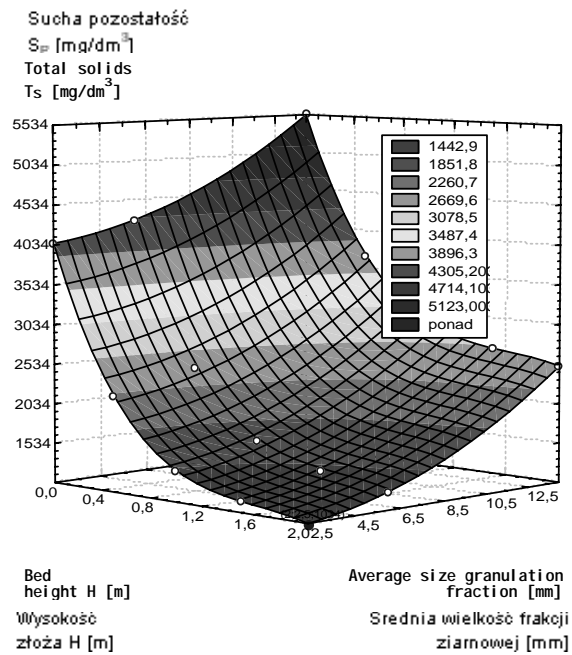
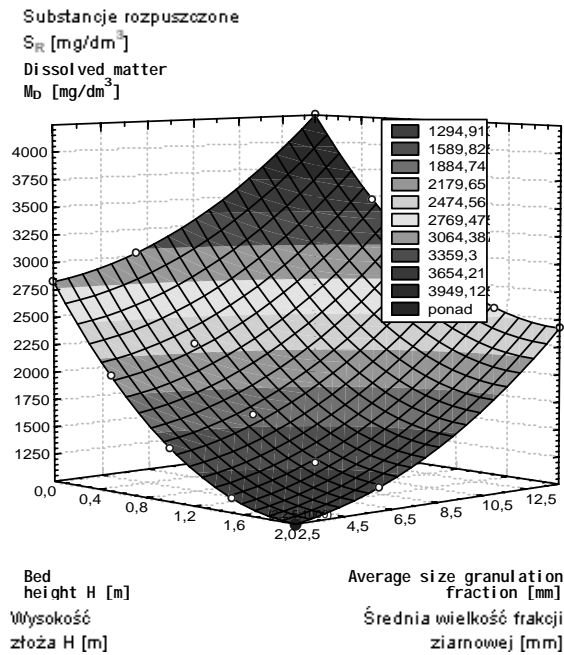
obliczono z wyżej otrzymanych równań wartości poszczególnych, rozpatrywanych w tym węźle technologicznym, wskaźników i porównano z wynikami otrzymanymi w poszczególnych siedmiu doświadczeniach laboratoryjnych. Wyniki zestawiono w tabelicy 2, łącznie z oceną dokładności otrzymanych równań dla tej przestrzeni, w której na podstawie wyżej omówionych badań można je stosować. Dokładność równania przy 95% poziomie istotności oceniono testem T-Studenta.

given technological station were calculated and compared with respective results obtained in particular seven experiments. The results were set out in Table 2 along with evaluation of equation accuracy for this space, in which they can be applied based on the above-discussed tests. The equation accuracy for 95% significance level was tested by T-Student test.



Rys. 5  
Wykresy przestrzenne wpływu zmiany wysokości złoża  $H$  [m] i zmiany wartości średniej wielkości frakcji ziarnowej  $\phi$  [mm] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w cieczy nadosadowej

Fig. 5  
3-D graphs showing influence of bed height change  $H$  [m] and average size of granular fraction change  $\phi$  [mm] on the change of the principal indicator values in the sedimentary liquid



Rys. 5 (cd)  
 Wykresy przestrzenne wpływu zmiany wysokości złoża  $H$  [m] i zmiany wartości średniej wielkości frakcji ziarnowej  $\phi$  [mm] na zmianę wartości podstawowych wskaźników w cieczy nadosadowej

Fig. 5 (cont.)  
 3-D graphs showing influence of bed height change  $H$  [m] and average size of granular fraction change  $\phi$  [mm] on the change of the principal indicator values in the sedimentary liquid

Dla 6 stopni swobody i 5% ryzyka błędu wartość graniczna odczytana z tablic T-Studenta jest równa:

For 6 degrees of freedom and the 5% error risk the limit value taken from T-Student test is:

$$t_{0,05} = 2,447 \quad [2]$$

Ponieważ wartość funkcji testowej nie przewyższa jej, możemy stwierdzić, że przy poziomie istotności 95% nie stwierdzono istotnych różnic między funkcjonowaniem równań a wynikami określonymi w badaniach laboratoryjnych.

As the test function value is below the above we can say that at 95% significance level no significant differences between functioning of the equations and the test results were found.

Tablica 2

Wyniki analizy statystycznej testem T-Studenta podstawowych wskaźników określonych na podstawie równań matematycznych analityczno-empirycznych, badań laboratoryjnych oraz wyników otrzymanych w urządzeniu typu filtrisorbent

Table 2

T-Student test statistical analysis results for principal indicators established on the grounds of analytic-empirical mathematical equations, laboratory tests and results obtained from the filtrisorbent installation

Pos. Lp.	Independent variables Zmienne niezależne		Fixing Określenie	Resultant variables Zmienne wynikowe							
				pH	ChOD ChZT <sub>Cr</sub>	BOD <sub>5</sub> BZT <sub>5</sub>	S Z	M <sub>D</sub> S <sub>R</sub>	T <sub>S</sub> S <sub>P</sub>	E <sub>E</sub>	TOC OWO
	H	φ		(y <sub>1</sub> )	(y <sub>2</sub> )	(y <sub>3</sub> )	(y <sub>4</sub> )	(y <sub>5</sub> )	(y <sub>6</sub> )	(y <sub>7</sub> )	(y <sub>8</sub> )
	[m]	[mm]		[-]	[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	[mg O <sub>2</sub> /dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]	[mg/dm <sup>3</sup> ]
3	0,25	2,50	Lab Laborat.	12.30	720	415	860	2 450	2 990	251	921
			Equation Równanie	11.99	690	381	860	2 403	2 988	258	912
			Device Urządzenie	11.87	720	395	865	2 425	3 290	259	925
4	0,50	6,00	Lab Laborat.	12.20	320	260	580	2 250	2 830	231	750
			Equation Równanie	12.18	316	280	579	2 248	2 454	230	752
			Device Urządzenie	12.19	320	280	560	2 272	2 832	228	750
5	1,00	14,00	Lab Laborat.	12.03	200	165	290	2 648	2 938	181	660
			Equation Równanie	11.73	196	166	288	2 892	2 894	183	664
			Device Urządzenie	11.75	190	170	285	2 892	3 177	197	658
6	1,50	2,50	Lab Laborat.	9.58	100	45	110	1 121	1 231	36	221
			Equation Równanie	9.47	98	50	112	1 126	1 171	35	219
			Device Urządzenie	9.48	90	50	115	1 129	1 244	36	220
7	2,00	6,00	Lab Laborat.	10.57	150	65	50	1 201	1 251	60	325
			Equation Równanie	9.62	145	70	50	1 210	1 258	58	325
			Device Urządzenie	9.51	140	75	50	1 204	1 254	65	327
8	0,50	14,00	Lab Laborat.	12.90	350	320	620	3 348	3 968	283	972
			Equation Równanie	12.82	355	315	619	3 458	3 705	282	971
			Device Urządzenie	12.89	360	315	615	3 460	4 075	279	972
9	1,00	2,50	Lab Laborat.	9.95	100	90	225	1 349	1 574	92	276
			Equation Równanie	10.46	109	91	231	1 472	1 418	93	275
			Device Urządzenie	10.15	110	95	235	1 478	1 713	95	277
10	T-Student test Test T-Studenta		Lab-Eq Lab.-Rów.	2.238	2.278	2.193	2.192	2.293	2.400	2.260	2.122
			Lab-Eq Lab.-Rów.	2.313	2.277	2.071	2.287	2.435	2.394	2.430	2.165
11	Tables (p=0.05 i ν=6) Tablice (p=0.05 i ν=6)			2.447							

Zatem dla wyżej określonych warunków równania mogą znaleźć ewentualne zastosowanie do

Therefore, for the above-indicated conditions, the equations can be applied for the estimation of the

prognozowania jakości oczyszczania ścieku przy zastosowaniu sorpcji na złożu węgla aktywnego.

Równania mogą być stosowane w przedziale zmian dla wysokości złoża sorpcyjnego  $H \in (0;2)$  m oraz średniej wielkości frakcji ziarnowej  $\phi \in (2,5;14)$  mm. Oczywiście możliwe jest i wysoce prawdopodobne stosowanie tego równania dla szerszego przedziału zmian przedstawionych parametrów zmiennych niezależnych – co wymagałoby dodatkowych badań weryfikujących.

Na podstawie zaproponowanego układu technologicznego – rys. 1 oraz przeprowadzonych badań laboratoryjnych zaprojektowano urządzenie w skali ułamkowo-technicznej umożliwiające podczyszczenie ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna.

Wyniki badań procesu sorpcji wykonane w urządzeniu typu filtrosorbent na węglu aktywnym ziarnistym o średniej granulacji  $\phi = 2,5$  mm i wysokości złoża  $H = 2,0$  m zawarto w tabelicy 2.

Eluat po procesie sorpcji (tablica 2) w urządzeniu typu filtrosorbent wykonanym w skali ćwierć-technicznej odnotowano obniżkę wszystkich badanych parametrów zmiennych wynikowych tj.: chemicznego zapotrzebowania tlenu, biochemicznego zapotrzebowania tlenu, zawiesiny ogólnej, substancji rozpuszczonych, suchej pozostałości, ekstraktu eterowego. Wszystkie wymienione parametry zmienne wynikowe mieszczą się w granicach normy za wyjątkiem parametru ogólnego węgla organicznego, którego wartość minimalna po procesie wynosi  $122 \text{ mg/dm}^3$ .

Opis wykresu:	
Reaction (pH) ( $y_1$ )	Odczyn (pH)
Chemical oxygen demand (ChOD) ( $y_2$ )	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT <sub>Cr</sub> )
Biochemical oxygen demand (BOD <sub>5</sub> ) ( $y_3$ )	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT <sub>5</sub> )
Total suspension (S) ( $y_4$ )	Zawiesina ogólna (Z)
Dissolved matter (M <sub>D</sub> ) ( $y_5$ )	Substancje rozpuszczone (S <sub>R</sub> )
Total solids (T <sub>S</sub> ) ( $y_6$ )	Sucha pozostałość (S <sub>P</sub> )
Ether extract (E <sub>E</sub> ) ( $y_7$ )	Ekstrakt eterowy (E <sub>E</sub> )
Total organic carbon (TOC) ( $y_8$ )	Ogólny węgiel organiczny (OWO)
Analytic empiric mathematical equation	Równanie matematyczne analityczno-empiryczne
Filtrosorbent type device	Urządzenie typu filtrosorbent

Rys. 6 Diagram określający wartość testu T-Studenta podstawowych wskaźników zmiennych wynikowych

Celem sprawdzenia dokładności wyżej otrzymanych równań matematycznych analityczno-empirycznych

effluent purification quality following the sorption on the active carbon bed.

The equations can be applied in the change interval for sorption bed height  $H \in (0;2)$  m and the average size granular fraction  $\phi \in (2,5;14)$  mm. Of course application of this equation is possible or highly probable for a wider change interval of the indicated independent variable parameters – this would require additional verifying research work to be carried out.

Based on the proposed technological layout (Figure 1) and laboratory tests carried out a semi-commercial facility for the pre-treatment of timber processing effluents has been designed.

Test results for sorption process carried out in filtrosorbent type installation on granular active carbon featuring average granularity  $\phi = 2.5$  mm and bed height  $H = 2.0$  m are shown in Table 2.

The eluate after sorption process (see Table 2) accomplished in filtrosorbent installation made in the semi-commercial scale showed reduction of all tested parameters of resultant variables i.e. chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, total suspension, dissolved matter, total solids and ether extract. All the above-mentioned variable resultant parameters fall within the limits of relevant standard with the exception of total organic carbon showing minimum value  $122 \text{ mg/dm}^3$  after the process.

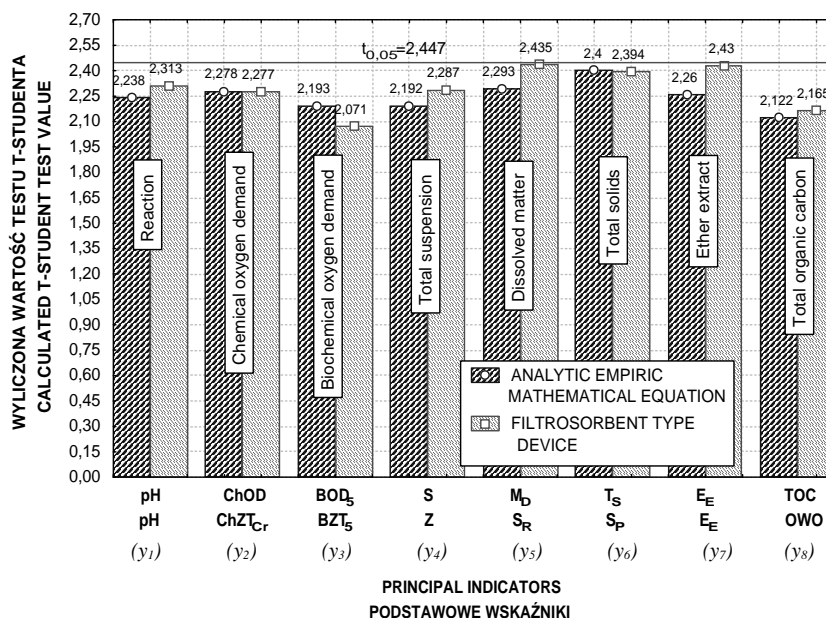


Fig. 6 Diagram showing value of the T-Student test for principal indicators of the resultant variables

To check accuracy of the above analytic-empirical mathematical equations with relation to filtrosorbent

rycznych w stosunku do funkcjonowania urządzenia typu filtrosorbent przeprowadzono serię siedmiu doświadczeń przy dowolnie losowo wybranych wartościach parametrów zmiennych niezależnych. Przy poziomie istotności 95% nie stwierdzono istotnych różnic między funkcjonowaniem równań a wynikami określonymi w badaniach przeprowadzonych w urządzeniu typu filtrosorbent – rysunek 6.

## 6. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynikają następujące ogólne wnioski:

- Najlepszą efektywność podczyszczania ścieków pochodzących z przetwórstwa drewna po wstępnej koagulacji wodorotlenkiem wapnia  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  w ilości  $2 \text{ g/dm}^3$  w temperaturze początkowej ścieków kierowanych do procesu 293K (20°C) uzyskano stosując sorpcję na złożu węgla aktywnego ziarnistego o średnim uziarnieniu 2,5 mm i wysokości 2,00 m.
- Równania matematyczne analityczno-empiryczne stworzone metodą punktu centralnego mogą być stosowane w praktyce w celu projektowania układu technologicznego, w którym znajduje się węzeł sorpcji.

sorbent installation operation a series of seven experiments for independent variable parameters taken at random was carried out. No significant difference between equations operation and the results obtained from tests carried out in the filtrosorbent device have been found for 95% significance level – see Figure 6.

## 6. Conclusions

The following general conclusions ensue from the research work performed:

- The best effectiveness of the pre-treatment of timber processing effluents following preliminary coagulation with calcium hydroxide in amount of  $2.00 \text{ g/dm}^3$  at initial temperature of the effluents fed to the process at 293K (20°C) was achieved by use sorption on granular active carbon bed featuring average granularity 2.5 mm and height of 2.00 m.
- The analytic-empirical mathematical equations created by the central point method can be applied in practice to design a technological system containing a sorption station.

## 7. Literatura — References

1. Anielak A. M.: „Chemiczne i fizyko-chemiczne oczyszczanie ścieków”, *Monografia Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Nr 64, Politechnika Koszalińska, Koszalin 1998, str. 133.*
2. Bartkiewicz B., Piecuch T., Piekarski J.: „Praktyczne aspekty wydłużenia czasu pracy kolumny sorpcyjnej bez wspomaganie oraz z wspomaganie z poprzedzającym złożem filtracyjnym”, *Rocznik Ochrony Środowiska, Tom 2, 2000, str. 297.*
3. Bernacka I., Bernas I., Pawłowska L.: „Związki węgla, azotu i fosforu w ściekach komunalnych, podstawą doboru procesu ich oczyszczania”, *Materiały VI Ogólnopolskiego Seminarium – „Eksploatacja oczyszczania ścieków”, Sielcia, 1993, str. 78.*
4. Dąbkowski J.: „Statistica for Windows”, *StatSoft Polska Sp z o. o., Kraków, 1997, str. 1413.*
5. Dębowski Z.: „Sorpcyjne oczyszczanie wody na węglu aktywnym”, *Ochrona Środowiska, Nr 3, 1993, str. 36.*
6. Dziubek M. A.: „Oczyszczanie wody i ścieków w środowisku alkalicznym”, *Ochrona Środowiska, PZiTS, Wrocław, 1984, str. 42.*
7. Malej J., Hołubowicz D.: „Badania technologiczne nad oczyszczaniem ścieków z zakładu płyt pilśniowych Alpex w Karlinie”, *Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska nr 11, Seria Inżynieria Środowiska, 1996, str. 77.*
8. Malej J.: „Usuwanie zawiesin ziarnistych i trudno opadających ze ścieków przemysłu drzewnego”, *III Ogólnopolska Konferencja Naukowa nt.: „Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska”, Organizator Politechnika Koszalińska, Koszalin, 1997, str. 369.*
9. Malej J.: „Zastosowanie osadu czynnego w procesie oczyszczania ścieków z przemysłu drzewnego”, *Międzynarodowa Konferencja Naukowo - Techniczna nt.: „Współczesne problemy gospodarki wodno - ściekowej”, Kołobrzeg, 1997, str. 305.*

10. Nalimow W., Czernowa N.: „Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych”, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1967, str. 128.
11. Piecuch T., Anielak A. M.: „Analityczno-empiryczne kryterium filtracji ciśnieniowej i odśrodkowej zawiesiny poflotacyjnych odpadów cynku i ołowiu”, Zeszyty Naukowe Archiwum Ochrony Środowiska PAN nr 3, 1985, str. 64.
12. Piecuch T., Anielak A. M.: „Vergleich der Entwässerung bei Druck und Zentrifugalfiltration mit Statistischen Modellen”, Chemische Technik - Leipzig 1987, str 93.
13. Piecuch T., Piekarski J.: „Fine fraction and timber fibre industrial waste heap as a sorption - filter bed and source contamination of ground waters”, IV Międzynarodowe Sympozjum nt. „Zintegrowane Systemy Ochrony Środowiska”; Organizator OPW - EKOCEM 71-661 Szczecin 33, skr. poczt. 54; Międzyzdroje, 1996, str. 297.
14. Piecuch T., Piekarski J.: „Contamination Research into leachate - filtered from fine fractions and timber fibres the industrial waste of the Timber Products Company as a source of secondary contamination of ground waters”. IV Międzynarodowe Sympozjum nt. „Gospodarka Odpadami i Osadami Ściekowymi w Rolnictwie Leśnictwie i Przemysle Drzewnym”; Organizator NOT Rada Wojewódzka Federacji Stowarzyszeń Naukowo Technicznych w Koszalinie, Kołobrzeg, 1996, str. 120.
15. Piecuch T., Piekarski J.: „Badania procesu odwirowania zawiesiny poprodukcyjnej zakładu przetwórstwa drewna POLSPAN-KRONOSPAN”, IV Ogólnopolska Konferencja Naukowa na temat: „Kompleksowe i Szczegółowe Problemy Inżynierii Środowiska”, Koszalin-Ustronie Morskie 28÷30 maj 1999, str. 320.
16. Piecuch T., Piekarski J.: „Badania procesu sedimentacji rotacyjnej zawiesiny ścieków przemysłowych zakładu POLSPAN-KRONOSPAN przy zastosowaniu flokulanta typu Floccel FC 190”, X Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna z cyklu “Problemy gospodarki wodno-ściekowej w regionach rolniczo-przemysłowych”, Organizator Politechnika Białostocka, Augustów, 1999, str. 217.
17. Piecuch T., Piekarski J.: „Metodyka określania zanieczyszczeń w odciekach ze składowisk wiórów i pyłów drzewnych”, Ogólnopolskie Sympozjum na temat: „Metody badań powietrza, wody i gleby wokół składowisk odpadów”, Instytut Fizyki Jądrowej, AGH Kraków oraz Komisja Analizy Odpadów Komitetu Chemii Analitycznej PAN, Kraków, 1996, str. 163.
18. Piekarski J.: „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków przemysłowych pochodzących z produkcji płyt wiórowych”, Praca doktorska, Promotor: prof. dr hab. inż. Tadeusz Piecuch, Politechnika Warszawska, 17.10.2000.
19. Wolborska A., Pielicka-Bujnowicz K.: „Redukcja zanieczyszczeń organicznych z wody metodą adsorpcji na węglu aktywnym”, Zeszyty Naukowe Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Koszalińska, nr 14, 1998, str. 139.