

Dorota Kluk

*Instytut Nafty i Gazu, Oddział Krosno*

## Badania nad usuwaniem osadów i składników tworzących osady z wód zatłaczanych w aspekcie wydłużenia czasu pracy odwiertu chłonnego

### Wstęp

W ostatnich latach powszechnym sposobem zagospodarowania wód złożowych stosowanym w górnictwie nafty i gazu stało się ich powrotne zatłaczanie do horyzontów chłonnych. Wprowadzanie wody w warstwę chłonną jest zagadnieniem złożonym, wymagającym odpowiednich badań hydrogeologicznych w celu ustalenia warunków prowadzenia procesu.

Jednym z warunków, które powinny być zachowane podczas zatłaczania wód złożowych/odpadów, jest zachowanie niezmienności przepuszczalności w przepływie wtłaczanego płynu w wybranej warstwie geologicznej, czyli kompatybilność zrzucanego płynu z wybraną skałą zbiornikową [4]. Należy zatem monitorować jakość zatłaczanych wód w trakcie procesu.

Niedostateczne oczyszczenie zatłaczanych wód złożowych z osadów i zawiesin (drobiny skalne, koloidalna krzemionka, tlenki i wodorotlenki metali – zwłaszcza żelaza i manganu, powstające i wytrącające się z wód złożowych pod

wpływem przemian chemicznych i fizycznych, jakie zachodzą w trakcie całego procesu eksploatacji płynów złożowych) powoduje radykalne obniżenie przepuszczalności skał zbiornikowych strefy przyodwiertowej, stanowiącej najbardziej newralgiczny obszar, w którym zachodzą zjawiska mające decydujący wpływ na charakter pracy odwiertu chłonnego.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki analizy wody kopalnianej (wody złożowej mającej kontakt z powietrzem atmosferycznym i środkami wspomagającymi proces eksploatacji) przeznaczonej do powrotnego zatłoczenia do górotworu. Ponadto zaprezentowano wyniki laboratoryjnych testów procesu grawitacyjnej filtracji przez różne materiały filtracyjne.

Dokładne oczyszczenie wód zatłaczanych z osadów przyczyni się do zwiększenia objętości wód możliwych do zatłoczenia do złoża poprzez ograniczenie zjawiska kolmatacji strefy przyodwiertowej, odpowiedzialnego za zmniejszenie chłonności odwiertu.

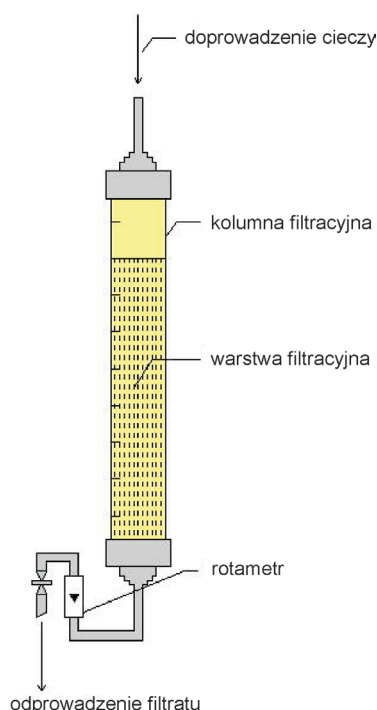
### Materiał badawczy i metodyka analityczna

W pierwszym etapie badań wykonano analizę fizykochemiczną wody kopalnianej przeznaczonej do zatłoczenia do odwiertu chłonnego, pobranej ze zbiornika Ośrodka Zbioru Grupowego (OZG). Zbiornik ten gromadzi mieszaninę wód kopalnianych dowożonych okresowo autocysternami z okolicznych kopalń.

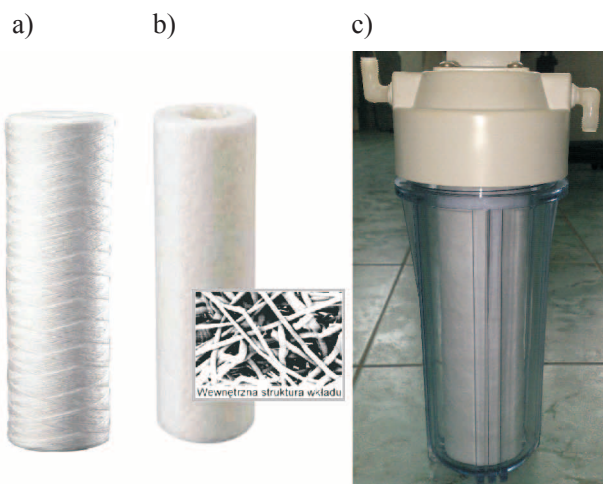
W kolejnym etapie badań przeprowadzono laboratoryjny proces grawitacyjnej filtracji analizowanej wody z wykorzystaniem warstw filtracyjnych, którymi były:

- złoża chemicznie nieaktywne w postaci piasku kwarcowego o wielkości ziaren  $0,595 \div 1,19$  mm (16/30 mesh) oraz  $0,420 \div 0,841$  mm (20/40 mesh),
- złożo oksydacyjne w postaci naturalnej rudy manganu o handlowej nazwie Pyrolox o gęstości nasypowej  $2000 \text{ g/dm}^3$  i granulacji  $0,84 \div 2,36$  mm (8/40 mesh),
- węgiel bitumiczny o handlowej nazwie Organosorb-10 o gęstości nasypowej  $420 \pm 40 \text{ g/dm}^3$  i uziarnieniu  $0,425 \div 1,7$  mm (12/40 mesh).

Proces grawitacyjnej filtracji wody kopalnianej prowadzono w sposób dynamiczny z wykorzystaniem ww. złożeń w instalacji doświadczalnej przedstawionej na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego



Fot. 1. Filtry świecowe typu rurowego: a – sznurkowy, b – FRN, c – wkład filtracyjny w obudowie

Każdą z badanych mas filtracyjnych umieszczono poprzez grawitacyjne zasycanie kolumny filtracyjnej o wysokości 60 cm i średnicy wewnętrznej 2 cm. Wysokość warstwy filtracyjnej wynosiła 50 cm. Warstwa filtracyjna ograniczona była od góry i dołu metalową siatką o gęstości splotu mniejszej od uziarnienia złoża filtracyjnego. Oczyszczana woda podawana była od góry na kolumnę filtracyjną w sposób zapewniający całkowite zalanie złoża. Cykl pracy modelu złoża ustalano na podstawie wydatku

objętościowego prowadzonego procesu oraz wyników fizykochemicznej analizy odbieranego filtratu.

Przeprowadzono również testy efektywności procesu grawitacyjnej filtracji dla filtrów świecowych typu rurowego wykonanych z polipropylenu. Przebadano filtry:

- sznurkowe – (włókno polipropylenowe nawinięte na rdzeń filtracyjny) zatrzymujące zanieczyszczenia mechaniczne o grubości ziaren powyżej 5 μm (fotografia 1a),
- nominalne wkłady filtracyjne (FRN). Wkłady te są wykonywane z polipropylenu w technologii *melt blown*. Stopiony polimer jest rozdmuchiwany strumieniem gorącego powietrza, tworząc cienkie włókna o mikrometrowych średnicach. Wciąż jeszcze gorące włókna we wszystkich punktach wzajemnego stykania się tworzą mikromostki, które następnie utrwalają się w procesie stygnięcia. Efektem tego jest trójwymiarowa, sztywna sieć połączonych ze sobą włókien. Tak dobrana struktura stanowi warstwę filtracyjną odporną na zgniatanie. Wkłady filtracyjne FRN składają się z jednej warstwy filtracyjnej nawiniętej na sztywny, polipropylenowy rdzeń. Porowatość warstwy zmienia się w taki sposób, aby zminimalizować spadek ciśnienia i zmaksymalizować chłonność wkładu (fotografia 1b). Przetestowano wkłady filtracyjne FRN o zdolności zatrzymywania cząstek większych od 5 μm i 10 μm.

Kontrola analityczna odbieranego filtratu obejmowała pomiar mętności i zawartości substancji nierozpuszczonych, żelaza i manganu w funkcji objętości oczyszczonej wody.

Na podstawie otrzymanych wyników analizy fizykochemicznej wody kopalnianej z OZG i odbieranego filtratu obliczono efektywność [%] procesu filtracji ze wzoru:

$$E = [(C_d - C_o)/C_d] \cdot 100\% \quad (1)$$

w którym:

$C_d$  – wartość składnika/parametru w dopływie do filtra,  
 $C_o$  – wartość składnika/parametru w odpływie z filtra.

Zebrane wyniki badań pozwoliły na obliczenie pojemności masowych poszczególnych złożów filtracyjnych w zależności od prędkości prowadzonych cykli grawitacyjnej filtracji. Pojemność masową PM [g/m<sup>2</sup>] względem żelaza, manganu i substancji nierozpuszczonych obliczano ze wzoru:

$$PM = t \cdot V_f \cdot (C_d - C_o) \quad (2)$$

w którym:

$t$  – długość cyklu filtracyjnego [h],  
 $V_f$  – prędkość filtracji na jednostkę powierzchni [m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>],

$C_d$  – wartość składnika/parametru w dopływie do filtra,  
 $C_o$  – wartość składnika/parametru w odpływie z filtra.

Długość cyklu filtracyjnego ustalano indywidualnie dla poszczególnych materiałów filtracyjnych w oparciu

o wydatek objętościowy procesu filtracji oraz o jakość uzyskiwanego filtratu. W trakcie cyklu filtracyjnego zmniejsza się bowiem porowatość złoża, co powoduje stopniowy wzrost oporów filtracyjnych, prowadząc do zakończenia cyklu filtracji.

### Badania laboratoryjne grawitacyjnego procesu filtracji wody kopalnianej

Analiza fizykochemiczna wody przeznaczonej do zatłoczenia, pobranej ze zbiornika OZG, wykazała, że charakteryzuje się ona parametrami: pH =  $7,12 \pm 0,007$ , Eh =  $+200 \pm 0,08$  mV, gęstość ( $20^\circ\text{C}$ ) =  $1,038 \pm 0,0003$  g/cm<sup>3</sup>, mętność =  $272 \pm 0,16$  FAU (*Fomazine Attenuation Units*) oraz zawartością: substancji rozpuszczonych –  $60\,920 \pm 5,2$  mg/dm<sup>3</sup>, substancji nierozpuszczonych –  $160 \pm 0,04$  mg/dm<sup>3</sup>, SPCz (substancji powierzchniowo czynnych) anionowych –  $6,8 \pm 0,02$  mg/dm<sup>3</sup>, SPCz niejonowych –  $64 \pm 0,07$  mg/dm<sup>3</sup>, sodu –  $16\,653 \pm 1,1$  mg/dm<sup>3</sup>, potasu –  $372 \pm 0,09$  mg/dm<sup>3</sup>, wapnia –  $1683 \pm 0,10$  mg/dm<sup>3</sup>, magnezu –  $510 \pm 0,09$  mg/dm<sup>3</sup>, żelaza –  $35 \pm 0,007$  mg/dm<sup>3</sup>, manganu –  $4,6 \pm 0,005$  mg/dm<sup>3</sup>, węglanów – n.s., wodorowęglanów –  $1738 \pm 0,10$  mg/dm<sup>3</sup>, chlorków –  $31\,905 \pm 6,2$  mg/dm<sup>3</sup>, siarczanów –  $558 \pm 0,12$  mg/dm<sup>3</sup>.

Niepewność wyników pomiarów poszczególnych parametrów fizykochemicznych oszacowano na podstawie odchylenia standardowego.

Wyniki efektywności laboratoryjnych testów filtracji przeprowadzonych z wykorzystaniem różnych warstw filtracyjnych w instalacji, której schemat przedstawiono na rysunku 1, zilustrowano na rysunkach 2, 3 i 5. Natomiast wyniki badania procesu filtracji przez filtry świecowe typu rurowego umieszczone w obudowie (fotografia 1) – na wykresach 4 i 5.

Prowadzenie procesu filtracji wody kopalnianej na złożu porowatym powoduje jej oczyszczenie głównie poprzez procesy fizyczne zachodzące w złożu, takie jak [1, 2, 5]:

- cedzenie zawiesin zawartych w wodzie wpływającej na filtr,
- sedymentację zawiesin nad złożem filtra oraz w porach międzyziarnowych,
- dyfuzję najdrobniejszych cząstek zawartych w wodzie, które nie podlegają procesowi sedymentacji,
- przyciąganie cząstek zawiesiny przez siły elektrokinetyczne występujące na powierzchni ziaren złoża.

Cykl prowadzonej w skali laboratoryjnej filtracji umożliwił oczyszczenie poniższych objętości wody kopalnianej:

- 8 dm<sup>3</sup> na złożach piasku kwarcowego,
- 12 dm<sup>3</sup> na złożu węgla aktywnego,

- 6 dm<sup>3</sup> na złożu Pyrolox oraz
- 50 dm<sup>3</sup> na filtrach świecowych.

Wykonane badania filtracji na złożu piasku kwarcowego o różnej ziarnistości wykazały wyższą efektywność prowadzenia filtracji na złożu o mniejszym uziarnieniu.

Dla obydwu złóż najwyższy efekt oczyszczenia wody kopalnianej uzyskano po przefiltrowaniu 1 dm<sup>3</sup>. Otrzymany filtrat charakteryzował się obniżeniem:

- mętności – o 80% (piasek 16/30 mesh) oraz o 92% (piasek 20/40 mesh),
- zawartości substancji nierozpuszczonych – o 72% (piasek 16/30 mesh) oraz o 84% (piasek 20/40 mesh),
- zawartości żelaza – o 37% (piasek 16/30 mesh) oraz o 94% (piasek 20/40 mesh),
- w stosunku do oczyszczanej wody.

W przypadku piasku o ziarnistości  $0,595 \div 1,190$  mm odnotowano sukcesywny spadek efektywności oczyszczania wody, podczas gdy w przypadku piasku o uziarnieniu  $0,420 \div 0,841$  mm spadek efektywności następował dopiero po przefiltrowaniu 5 dm<sup>3</sup> oczyszczanej wody. Po przefiltrowaniu przez złożę piaskowe 6 dm<sup>3</sup> wody uzyskano już tylko obniżenie (rysunek 4):

- mętności o 29% (piasek 16/30 mesh) oraz o 88% (piasek 20/40 mesh),
- zawartości substancji nierozpuszczonych o 22% (piasek 16/30 mesh) oraz o 70% (piasek 20/40 mesh),
- zawartości żelaza – o 9% (piasek 16/30 mesh) oraz o 86% (piasek 20/40 mesh).

Efektywność usuwania manganu z oczyszczanej wody kształtowała się na poziomie od 15% do 6% (dla piasku o uziarnieniu  $0,595 \div 1,190$  mm) oraz od 24% do 15% (dla piasku o uziarnieniu  $0,420 \div 0,841$  mm) od początku procesu do przefiltrowania 6 dm<sup>3</sup> wody. Z uwagi na znikomy efekt oczyszczania wody proces filtracji zakończono po przefiltrowaniu 8 dm<sup>3</sup> wody.

Zatrzymane w złożu w czasie cyklu filtracyjnego cząsteczki, głównie związków żelaza i manganu oraz drobiny skały zbiornikowej wynoszone wraz z wydobywanym płynem złożowym, zmniejszają porowatość złoża, w wyniku czego rosną jego straty hydrauliczne.

Wraz ze zmniejszaniem się porowatości złoża przepływ

wody powoduje wzrost sił ścinających. Jeżeli ich wartość będzie większa od sił wiążących osad ze złożem, nastąpi oderwanie części osadu i przeniesienie go w głąb złoża. Osad ten może zostać zatrzymany w dalszych warstwach złoża lub być wymyty wraz z filtratem – następuje przebiecie filtra. Zjawisko takie zaobserwowano podczas filtracji prowadzonej na złożu piasku o uziarnieniu  $0,420 \div 0,841$  mm.

Oderwanie cząstek osadu od porów złoża przez siły wywołane przepływem zaobserwowano po przefiltrowaniu przez złożo  $3,5 \text{ dm}^3$  wody kopalnianej. Pobrane w tym czasie frakcje filtratu wykazały gwałtowne podwyższenie jego mętności (z 2 FAU do 11 FAU), zawartości substancji nierozpuszczonych (z  $20 \text{ mg/dm}^3$  do  $35 \text{ mg/dm}^3$ ), żelaza (z  $2,0 \text{ mg/dm}^3$  do  $4,2 \text{ mg/dm}^3$ ) i manganu (z  $3,4 \text{ mg/dm}^3$  do  $3,9 \text{ mg/dm}^3$ ).

Zaletą złoż piaskowych jest możliwość płukania ich po zakończeniu cyklu filtracji. Polega ona na przepuszczeniu od dołu przez złożo filtracyjne strumienia wody z intensywnością zapewniającą poruszenie warstwy złoża filtracyjnego i wprowadzenie w ruch jego ziaren, które pod wpływem zderzeń i tarcia umożliwiają usunięcie osadu odłożonego zarówno w porach złoża, jak i na powierzchni ziaren. Po przeprowadzonym procesie płukania złoża piaskowe służą do ponownego użytku.

Złożo Organosorb-10 należy do złoż filtracyjnych sorpcyjnych, charakteryzujących się dużą porowatością i rozwiniętą powierzchnią ziaren. Dzięki temu wykazuje dobre własności do zatrzymywania zanieczyszczeń zarówno na powierzchni ziaren, jak i w porach.

W praktyce złożo filtracyjne Organosorb-10 stosowane jest głównie do oczyszczania wody ze związków organicznych.

Podczas prowadzenia procesu filtracji na złożu węgla aktywnego Organosorb-10 zanotowano wysoką efektywność oczyszczania wody kopalnianej:

- Mętność uległa obniżeniu nawet o 100% podczas filtrowania  $6 \div 7,5 \text{ dm}^3$  oczyszczanej wody.
- Najwyższe obniżenie zawartości substancji nierozpuszczonych zanotowano po przefiltrowaniu  $8 \text{ dm}^3$  oczyszczanej wody. Zawartość zanieczyszczeń obniżyła się ze  $160 \text{ mg/dm}^3$  do  $8 \text{ mg/dm}^3$ , co stanowi 95-procentowy ubytek masy.
- Zawartość żelaza ogólnego w wodzie obniżyła się z  $35 \text{ mg/dm}^3$  do  $0,9 \text{ mg/dm}^3$  (97% efektywności jego usunięcia).

Należy zaznaczyć, że woda złożowa oczyszczana w procesie filtracji była wodą kopalnianą pobraną ze zbiornika Ośrodka Zbioru Grupowego Krasne. Zbiornik ten gromadzi wodę, która jest przewożona z poszczególnych

kopalń autocysterną. Woda ta w głównej mierze stanowi wodę złożową, gdzie żelazo występuje w postaci rozpuszczalnych soli Fe(II). Jednak podczas transportu żelazo(II) ulega częściowemu utlenieniu, przechodząc w koloidalną postać Fe(III). Tak więc oczyszczana w procesie filtracji woda zawiera w swym składzie zarówno jony żelaza dwu-, jak i trójwartościowego.

Analiza fizykochemiczna filtratu otrzymanego po oczyszczaniu wody kopalnianej na złożu Organosorb-10 wykazała obecność żelaza ogólnego przy jednoczesnym uzyskaniu wartości mętności FAU poniżej granicy oznaczalności. Świadczy to o tym, że filtrat zawierał jedynie jony Fe(II).

Tak wysoka efektywność oczyszczania wody kopalnianej utrzymywała się do  $10 \text{ dm}^3$  filtrowanej cieczy, po czym nieznacznie się obniżyła.

Podczas prowadzenia oczyszczania wody kopalnianej przez złożo Organosorb-10 odnotowano również obniżenie zawartości manganu w granicach:  $23 \div 9\%$ .

Proces filtracji zakończono po przefiltrowaniu  $12 \text{ dm}^3$  wody z uwagi na niewielką wydajność objętościową prowadzonego procesu filtracji oczyszczanej wody, wynoszącą  $1,3 \text{ dm}^3/\text{h}$  (rysunek 5).

Złożo Pyrolox należy do grupy złoż chemicznie aktywnych, wchodzących w reakcje chemiczne ze składnikami zawartymi w oczyszczanej wodzie.

W przypadku dopływu na filtr wody z zawartością żelaza dwu- i trójwartościowego w czasie przepływu przez złożo oksydacyjne następuje proces heterogenicznego utleniania przy udziale powłok katalitycznych ziaren złoża [1, 3].

Podczas filtracji wody kopalnianej zawierającej jony żelaza i manganu w postaci zredukowanej na złożu oksydacyjnym Pyrolox następuje ich heterogeniczne utlenienie na powierzchni ziaren złoża [1].

Efektywność usuwania żelaza i manganu w oksydacyjnym złożu Pyrolox była największa spośród analizowanych złoż wykorzystanych w prowadzonych testach procesu oczyszczania wody zbiorczej z OZG.

Filtracja wody kopalnianej przez złożo Pyrolox umożliwiła obniżenie zawartości:

- żelaza z  $35 \text{ mg/dm}^3$  do  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ , co stanowi 99% ubytku masy,
- manganu z  $4,6 \text{ mg/dm}^3$  do  $1,2 \text{ mg/dm}^3$  (74% ubytku).

Mętność uzyskanego filtratu zawierała się w granicach od 25 FAU do 65 FAU, a zawartość substancji nierozpuszczonych wahała się w zakresie od  $25 \text{ mg/dm}^3$  do  $68 \text{ mg/dm}^3$  w końcowym etapie procesu filtracji.

Wizualna analiza odbieranego filtratu wykazała, że uzyskane wyższe wartości mętności i zawartości substancji



nierozpuszczonych w porównaniu do filtracji na złożach piasku kwarcowego (o uziarnieniu  $0,420 \pm 0,841$  mm) i węgla aktywnego Organosorb-10 spowodowane były drobinami złoża Pyrolox, osadzonego na siatce metalowej w kolumnie instalacji, przedostającymi się do filtratu.

Z uwagi na niewielką wydajność objętościową prowadzonego procesu filtracji, wynoszącą  $0,9$  dm<sup>3</sup>/h (rysunek 5), grawitacyjny proces filtracji zakończono po przefiltrowaniu  $6$  dm<sup>3</sup> wody.

Proces oczyszczania wody kopalnianej na filtrach świecowych typu rurowego przeprowadzono, filtrując  $50$  dm<sup>3</sup> strumienia zanieczyszczonej wody przez każdy z badanych filtrów. W trakcie filtracji monitorowano wydatek objętościowy prowadzonego procesu oraz okresowo pobierano filtrat, który był poddawany analizie fizykochemicznej. Wyniki wykonanych analiz posłużyły do wyznaczenia efektywności prowadzonego procesu oczyszczania (rysunki 4 i 5).

Polipropylenowe filtry świecowe typu rurowego o zdolności zatrzymywania cząstek większych od  $5$  µm charakteryzują się dobrą efektywnością oczyszczania wody kopalnianej.

Podczas procesu oczyszczania wody kopalnianej przez filtrację na sznurkowym filtrze świecowym najwyższy efekt oczyszczenia wody osiągnięto do oczyszczenia  $30$  dm<sup>3</sup> wody. W tym przedziale objętościowym najwyższe obniżenie poszczególnych parametrów osiągnięto dla mętności ( $96 \div 100\%$ ), zawartości żelaza ( $89 \div 99\%$ ) oraz zawartości substancji nierozpuszczonych ( $77 \div 87\%$ ). Podczas kontynuowania filtracji następowało sukcesywne obniżanie się efektywności oczyszczania. Wydatek objętościowy filtracji przez polipropylenowy filtr sznurkowy wynosił  $54$  dm<sup>3</sup>/h

w początkowym etapie prowadzonego procesu, natomiast w końcowym –  $34$  dm<sup>3</sup>/h (rysunek 5).

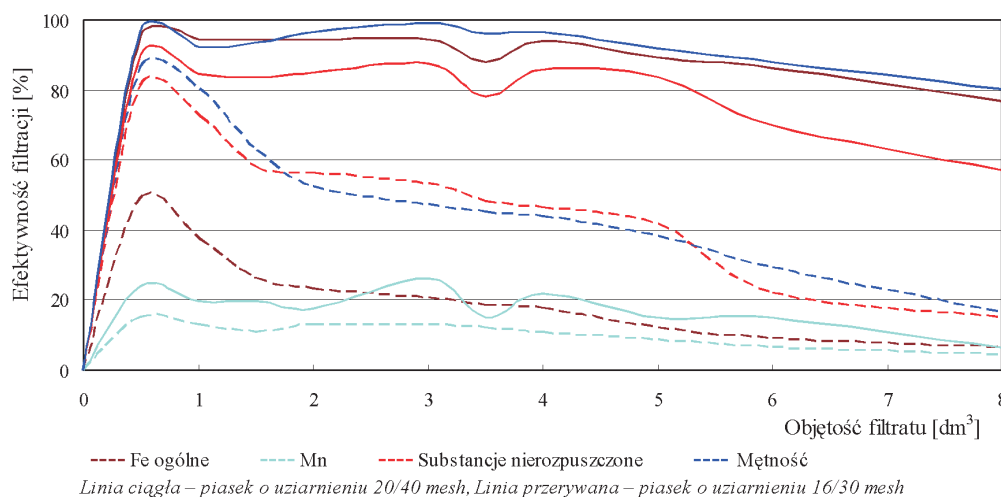
Spośród testowanych filtrów świeconych typu rurowego wykonanych z włókna polipropylenowego najwyższy efekt oczyszczania wody kopalnianej osiągnięto przy zastosowaniu filtra FRN o zdolności zatrzymywania cząstek większych od  $5$  µm (fotografia 2b). Efektywność oczyszczenia wody utrzymywała się na stałym poziomie podczas trwania całego testu filtracji, a uzyskany filtrat charakteryzował się obniżeniem:

- mętności z  $272$  FAU do  $0$  FAU,
- żelaza ogólnego z  $35$  mg/dm<sup>3</sup> do  $2,7$  mg/dm<sup>3</sup>, co stanowi  $93\%$  ubytku,
- substancji nierozpuszczonych ze  $160$  mg/dm<sup>3</sup> do  $10$  mg/dm<sup>3</sup>, co stanowi  $94\%$  ubytku,
- manganu z  $4,6$  mg/dm<sup>3</sup> do  $3,9$  mg/dm<sup>3</sup>, co stanowi  $15\%$  ubytku,

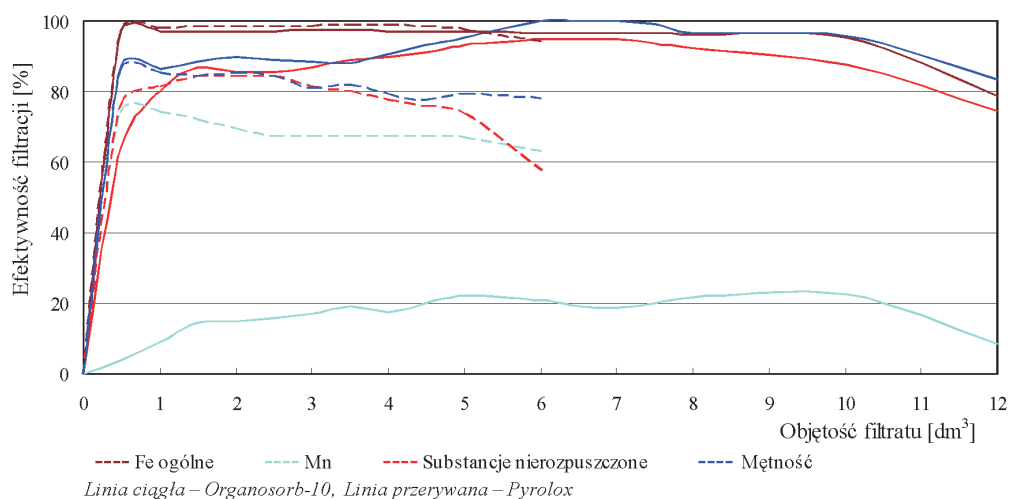
w stosunku do wody kopalnianej użytej do przeprowadzenia testu (rysunek 4).

Podczas prowadzonego testu filtracji wydatek objętościowy cieczy wynosił  $66$  dm<sup>3</sup>/h w początkowym etapie prowadzonego procesu, natomiast w końcowym –  $10$  dm<sup>3</sup>/h (rysunek 5).

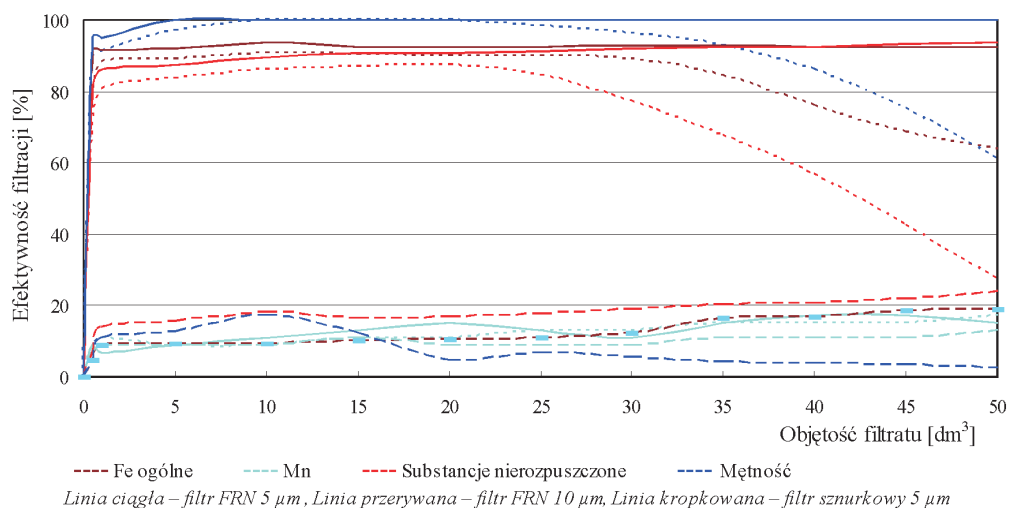
Na podstawie przedstawionych wyników analizy wody surowej i filtratu odbieranego w trakcie prowadzonego testu filtracji można stwierdzić, że prowadzenie oczyszczania wody kopalnianej na drodze grawitacyjnego procesu filtracji z wykorzystaniem filtra FRN z włókna PP o zdolności przepuszczania cząstek mniejszych od  $10$  µm przyniosło niewielki efekt jej oczyszczenia, gdyż uzyskano obniżenie mętności o  $3\%$ , zawartości żelaza ogólnego o  $13\%$ , a zawartości substancji nierozpuszczonych o  $24\%$ .



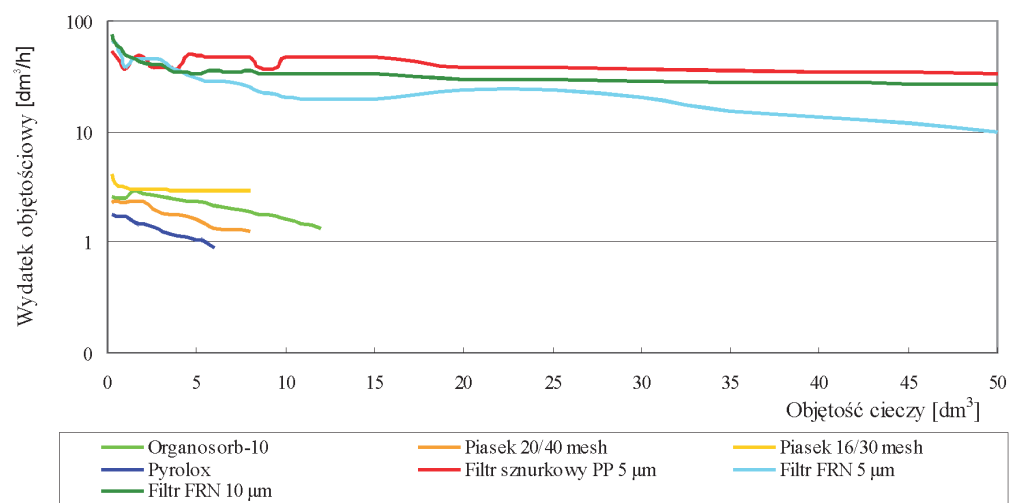
Rys. 2. Efekt oczyszczania wody kopalnianej podczas procesu grawitacyjnej filtracji na złożach piasku kwarcowego



Rys. 3. Efekt oczyszczania wody kopalnianej podczas procesu grawitacyjnej filtracji na złożach Organosorb-10 i Pyrolox



Rys. 4. Efekt oczyszczania wody kopalnianej podczas procesu grawitacyjnej filtracji na filtrach świecowych typu rurowego



Rys. 5. Wydatek objętościowy grawitacyjnego procesu filtracji na testowanych złożach w zależności od objętości oczyszczonej wody

Wydatek objętościowy w trakcie procesu filtracji zawierał się w zakresie od 75 dm<sup>3</sup>/h do 27 dm<sup>3</sup>/h (rysunek 5).

Niepewność wyników pomiarów zaprezentowanych na rysunkach 2–4 oszacowano na podstawie odchylenia standardowego, które mieści się w zakresie 0,005÷0,16. Natomiast niepewność wynikająca z wyliczenia wydatku objętościowego grawitacyjnego procesu filtracji dla poszczególnych złóż (rysunek 5, tablica 1) zawiera się w granicach 0,006÷0,015.

Na rysunkach 6–8 zobrazowano pojemności masowe poszczególnych złóż filtracyjnych obliczone względem: żelaza ogólnego, manganu i substancji nierozpuszczonych w zależności od czasu prowadzenia procesu filtracji. Prędkości filtracji obliczono, odnosząc wydatek objętościowy filtracji do 1 m<sup>2</sup> powierzchni filtracyjnej złoża. Obliczone prędkości filtracji przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie prędkości grawitacyjnej filtracji dla poszczególnych złóż

Rodzaj złoża filtracyjnego	Prędkość filtracji powierzchniowej [m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> ]	
	Początkowa	Końcowa
Organosorb-10	8,2	4,2
Piasek 20/40 mesh	7,3	4,0
Piasek 16/30 mesh	13,1	9,2
Pyrolox	5,7	2,9
Filtr sznurkowy 5 µm	1,1	0,7
Filtr FRN 5 µm	1,3	0,3
Filtr FRN 10 µm	1,5	0,5

Z eksploatacyjnego punktu widzenia chodzi o uzyskanie jak najwyższej pojemności masowej przy jak najmniejszych spadkach przepływu oczyszczanej wody.

Przedstawione na rysunkach 6–8 zależności wskazują na znaczne różnice w wartościach pojemności masowych osiągniętych przez badane złoża.

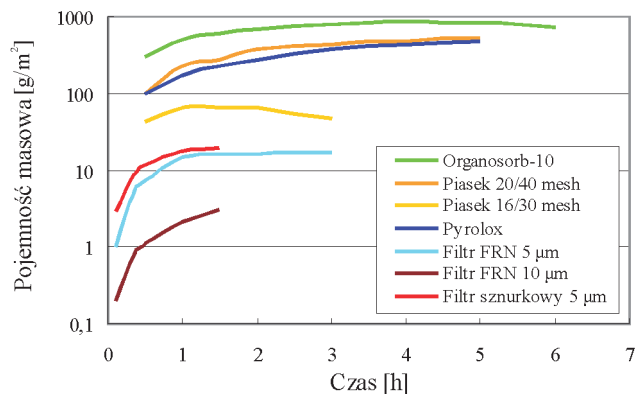
Przeprowadzone wyniki badań procesu oczyszczania wody kopalnianej na drodze grawitacyjnej filtracji wskazują na to, że największą pojemnością masową spośród analizowanych złóż filtracyjnych charakteryzowało się złożo węgla aktywnego Organosorb-10. Maksymalne wartości pojemności masowych dla tego złoża wynosiły: 3330 g substancji nierozpuszczonych/m<sup>2</sup>, 863 g Fe/m<sup>2</sup> oraz 24 g Mn/m<sup>2</sup>. Złożo to charakteryzowało się również długim cyklem pracy.

Wysokie wartości pojemności masowej osiągały również złoża filtracyjne w postaci:

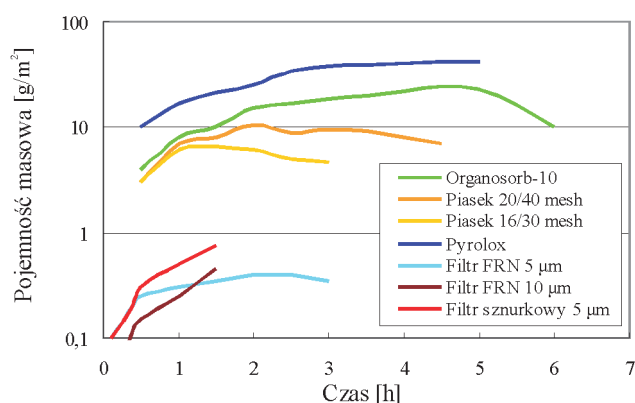
- piasku kwarcowego o granulacji 0,420÷0,841 mm

(1770 g subst. nierozp./m<sup>2</sup>, 520 g Fe/m<sup>2</sup> oraz 10 g Mn/m<sup>2</sup>),

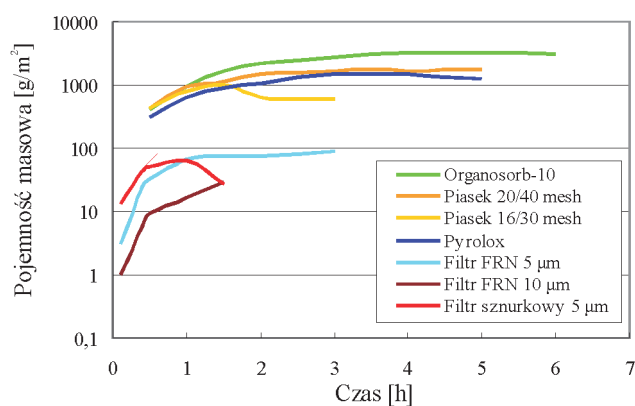
- Pyroloxu (1510 g subst. nierozp./m<sup>2</sup>, 475 g Fe/m<sup>2</sup> oraz 42 g Mn/m<sup>2</sup>).



Rys. 6. Pojemność masowa obliczona względem żelaza ogólnego złóż filtracyjnych w zależności od czasu prowadzenia procesu



Rys. 7. Pojemność masowa obliczona względem manganu złóż filtracyjnych w zależności od czasu prowadzenia procesu



Rys. 8. Pojemność masowa obliczona względem substancji nierozpuszczonych złóż filtracyjnych w zależności od czasu prowadzenia procesu

Na podstawie przeprowadzonych testów laboratoryjnych można stwierdzić, że cykl filtracji dla filtrów FRN ze względów organizacyjnych nie został zakończony (nie zanotowano znaczącego spadku prędkości filtracji ani wzrostu zawartości monitorowanych parametrów w filtracie), dlatego zależności pojemności masowych od czasu trwania procesu filtracji na tym etapie nie należy porównywać z pozostałymi złożami. Ustalenie pełnego cyklu filtracyjnego dla tych materiałów filtracyjnych wymaga przefiltrowania dużych objętości cieczy, a to wymaga prowadzenia badań w warunkach kopalnianych.

Niepewność wynikająca z wyliczenia pojemności masowych dla poszczególnych materiałów filtracyjnych (rysunki 6–8) została oszacowana na podstawie różniczki zupełnej i mieści się w zakresie od 0,002 do 0,005 dla wszystkich wyznaczonych wartości.

Proces zatłaczania wód do warstw chłonnych powinien być zdeterminowany przede wszystkim wysoką skutecznością usuwania zanieczyszczeń stałych z zatłaczanych wód.

Filtracja wody kopalnianej na sypkich złożach filtracyjnych prowadzona była na ich warstwach o grubości 50 cm, co w przeliczeniu na objętość warstwy filtracyjnej odpowiada  $0,5 \text{ m}^3$ . Filtry świecowe typu rurowego produkowane są w formie rur o grubości ścianek ok. 3 cm, przy czym producent dopuszcza ich wykonanie w zamawianym formacie. Zakładając, że filtry takie miałyby kształt rury o średnicy 40 cm i długości 80 cm (co odpowiada powierzchni filtracyjnej  $1 \text{ m}^2$ ), ich objętość, wynosząca  $0,25 \text{ m}^3$ , byłaby dwukrotnie mniejsza od objętości filtrów z sypką warstwą filtracyjną.

Z uwagi na wysoką efektywność prowadzonego procesu filtracji na świecowych filtrach FRN typu rurowego o zdolności zatrzymywania cząstek większych od  $5 \mu\text{m}$  obiecujące jest więc ich technologiczne zastosowanie w warunkach terenowych jako ostatniego elementu

układu technologicznego w procesach zatłaczania wód złożowych.

W celu wydłużenia czasu pracy filtra wskazane byłoby zastosowanie układu, w którym oczyszczana woda w pierwszej kolejności ma kontakt z prefiltrem, o mniejszej skuteczności jej oczyszczania.

Należy w tym miejscu przypomnieć, że proces oczyszczania prowadzony był na wodzie pobranej ze zbiornika Ośrodka Zbioru Grupowego wód dostarczanych z różnych kopalń autocysternami. Wodę tę, obok dużej zawartości zanieczyszczeń stałych, charakteryzowała niejednorodność form występowania związków, np. żelaza. Wiązało się to z ich kontaktem z powietrzem atmosferycznym oraz z tym, że w zbiorniku OZG następowało mieszanie się wód różnego pochodzenia (o różnych potencjałach redox), a nowo powstały układ, dążąc do ustalenia stanu równowagi, powodował, że formy jonów występujące w wodach mogły zmieniać swój stopień utlenienia, czego skutkiem było wytrącanie się osadów, głównie żelaza, manganu.

Obecność w testowanej wodzie żelaza, zarówno w postaci rozpuszczonej, jak i osadu, pozwoliła ocenić wpływ poszczególnych warstw filtrujących na efektywność usuwania jego ogólnej zawartości z oczyszczanego roztworu.

W praktyce wodę przed zatłoczeniem do horyzontu chłonnego poddaje się procesowi oczyszczania. Często jedynym procesem oczyszczania wód jest ich filtracja na złożu piaskowym. Bywa też, że proces oczyszczania wód prowadzi się etapowo, kojarząc ze sobą jednostkowe procesy: napowietrzania, koagulacji z flokulacją, sedymentacji i filtracji osadów pokoagulacyjnych. Oczyszczone w ten sposób wody zawierają już niewielką ilość zawiesin. Tak więc woda przeznaczona do zatłoczenia jest w znacznej mierze pozbawiona osadu, co istotnie wydłuża czas użytkowania filtra użytego do końcowego doczyszczenia wód przed ich zatłoczeniem.

### Podsumowanie

1. Wody złożowe wraz z rozpuszczonymi w nich składnikami mineralnymi są czynnikiem aktywnym i mogą wywierać silny chemiczny i fizyczny wpływ na skład mineralny skały zbiornikowej.
2. Przed zatłoczeniem wód do warstw chłonnych należy pozbawić je osadów, gdyż grożą kolmatacją strefy przyodwiertowej, ponadto katalizują tworzenie się osadów z jonów metali pozostałych w środowisku reakcji.
3. Oddzielenie fazy stałej od ciekłej można uzyskać w procesie filtracji oczyszczanych wód podczas ich przepływu przez ośrodek porowaty (złożę filtracyjne).
4. Przeprowadzone testy grawitacyjnego procesu oczyszczania wody kopalnianej na drodze filtracji wykazały, że warstwy filtracyjne, którymi były:
  - węgiel bitumiczny o handlowej nazwie Organosorb-10 o uziarnieniu  $0,425 \div 1,7 \text{ mm}$  (12/40 mesh),
  - złoża chemicznie nieaktywne w postaci piasku kwarcowego o wielkości  $0,420 \div 0,841 \text{ mm}$  (20/40 mesh),
  - złożę oksydacyjne w postaci naturalnej rudy manganu o handlowej nazwie Pyrolox o granulacji  $0,84 \div 2,36 \text{ mm}$  (8/40 mesh),
 umożliwiły efektywne oczyszczenie wód.



5. Wysoką efektywność oczyszczania wody kopalnianej uzyskano dla filtra świecowego FRN typu rurowego o zdolności przepuszczania cząstek większych od 5  $\mu\text{m}$ . Filtr świecowy FRN typu rurowego o zdolności przepuszczania cząstek większych od 10  $\mu\text{m}$  tylko w nieznacznym stopniu umożliwił usunięcie osadów z oczyszczanej wody.
6. Z uwagi na wysoką efektywność prowadzonego procesu filtracji na świecowych filtrach FRN typu rurowego o zdolności zatrzymywania cząstek większych od 5  $\mu\text{m}$  obiecujące jest ich technologiczne zastosowanie w warunkach terenowych jako ostatniego elementu układu technologicznego w procesach zatłaczania wód złożowych. W celu wydłużenia czasu pracy filtra wskazane byłoby zastosowanie układu, w którym oczyszczana woda w pierwszej kolejności ma kontakt z prefiltrem, o mniejszej skuteczności jej oczyszczania.
7. Zastosowanie efektywnego procesu filtracji wód kopalnianych przed ich zatłoczeniem do warstwy chłonnej ograniczy zjawisko kolmatacji strefy przyodwiertowej, a co za tym idzie – wydłuży bezawaryjną pracę odwiertu i umożliwi maksymalne wykorzystanie dostępnej pojemności horyzontu chłonnego do magazynowania wód.

### Literatura

- [1] Jeż-Walkowiak J., Dymaczewski Z., Lozański M. M.: *Parametry technologiczne procesu filtracji pospiesznej wód podziemnych przez złoża oksydacyjne i chemicznie nieaktywne*. „Inżynieria Ekologiczna” 2011, nr 26, s. 112–221.
- [2] Piekarski J.: *Blokada kolmatacyjna w procesach filtracji grawitacyjnej zawiesiny węglowej na złożu piaskowym*. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2009, t. 23, z. 3.
- [3] Rostovtsev V. I., Veigel't Yu. P.: *Physicochemical modeling of processes occurring in heterogeneous systems during ore preparation and beneficiation*. „Journal of Mining Science” 1998, vol. 34, No. 1.
- [4] Skawiński R.: *Doświadczalne badania kompatybilności niektórych solanek i skal*. „Archives of Mining Sciences” 2002, vol. 47, No. 1.
- [5] Żiżikow W. A.: *Inżynieria chemiczna. Filtracja. Teoria i praktyka rozdzielania zawieszin*. WNT, 1985.



Mgr inż. Dorota KLUK – chemik, pracownik Instytutu Nafty i Gazu Oddział Krosno, starszy specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Technologii Eksploatacji Płynów Złożowych. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z technologią eksploatacji płynów złożowych.

## ZAKŁAD TECHNOLOGII EKSPLOATACJI PŁYNÓW ZŁOŻOWYCH

Zakres działania:

- optymalizacja procesów wydobywania i przygotowania do transportu ropy i gazu;
- bioremediacja gruntów, odpadów wiertniczych i eksploatacyjnych zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi;
- rekultywacja terenów skażonych substancjami ropopochodnymi;
- opracowanie technologii oczyszczania ścieków eksploatacyjnych i wód złożowych z zanieczyszczeń ropopochodnych;
- badania i dobór inhibitorów parafinowo-hydratowych oraz deemulgatorów stosowanych w procesach eksploatacji złóż węglowodorów;
- monitorowanie zmian zawartości związków siarki w podziemnych magazynach gazu i opracowanie koncepcji działań zapobiegających powstawaniu siarkowodoru w złożu;
- monitorowanie jakości gazu w sieciach przesyłowych;
- wykonywanie kart katalogowych oraz opracowanie opinii bezpieczeństwa użytkowania środków chemicznych stosowanych podczas zabiegów intensyfikacyjnych i eksploatacyjnych w warunkach otworowych;
- analizy płynów złożowych, zanieczyszczeń gleby i ścieków, odpadów wiertniczych i eksploatacyjnych.

**Kierownik:** dr hab. inż. Teresa Steliga, prof. INiG

**Adres:** ul. Armii Krajowej 3, 38-400 Krosno

**Telefon:** 13 436 60 29, 13 436-89-41 w. 227

**Faks:** 13 436-79-71

**E-mail:** teresa.steliga@inig.pl