

**INFLUENȚA ALIMENTĂRII
FILTRULUI DE ROCĂ ASUPRA
FLUXULUI DE APĂ
HIDRODINAMIC LA
TRATAMENTUL APELOR
MINIERE POLUATE CU
MANGAN**

Anatoliy T. Angelov*, Universitatea de
minerit și geologie „St. Ivan Rilski”, Sofia
1700 Bulgaria

Evgeni S. Kraichev, Universitatea de minerit
și geologie „St. Ivan Rilski”, Sofia 1700
Bulgaria

Svetlana G. Bratkova, Universitatea de
minerit și geologie „St. Ivan Rilski”, Sofia
1700 Bulgaria

Alexandre R. Loukanov, Universitatea de
minerit și geologie „St. Ivan Rilski”, Sofia
1700 Bulgaria

* Autorul corespunzător, e-mail:
tonyagev@mail.bg

Acest raport constată pierderea hidrolitică a fluxului de apă în timpul trecerii sale printr-un filtru de rocă. Filtrul este alimentat cu diverse tipuri de materiale și este desemnat pentru tratarea apelor miniere poluate cu mangan. Pierderile de presiune sunt măsurate la înălțimi diferite ale stratului de filtrare și fluxului de apă. Se face o interpolare a acestei dependențe în aspectul grafic și analitic pentru două tipuri de alimentare la flux diferit și la înălțimea stratului de filtrare. Se studiază influența biomasei imobilizate crescute asupra fluxului hidrodinamic. Rezultatele analitice prezintă relația dintre coeficientul de rezistență (ζ) și criteriul Reynolds (Re), în condiții experimentale concrete.

Cuvinte cheie: Sistem de tratament pasiv, eliminarea manganului, filtrul de rocă, apele miniere acide.

INTRODUCERE

Manganul este în mod clar cel mai refractar la precipitații dintre metalele grele. În soluțiile puternic alcaline, se precipită ca $MnCO_3$, iar la potențialii negativi și pH-ul din jurul punctului neutru poate fi precipitat ca MnS . Oxidarea manganului bivalent în stare

**INFLUENCE OF THE ROCK
FILTER FILLING ON THE
WATER FLOW
HYDRODYNAMIC AT
TREATMENT OF MINE WATERS
POLLUTED WITH MANGANESE**

Anatoliy T. Angelov*, University of Mining
and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia 1700
Bulgaria

Evgeni S. Kraichev, University of Mining
and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia 1700
Bulgaria

Svetlana G. Bratkova, University of Mining
and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia 1700
Bulgaria

Alexandre R. Loukanov, University of
Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, Sofia
1700 Bulgaria

* Corresponding author, e-mail:
tonyagev@mail.bg

This report ascertain the hydrolytic loss of the water flow during its cross through a rock filter. The filter is filled with various type materials and it is designed for treatment of mine waters polluted with manganese. The pressure losses are measured at different height of filter layer and water flow. It is done an interpolation of this dependence in graphical and analytical aspect for two types filling at different flow and height of filter layer. It is studied the influence of increased immobilized biomass on the flow hydrodynamics. The analytical results present the relationship between resistance coefficient (ζ) and Reynolds criterion (Re), for the concrete experimental conditions.

Key words: Passive treatment system, manganese removal, rock filter, acid mine waters.

INTRODUCTION

The manganese is definitely the most refractory to precipitation among the heavy metals. In strongly alkaline solutions it precipitated as $MnCO_3$, and at negative redox potentials and pH around the neutral point can be precipitated as MnS . The oxidation of

tetravalentă scade considerabil solubilitatea manganului și îi urmează precipitarea ca MnO_2 . Unele bacterii heterotrofe sunt capabile să oxideze Mn^{2+} în prezența monomerilor organici dizolvați și în jurul punctului neutru [2].

Problema de mediu persistă în zonele apelor cu scurgeri acide în multe locuri miniere active abandonate. Acest fenomen este legat de oxidarea piritei și a altor minerale sulfurice ca și consecință a faptului că apele acide care conțin acid sulfuric, metale grele dizolvate și precipitații de fier solid sunt eliberate în mediu [3].

Filtrele de rocă sunt destinate mai ales pentru eliminarea manganului, dar pot elimina și fierul și compușii organici. Aceste filtre pot fi utilizate individual dar de cele mai multe ori sunt construite ca și componente finali ai sistemelor pasive multi-stadiu, pentru că manganul este cel mai dificil metal de eliminat din apele poluate.

Aceste filtre sunt iazuri cu adâncime mică umplute cu un strat de pietriș inert care suportă creșterea biopeliculelor de alge și Mn^{2+} -bacterii heterotrofe oxidante. Rolul algelor este de a crește pH-ul apelor prin consumul de CO_2 dizolvat și de a asigura bacteriile oxidante Mn^{2+} - cu surse organice de carbon și energie. Filtrele de rocă sunt sisteme aerobe tipice și în unele cazuri sunt înlocuite de zone umede mixte.

Filtrele de rocă sunt alimentate de obicei cu orice materie inertă care poate fi pietriș de râu sau calcar praf. Hidraulica fluxului de apă care trece prin materii diverse este o problemă investigată în numeroase publicații [4,5]. Pierderile hidraulice ale fluxului de apă sunt diferite în timpul trecerii prin această materie iar ele depind de tipul de materie, de grosimea ei, de caracteristicile granulometrice și de suma de organisme de biomasă imobilizate în aceasta.

Scopul prezentei investigații este (i) de a stabili suma de pierderi hidraulice ale fluxului de apă în timpul trecerii sale prin diverse materii inerte în filtrul de rocă și (ii) de a studia influența din biomasă imobilizată

the bivalent manganese to the tetravalent state decreases considerably the solubility of the manganese and follows to its precipitation as MnO_2 . Some heterotrophic bacteria are able to oxidize Mn^{2+} in the presence of dissolved organic monomers and at around the neutral point [2].

Acid drainage waters area persistent environmental problem at many active abandoned mine sites. This phenomenon is connected with the oxidation of pyrite and other sulphide minerals as a result of which acidic waters containing sulphuric acid, dissolved heavy metals and solid iron precipitates are released to the environment [3].

The rock filters are intended mainly for the removal of manganese but can remove also iron and organic compounds. These filters can be used individually but in most cases are constructed as a final component of multistage passive systems, because manganese is the most difficult metal for removing from polluted waters.

These filters are shallow ponds filled with a layer of inert gravel supporting the growth of biofilms of algae and Mn^{2+} -oxidizing heterotrophic bacteria. The role of algae is to increase the pH of waters by consuming the dissolved CO_2 , and to provide the Mn^{2+} - oxidizing bacteria with organic sources of carbon and energy. The rock filters are typical aerobic systems and in some cases are replaced by aerobic or mixed wetlands.

The rock filters are usually filled in with any inert material, which could be river gravel or crushed limestone. The hydraulic of water flow, which pass through various porous materials is a problem, which is investigated in numerous publications [4,5]. The hydraulic losses of water flow are different during the pass through this material and they are depending on the type of material, its thickness, granulometric characteristic, and the amount of microorganism biomass immobilized on it.

The aim of present investigation is (i) to establish the amount of hydraulic loss of

asupra acestor materii.

water flow during its passing through various inert materials in the rock filter and (ii) to study the influence from immobilized biomass on these materials.

MATERII ȘI METODEDE

În acest scop, am aplicat materia de alimentare de la instalația laboratorului de filtru de rocă așa cum se ilustrează în Fig.1. Instalația laboratorului (Fig.1) include filtrul de rocă, vasul pentru soluția de alimentare, pompa peristaltică și vasul colector.

MATERIAL AND METHODS

For that purpose we applied filling material from laboratory installation of rock filter as it is shown on Fig.1. The laboratory installation (Fig.1) includes rock filter, vessel for the feed solution, peristaltic pump and collector vessel.

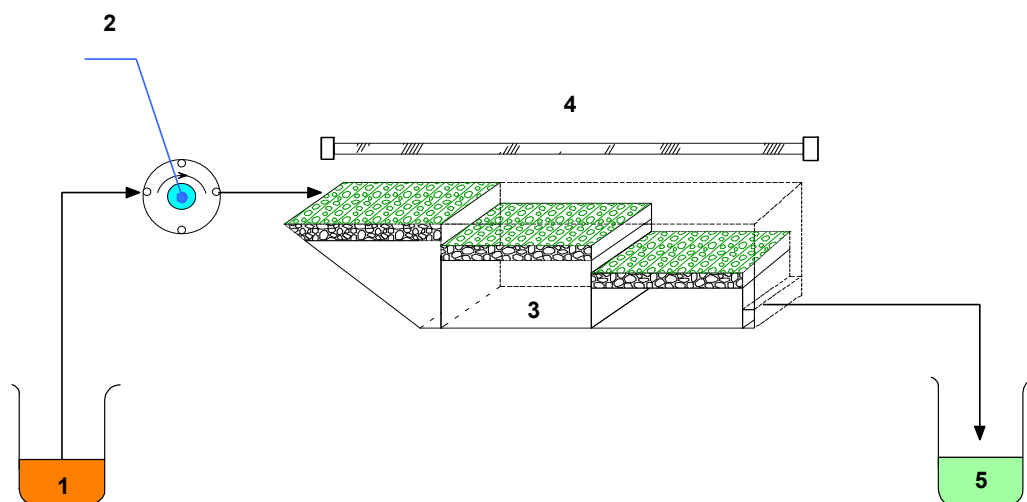


Fig 1. Instalația laboratorului de filtru de rocă pentru tratarea apei poluate de mangan. 1 – Rezervorul de furnizare, 2 – Pompa peristaltică, 3 – filtrul de rocă , 4 – Sursa de lumină artificială, 5 – Rezervorul colector.

Fig 1. Laboratory installation of rock filter for treatment manganese polluted water. 1 – Supply reservoir, 2 – Peristaltic pump, 3 – Rock filter, 4 – Artificial light source, 5 – Collector reservoir.

Filtrul de rocă este construit cu trei secțiuni identice cu volumul de lucru 12 dm^3 și suprafața totală a oglinzii apei este de aproximativ 0.37 m^2 . Camerele de filtru sunt alimentate cu pietriș de râu cu diametrul mediu al particulei de 20–50 mm, așa cum este purificat în preliminar din particule mai mici de 10 mm și mai mari de 60 mm. Conținuturile granulometrice ale materiilor de alimentare folosite sunt ilustrate în Tabelul 1. Media diametrului particulei este calculată pe baza conținuturilor granulometrice cunoscute a calcarului și/sau a pietrișului de râu. În acest caz, se acceptă - $d_{av}(\text{pietriș})=0.0345\text{m}$ și

The rock filter is constructed with three identical sections with working volume 12 dm^3 and total surface of the water mirror is about 0.37 m^2 . The filter cameras are filled with river gravel with average particle diameter of 20–50 mm, as it is preliminarily purified from the particles smaller than 10 mm and bigger than 60 mm. The granulometric contents of used filling materials are shown in Table 1. The average particle diameter is calculated based on the known granulometric contents of limestone and or river gravel. In this case it is accepted - $d_{av}(\text{gravel})=0.0345\text{m}$ and

$d_{av}(\text{calcar})=0.0301\text{m}$.

$d_{av}(\text{limestone})=0.0301\text{m}$.

Tabelul 1. Distribuția granulometrică a diverselor tipuri de materii inerte folosite în filtrul de rocă.

Table 1. Granulometric distribution of various type inert materials used in rock filter.

Dimensiunea granulei, mm	+50	- 50 ÷ +40	- 40 ÷ +30	- 30 ÷ +20	-20
Pietriș, %	4.6	26.5	36.5	24.2	8.2
Calcar, %	2.7	15.4	29.4	35.3	17.2

Grain size, mm	+50	- 50 ÷ +40	- 40 ÷ +30	- 30 ÷ +20	-20
Gravel, %	4.6	26.5	36.5	24.2	8.2
Limestone, %	2.7	15.4	29.4	35.3	17.2

Camerele sunt localizate în poziția potrivită care permite curentul neîmpiedicat al apei prin filtru. La capătul filtrului se află un amortizor de volum de 1.0 dm^3 care realizează media apei totale de circulație și joacă rolul unei camere de precipitații. De acolo începe intrarea canalului de apă tratată în rezervorul colector. Inițial, filtrul de rocă este alimentat cu soluție de sol bogată în microfloră tipică și îmbogățită suplimentar cu surse de fosfor și nitrogen. După aceea filtrul de rocă este inoculat cu cultura mixtă de bacterii de mangan oxidante, care sunt în preliminar adaptate la traiul în mediul cu concentrație mare de Mn^{2+} . Biopeliculele de alge și unele bacterii heterotrofe s-au dezvoltat pe suprafețele externe ale materiei de alimentare. Formarea acestor biopelicule a fost facilitată de aplicarea unei surse de lumină artificială.

The cameras are located in appropriate position, which allows unimpeded stream of water trough the filter. In the filter end there is 1.0 dm^3 buffer volume, which averages the amount outgoing water and play role as a precipitated camera. From it's the stream treated water entrance in the collector reservoir. Initially the rock filter is filled with soil solution rich with the typical microflora and additional enriched with sources of phosphorus and nitrogen. After that the rock filter is inoculated with mixed culture of manganese-oxidative bacteria, which are preliminary adapted for living in environment with high Mn^{2+} concentration. Biofilms of algae and some heterotrophic bacteria were developed on the external surfaces of the filling material. The formation of these biofilms was facilitated by the application of artificial light source.

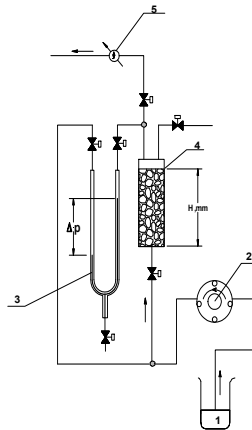


Fig.2. Schema instalației de laborator pentru determinarea fluxului hidrodinamic la diverse tipuri de materii de alimentare în filtrul de rocă.

Fig.2. Laboratory installation scheme for determination of the flow hydrodynamic at various types filling material in the rock filter.

Instalația folosită pentru investigarea fluxului hidrodinamic la trecerea prin volumul filtrului de rocă este prezentată în Fig. 2. Această instalație reprezintă coloana de sticlă închisă ermetic – 4, alimentată cu materia investigată (râu sau calcar – aceeași care s-a folosit la instalația de laborator a filtrului de rocă), pompa peristaltică – 2, vasul de alimentare – 1, care alimentează coloana cu apă. Prin aplicarea manometrului diferențial figurativ U – 3, se poate măsura presiunea diferită din intrarea și ieșirea coloanei în diverse ieșiri (de ex., rapoarte) de flux și la diverse niveluri de alimentare cu materie inertă. Pentru o măsurare mai precisă a valorilor ratelor de flux se folosește metrul de flux al apei – 5.

The used installation for investigation of the flow hydrodynamic at passing through the volume of rock filter is shown on Fig. 2. This installation represent hermetic closed glass column – 4, filled with the investigated material (river or limestone – the same used in the laboratory installation of the rock filter), peristaltic pump – 2, feeding vessel – 1, which supply the column with water. By applying of U-figurative differential manometer – 3, it might be measured the pressure different in the column entrance and exit at various outputs (i.e. rates) of the flow and various level of filling with inert material. For more precisely measuring of flow rate values is used water flow meter – 5.

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru a atinge scopul general al acestei investigații, materia folosită ca suport inert al filtrului de rocă (vezi Fig. 1) a fost pusă într-o coloană de sticlă a instalației de laborator (Fig. 2). În această instalație s-au realizat serii de măsurători ale presiunii diferite din terminalele coloanei. În acel experiment coloana a fost alimentată cu pietriș, calcar și calcar cu biomasă imobilizată.

În investigările anterioare [1] s-a constatat

RESULTS AND DISCUSSION

To realize the general purpose of this investigation, the material used as inert bearer in rock filter (see Fig. 1) was putted in a glass column of the laboratory installation (Fig. 2). In this installation were performed series measuring of the pressure different in the column terminals. In that experiment the column was filled with gravel, limestone and limestone with immobilized biomass.

In previous investigations [1] it was

că, în cazul tratării apelor reziduale poluate cu Mn^{2+} , cele mai bune rezultate sunt atinse în filtrul de rocă alimentat cu praf de calcar. Din acest motiv, în cea de-a treia variantă a investigației, alegem calcarul cu biomasa imobilizată care a fost pregătit în filtrul de laborator (Fig. 1). Astfel, se determină pierderile hidraulice (Δp [Pa]) la înălțimi diferite ale materiei de alimentare și la diferite cote de flux al apei.

Măsurătorile realizate reușesc să completeze între pierderea de presiune Δp [Pa] și cota de flux $-Q$ [m³/s] sub diverse înălțimi ale materialelor de alimentare $-H$ [m](tabelul 2).

Relații conforme:

$$Re = \frac{w \cdot d_{\text{ekb}} \cdot \rho}{\mu} \quad (1)$$

$$\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho w^2}{2} \quad (2)$$

$$\xi = \frac{2\Delta p}{\rho w^2} \quad (3)$$

$$w = \frac{Q}{f} \quad (4)$$

Unde: Re - numărul Reynolds, d_{eq} (m)– diametrul interior echivalent al coloanei, ρ (kg/m³)- densitatea apei, μ (Pa.s) – vâscozitatea dinamică a apei, w (m/s) – viteza fluxului mediu de apă, ξ - coeficientul de pierdere (rezistență), Q (m³/s) – cota de flux a apei, f (m²) – zona secțiune echivalentă a apei din coloană.

Valorile diferite ale diametrelor echivalente ale coloanei sunt determinate experimental pentru diverse tipuri de materii de alimentare (pietriș de râu - d_{eq} (pietriș)=0.029m și calcar - d_{eq} (calcar)=0.025m) la diametrul geometric al coloanei de 0.08 m (vezi Fig. 2).

În conformitate cu măsurătorile realizate de Δp la diverse înălțimi H (m) de alimentare și la diverse cote de flux Q (m³/s) al apei sunt completate relațiile - $\Delta p=f(Q)$. Se constată

found, that in the case of treatment of polluted with Mn^{2+} wastewaters, and the best results are achieved in rock filter filled with crushed limestone. Due to this reason in the third variant of the investigation we chose limestone with immobilized biomass, which was prepared in the laboratory filter (Fig. 1). In such a way were determined the hydraulic losses (Δp [Pa]) at various height of filling material and different flow rate of water.

The performed measurements enable to plot the depending between pressure loss- Δp [Pa] and flow rate $-Q$ [m³/s] under different height of filling materials- H [m](table 2).

According dependences:

Where: Re - Reynolds number, d_{eq} (m)– equivalent inside diameter of the column, ρ (kg/m³)- density of water, μ (Pa.s) - dynamic viscosity of a water, w (m/s) - average flow velocity of water, ξ - loss(resistance) coefficient, Q (m³/s) - flow rate of the water, f (m²) - equivalent cross-sectional area of water in column.

The different values for equivalent column diameters are experimentally determined for various types filling materials (river gravel- d_{eq} (gravel)=0.029m și limestone - d_{eq} (limestone)=0.025m) at geometrical column diameter of 0.08 m (see Fig. 2).

According to the performed measurements of Δp at various height H (m) of filling and various flow rate Q (m³/s) of water are plotted the dependences - $\Delta p=f(Q)$. It is found the dependences $\Delta p=f(Re)$ and

relațiile $\Delta p=f(Re)$ și $\xi=f(Re)$ la diverse valori ale înălțimii nivelului de filtrare din filtrul de rocă $H(m)$. Are un interes deosebit aspectul grafic și analitic extrapolat al relației $\xi=f(Re)$ în diverse condiții și variante ale filtrului de rocă.

Aceste relații permit determinarea coeficientului de pierdere (rezistență) (ξ) în diverse condiții hidrodinamice la filtrul de rocă. Expresiile analitice obținute s-ar putea folosi pentru determinarea pierderilor hidraulice în timpul tratării apelor reziduale din filtrul de rocă cu mai multe înălțimi și tipuri de materii de alimentare.

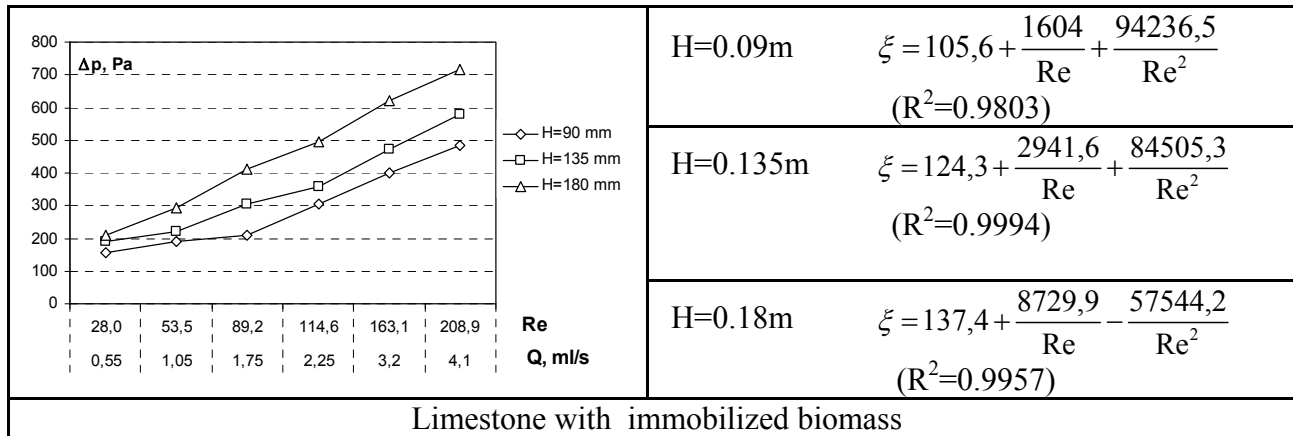
$\xi=f(Re)$ at different values of the height of filtration level in the rock filter $H(m)$. It is of high interest the extrapolative graphical and analytical aspect the dependence of $\xi=f(Re)$ at different conditions and variants of the rock filter.

These dependences allow determining the loss (resistance) coefficient(ξ) at various hydrodynamical conditions in the rock filter. The obtained analytical expressions could be used for determination of hydraulic losses during treatment of wastewaters in rock filter with various height and types of filling material.

Tabelul 2. Scăderea presiunii din filtrul de rocă la diverse tipuri de materie inertă de umplere și relațiile extrapolare dintre coeficientul de pierdere (rezistență) (ξ) și numărul Reynolds (Re).

Table 2. Pressure fall in rock filter at various type of inert filling material and extrapolative dependences between loss (resistance) coefficient (ξ) and Reynolds number (Re).

	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>H=0.09m</td> <td>$\xi = 78,2 + \frac{4135,2}{Re} + \frac{45982,2}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)</td> </tr> <tr> <td>H=0.135m</td> <td>$\xi = 101,1 + \frac{6394,7}{Re} + \frac{7440,8}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)</td> </tr> <tr> <td>H=0.18m</td> <td>$\xi = 112,7 + \frac{11430,8}{Re} + \frac{105865,5}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)</td> </tr> </tbody> </table>	H=0.09m	$\xi = 78,2 + \frac{4135,2}{Re} + \frac{45982,2}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)	H=0.135m	$\xi = 101,1 + \frac{6394,7}{Re} + \frac{7440,8}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)	H=0.18m	$\xi = 112,7 + \frac{11430,8}{Re} + \frac{105865,5}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)
H=0.09m	$\xi = 78,2 + \frac{4135,2}{Re} + \frac{45982,2}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)						
H=0.135m	$\xi = 101,1 + \frac{6394,7}{Re} + \frac{7440,8}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)						
H=0.18m	$\xi = 112,7 + \frac{11430,8}{Re} + \frac{105865,5}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)						
River gravel							
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>H=0.09m</td> <td>$\xi = 96,1 + \frac{2767,3}{Re} + \frac{70348,9}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)</td> </tr> <tr> <td>H=0.135m</td> <td>$\xi = 117,4 + \frac{4475,1}{Re} + \frac{47532}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)</td> </tr> <tr> <td>H=0.18m</td> <td>$\xi = 130,8 + \frac{9890,4}{Re} + \frac{79183,7}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)</td> </tr> </tbody> </table>	H=0.09m	$\xi = 96,1 + \frac{2767,3}{Re} + \frac{70348,9}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)	H=0.135m	$\xi = 117,4 + \frac{4475,1}{Re} + \frac{47532}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)	H=0.18m	$\xi = 130,8 + \frac{9890,4}{Re} + \frac{79183,7}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)
H=0.09m	$\xi = 96,1 + \frac{2767,3}{Re} + \frac{70348,9}{Re^2}$ ($R^2=0.9933$)						
H=0.135m	$\xi = 117,4 + \frac{4475,1}{Re} + \frac{47532}{Re^2}$ ($R^2=0.9968$)						
H=0.18m	$\xi = 130,8 + \frac{9890,4}{Re} + \frac{79183,7}{Re^2}$ ($R^2=0.9935$)						
Limestone							



Pe baza acestor date, am complotat relațiile dintre coeficientul de pierdere (rezistență) (ξ) și numărul Reynolds (Re) pentru înălțimile diferite ale alimentării filtrului. Aspectul grafic și analitic extrapolat al relației $\xi=f(Re)$ în diverse condiții și variantele de filtru de rocă sunt prezentate în Tabelul 2. Aceste relații permit determinarea valorii coeficientului de pierdere (rezistență) ξ în diverse condiții hidrodinamice în filtrul de rocă.

CONCLUZII

Se constată fluxul hidrodinamic pentru trecerea apelor reziduale prin volumul filtrului de rocă în condițiile de laborator. Am măsurat pierderea presiunii la diverse cote de flux și înălțimea stratului filtrului. Este complotată interpolarea relației $\xi=f(Re)$, în aspectul grafic și analitic pentru trei variante de alimentare la diverse cote de flux și înălțimea materiei filtrului. Se creează expresii analitice originale care redau relația dintre coeficientul de pierdere (rezistență) (ξ) și numărul Reynolds (Re). Expresia obținută poate fi folosită pentru determinarea pierderilor hidraulice la tratarea apelor reziduale din filtrul de rocă la mai multe înălțimi și tipuri de materii de alimentare. Aceleași relații se pot aplica pentru desemnarea instalațiilor industriale reale ale filtrelor de rocă pentru tratarea apelor reziduale poluate cu mangan.

Based on these data we plotted the dependences between loss (resistance) coefficient (ξ) and Reynolds number (Re) for various heights of filter filling. The extrapolative graphical and analytical aspect of the dependence $\xi=f(Re)$ at different conditions and variants of rock filter are presented in Table 2. These dependences enable to determine the coefficient value of loss (resistance) coefficient ξ at different hydrodynamical conditions in the rock filter.

CONCLUSION

It is found the flow hydrodynamics for passing of the wastewater through rock filter volume in laboratory conditions. We measured the pressure loss at various flow rate and filter layer height. It is plotted the interpolation of the dependence $\xi=f(Re)$, in graphical and analytical aspect for three variants of filling at various flow rate and filter material height. It is created original analytical expressions, which give the relationship between the coefficient of loss (resistance) coefficient (ξ) and Reynolds number (Re). The obtained expressions might be used for determination of hydraulic losses at treatment of wastewaters in rock filter with various height and type of the filling material. The same dependences can be applied for the design of real industrial installations of rock filters for treatment of manganese polluted wastewaters.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Angelov, A.T. și S.G. Bratkova, Influența ionilor de Fe^{2+} asupra procesului de eliminare biologică de mangan în filtrul de rocă, “Jurnalul științific Trakia”, Vol. 8, Suppl. 2, pp. 506-510, 2010.
- [2]. Ghiorse, W.C. and Ehrlich, H.L., Biomineralizarea microbiană a fierului și manganului, În Procese de biomineralizare ale fierului și manganului, ed. De H.C.W. Skinner și R.W. Fitzpatrick, Catena, Supliment, 21:75-100, 1992.
- [3]. Gusek, J.J. și Wildeman, T.R., Noi dezvoltări în tratamentul pasiv al scurgerilor de roci acide, Lucrare prezentată la Conferința fundației de inginerie asupra soluțiilor tehnice pentru prevenirea poluării în industriile de prelucrare minieră și minerală, Palm Coast, Florida, 22-27 ianuarie 1995.
- [4]. Huizenga, P. și Kuipers, J.A.M. și Swaaij van, W.P.M., Un model hidrodinamic bidimensional de sistem de suspensie cu filtre scufundate, Știința ingineriei chimice, 58 (2), pp. 457-472, ISSN 0009-2509, 2003.
- [5] Palica M. și K. Chmel, Descrierea hidraulică a albiilor biologice – generalizare, Chem. Biochem. Eng. Q., 16 (4), pp.159-163, 2002.

REFERENCES

- [1] Angelov, A.T. and S.G. Bratkova, Influence of Fe^{2+} ions on the process of biological removal of manganese in rock filter, “Trakia Journal of Sciences”, Vol. 8, Suppl. 2, pp. 506-510, 2010.
- [2] Ghiorse, W.C. and Ehrlich, H.L., Microbial biomineralization of iron and manganese, In Biomineralization processes of iron and manganese, ed. by H.C.W. Skinner and R.W. Fitzpatrick, Catena, Supplement, 21:75-100, 1992.
- [3] Gusek, J.J. and Wildeman, T.R., New developments in passive treatment of acid rock drainage, Paper presented at the Engineering Foundation Conference on Technical Solutions for Pollution Prevention in the Mining and Mineral Processing Industries, Palm Coast, Florida, January 22-27, 1995.
- [4] Huizenga, P. and Kuipers, J.A.M. and Swaaij van, W.P.M., A two-dimensional hydrodynamic model of a slurry system with immersed filters, Chemical Engineering Science, 58 (2), pp. 457-472, ISSN 0009-2509, 2003.
- [5] Palica M. and K. Chmel, Hydraulic Description of Biological Beds - a Generalized, Chem. Biochem. Eng. Q., 16 (4), pp.159-163, 2002.