

Charakterystyka ogólna

Algi, *algae*, glony czy *Phycoi*, to niektóre nazwy określające ogromną grupę organizmów wodnych – samożywnych, najczęściej plechowatych baznaczyńowych organizmów roślinnych, a także prochlorofitów i bakterii [1]. Algi na Dalekim Wschodzie cenione były od najdawniejszych czasów jako niezwykle wartościowe źródło pożywienia, a także jako surowiec kosmetyczny i zielarski. Na Zachodzie ich wartość zaczęła być doceniana dopiero na przełomie XIX i XX w., kiedy to brytyjscy badacze odkryli w nich, m.in. duże ilości jodu i kwasu alginowego, stosowanego później jako środek żelujący [2]. Pochodzenie i systematyka alg jest przedmiotem badań, podobnie jak ich pokrewieństwo z roślinami telomowymi. Pod nazwą algi, a raczej glony (nazwa systematyczna) kryje się 11 gromad i ponad 20 tysięcy gatunków organizmów, należących do kilku odrębnych królestw (roślin, protista i bakterii) o zróżnicowanej budowie i kształcie, usystematyzowanych w 1993 r. przez A. i J. Szwejkowskich [1]. Klasyfikacja alg jest skomplikowana ze względu na ich duże zróżnicowanie morfologiczne. Do najważniejszych, branych pod uwagę cech należy budowa komórek, skład ściany komórkowej i zabarwienie biomasy [2]. Eukariotyczne glony, to glaukofity, tobołki, eugleniny, chryzofity (*Chrysophyta*) oraz należące do nich zlotowiciowce, haptofity (*Prymnesiophyceae*, *Haptophyceae*), różnowiciowce (*Xanthophyceae*), okrzemki i eustygmatofity (*Eustigmatophyta*), kryptofity, krasnorosty, brunatnice i zielenice [1]. Wiele z tych organizmów jest wyławianych z mórz i innych naturalnych zbiorników wodnych lub dodatkowo hodowanych. Do najszerszej wykorzystywanych spośród nich należą brunatnice, krasnorosty i zielenice [3]. Każdy gatunek posiada odmienną morfologię i właściwości. Wielkość organizmów glonów zależy od gatunku i sięga od mikroskopijnych organizmów, takich jak mikroalgi, aż po osiągające nawet kilkadziesiąt metrów długości makroalgi i wodorosty [4]. Większość alg wytwarza plechę, zbudowaną z takich samych lub mało zróżnicowanych komórek. Aby ułatwić proces wchłaniania soli mineralnych ze środowiska, przekształca się w niby-liście (*fyloidy*) i niby-lodygi (*kauloidy*), a także w niby-korzenie (*ryzoidy*), umożliwiające zakotwiczenie się na dnie lub innej powierzchni [5].

Skład chemiczny

Jednym z pierwszych naukowców, który podjął próbę zbadania składu chemicznego alg, był Claude Chasse. Okazało się, że algi są źródłem cennych dla naszego organizmu substancji; zawierają duże ilości białek, lipidów, węglowodanów, witamin i mikroelementów [6]. Głównym składnikiem biomasy alg jest woda, która stanowi ok. 75–90% ich świeżej mokrej masy. Duży udział wśród związków występujących w algach mają sole mineralne i węglowodany (30–50%). Węglowodany stanowią większość suchej masy alg, w której przeważają polisacharydy (ok. 60%). Należą do nich zbudowane z aminocukrów i kwasów uronowych mukopolisacharydy, a także siarczan chondroityny, kwas hialuronowy, kwas alginowy, karageniany, agar i inne naturalne hydrokoloidy. Białka występujące w algach stanowią ok. 7–15% ich suchej masy. Są to głównie glikoproteiny i metaloproteiny, zawierające aminokwasy egzogenne [7]. Algi stanowią również źródło niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT), do których należą kwas

eikozapentaenowy (EPA), arachidonowy, a także rzadko spotykany kwas γ -linolenowy (GLA). Algi zawierają również polifenole (wykazujące działanie antyoksydacyjne i przeciwzapalne), związki biogenne (działające przeciwbakteryjnie) oraz naturalne barwniki (chroniące przed powodującymi uszkodzenia promieniami UV) i witaminy (B₁, B₂, B₅, B₆, B₁₂, C, E, A i D). Algi są również bogate w makro- i mikroelementy, występujące w dobrze przyswajalnej postaci, jako związki kompleksowe i metaloorganiczne, takie jak: żelazo, miedź, brom, cynk, jod, wapń, magnez i mangan [8].

Wykorzystanie i właściwości

Duża ilość składników pozwala na wykorzystywanie alg w różnych gałęziach przemysłu, głównie spożywczego, kosmetycznego i farmaceutycznego [7]. Kosmetyki i kremy wytwarzane na bazie alg dostarczają skórze substancji odżywczych, przyspieszają regenerację naskórka, leczą blizny, powodują napinanie i rozjaśnianie skóry. Występujące w algach cukry mają silnie nawilżające i ochronne działanie, ale także stymulują mikrokrążenie krwi i limfy oraz procesy metaboliczne, które zachodzą w komórkach [6]. Wspomagają też przenikanie mikro- i makroelementów do naskórka. Lipidy przyczyniają się do odbudowy i ochrony warstwy naskórka. Witaminy i mikroelementy powodują wzmacnianie ścian naczyń krwionośnych i normalizują funkcjonowanie gruczołów łojowych w skórze, odmładzając i ujędrniają skórę [2]. Dzięki swoim dużym wartościom odżywczym, algi są powszechnie wykorzystywane w produkcji żywności. Jako uzupełnienie codziennej diety, doceniane są szczególnie w Chinach i Bretanii, gdzie odławia się je w dużych ilościach. [8]. Algi są bogatym źródłem białek, aminokwasów egzogennych i witamin niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu. W suplementacji diet wykorzystuje się głównie glony *Spirulina* *Chlorella* oraz odkryty niedawno *Aphanizomenon flos-aquae*. Umieszczenie tych alg w jadłospisie pozwala na uzupełnienie diety o pełnowartościowe białka, powoduje detoksykację organizmu, działa osłonowo na błonę śluzową żołądka i wspomaga procesy trawienne. Korzystnie wpływa też na pamięć i koncentrację, leczenie cukrzycy, chorób reumatycznych, nadciśnienia tętniczego. Przeciwdziała powstaniu infekcji wirusowych, grzybiczych i bakteryjnych. [5]. Związki pozyskiwane z alg wykorzystywane są również w celach medycznych, gdyż powodują m.in. hamowanie stanów zapalnych, łagodzą ból i obniżają gorączkę, przeciwdziałają łuszczycy, osteoporozie i osłabiają stany lękowe [9]. Algi są nie tylko bogatym źródłem różnorodnych, cennych substancji, ale przede wszystkim bardzo istotnym elementem ekosystemów. Służą jako pokarm dla organizmów żyjących w wodzie (znajdują się na początku większości łańcuchów pokarmowych w ekosystemie wodnym) i wzbogacają zbiorniki wodne w tlen i regulują dostęp do światła słonecznego [10]. Spośród wielu użytecznych produktów otrzymywanych z alg, w artykule omówiono tylko niektóre, takie jak: agar, alginian, biopaliwa oraz biosorbenty, używane do oczyszczania ścieków.

Agar

Agar jest polisacharydem strukturalnym wodorostów morskich, składającym się głównie z reszt D- i L-galaktozy, z których część jest zestrzyfikowana kwasem siarkowym. Dzięki obecności tych grup kwasowych, do agaru wiążą się kationy wapnia, magnezu, potasu i sodu [11]. Preparaty agaru są przeważnie bezwonne; tylko niekiedy mogą mieć

Autor do korespondencji:
Dominika KĘPSKA, e-mail: kepskadominika@gmail.com

lekki, charakterystyczny zapach. Agar jest dostępny w formie włókien, płatków, albo granulatu, bądź proszku [11]. W zależności od stopnia czystości, jego barwa waha się od jasnożółtej, poprzez żółtoszarą, aż do pomarańczowej. Agar pod wpływem wody pęcznieje, tworząc na gorąco lepkie, galaretowate roztwory koloidalne, które po ostygnięciu ulegają zestaleniu [11]. Z tego względu wykorzystuje się go w branży kosmetycznej, do produkcji beztłuszczowych kremów czy maseczek. Poprawia smarowalność tych preparatów i zwiększa ich przyczepność [12]. Agar znajduje także zastosowanie jako zagęszczacz, stabilizator i emulgator [11]. W przemyśle spożywczym, jako E406, stosowany jest jako substytut żelatyny zwierzęcej. Jego właściwości żelujące i zagęszczające wykorzystywane są w produkcji: niefermentowanych napojów mlecznych, sosów sałatkowych, dżemów, galaretek, wyrobów ciastkarskich itp. [13]. W laboratoriach agar pełni rolę składnika zestalającego pożywki dla hodowli bakteryjnych lub tkankowych oraz grzybów strzępkowych i drożdży, *in vitro* [11].

Alginiin

Alginiin występuje we wszystkich typach *Phaeophyceae*. Jako strukturalny polisacharyd zapewnia sztywność glonów, a dzięki silnej hydrofilowości i zdolności wiązania wody zapobiega ich wyschnięciu podczas odpływu [14]. Alginiin jest liniowym kopolimerem, zbudowanym z reszt kwasów: α -L-guluronowego i β -D-mannuronowego, połączonych wiązaniami glikozydowymi [15]. Budowa alginiinu, która zależy od gatunku glonu i warunków wzrostu, decyduje o jego właściwościach żelujących. Częsteczki o przewodzie kwasu mannuronowego tworzą żele bardziej elastyczne i miękkie, natomiast te o przewodzie kwasu guluronowego tworzą żele bardziej sztywne [15]. Lepkość koloidalnych roztworów alginiinu zależy też od jego masy cząsteczkowej [14]. Zaletą alginiinu jest to, że strukturę jego żeli można zmieniać stosując jony wapnia. W obecności tych kationów łańcuchy alginiinu łączą się ze sobą, tworząc charakterystyczną strukturę molekularną, nazywaną modelem *eggs-in-box* („jajka w pudełku na jajka” lub „wytłoczka do jajek”) [5, 16]. Alginiin jest stosowany jako dodatek do produktów spożywczych, w tym przetworów owocowych i mięsnych oraz jako stabilizator lodów [14]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 18 września 2008 [17]. „(...)Wykaz dozwolonych substancji dodatkowych określa tabela 2 załącznika nr 1 do rozporządzenia”. W tabeli tej znajdują się: alginiin sodu, alginiin potasu, alginiin amonu, alginiin wapnia oraz alginiin glikolu propylenowego [17]. Spośród wymienionych substancji, w biotechnologii oraz przemyśle spożywczym najczęściej wykorzystywany, wg Dembczyńskiego [15], jest alginiin sodu o symbolu E 401. Jest to bezsmakowa i bezzapachowa sól sodowa kwasu alginowego. Dzięki dobremu wiązaniu wody jest on stosowany jako zagęstnik, substancja żelująca lub stabilizator do mas marcepanowych, owocowych, majonezów niskotłuszczowych, mrożonych przetworów rybnych, warzyw puszkowanych, galaretek i marmolad [13]. Alginiin sodu dodawany jest jako substancja klarująca do soków, moszczy, wina i miodów pitnych [13], a także jako wypełnienie tabletek [5]. Alginiin z brunatnic uzyskuje się na drodze ekstrakcji biomasy alg rozcieńczonymi roztworami zasad, w których rozpuszcza się kwas alginowy. Powstałą gęstą masę poddaje się następnie obróbce kwasami nieorganicznymi, aby uzyskać wolny kwas alginowy [5]. Alginiin jest również stosowany do immobilizacji, głównie enkapsulacji, związków chemicznych, a jego włókna są używane w przemyśle tekstylnym jako domieszki do włókien syntetycznych. Obecnie włókna te są także wykorzystywane w inżynierii biomedycznej jako nowoczesne materiały opatrunkowe [5].

Zastosowanie alg jako alternatywnego źródła energii

Mikroalgi cechuje szybki przyrost biomasy oraz pochłanianie znacznych ilości CO_2 podczas fotosyntezy [18]. Dzięki tym właściwościom, algi mogą być wykorzystane jako odnawialne źródło energii [12]. Różnorodność biopaliw otrzymywanych z alg zależy od tego,

które składniki ich komórek zostaną wykorzystane. W wyniku bez-tlenowej fermentacji biomasy alg można otrzymać biometan; z oleju pozyskanego z alg – biodiesel, a po scukrzeniu biomasy i procesie fermentacji – bioetanol [3].

Hodowla alg w warunkach dostosowanych do ich wymagań może odbywać się w bioreaktorach lub stawach [18]. Czynniki decydującymi o wydajności produkcji biomasy z alg są: temperatura (optymalna 20–30°C), natężenie oświetlenia (najlepiej słonecznego, dzięki czemu możliwa jest redukcja kosztów energii elektrycznej) oraz dostępność CO_2 i składników mineralnych (głównie azotu, fosforu, żelaza i krzemu) [10]. Istotne jest dostarczenie źródeł fosforu w nadmiarze, gdyż ze względu na zdolność do tworzenia kompleksów z jonami żelaza, dostępność tego pierwiastka dla rosnących organizmów jest ograniczona [3]. Biomasa alg może być pozyskiwana w hodowlach ciągłych, otwartych (stawy) lub zamkniętych (fotobioreaktory) [10]. Staw może mieć formę płytkiego kanału, tworzonego przez zamkniętą pętlę recyrkulacyjną z turbiną (odpowiedzialną za mieszanie i cyrkulację, dzięki czemu nie dochodzi do sedymentacji alg). Na końcu pętli recyrkulacyjnej (za turbiną) następuje odbiór biomasy [3]. Wyższą wydajność biomasy, ale większymi kosztami, można uzyskać poprzez zastosowanie pionowych – kolumnowych, cylindrycznych lub panelowych (płaskich), przepuszczających światło fotobioreaktorów [10]. Aby uniknąć strefy mroku i samozacieniania (powstawanie zewnętrznej, środkowej i wewnętrznej warstwy alg, od najbardziej intensywnego oświetlenia aż do jego braku), w niektórych bioreaktorach stosuje się specjalne panele, emitujące światło w zakresie czerwieni. Odpowiednie oświetlenie mikroorganizmów można uzyskać także poprzez regulację tempa aeracji lub cyrkulacji medium, które gwarantuje określoną częstotliwość krążenia komórek między strefami o większym i mniejszym naświetleniu w reaktorze [18]. Nie bez znaczenia pozostaje również kontrola stężenia O_2 i CO_2 w bioreaktorze, zbyt wysokie stężenie pierwszego czynnika prowadzi do zahamowania fotosyntezy, zaś drugiego do zmian pH i zahamowania wzrostu. Straty w hodowli, związane ze zużyciem energii poprzez oddychające w ciągu nocy mikroorganizmy, mogą być zniwelowane poprzez kontrolowane obniżenie temperatury w bioreaktorze [3]. Biomase z zawiesiny hodowlanej oddziela się poprzez jej filtrację lub wirowanie. Uzyskaną w ten sposób biomase poddaje się przemianom termochemicznym (piroliza, hydrogenacja, przeprowadzanie w stan ciekły, gazyfikacja), co prowadzi do uzyskania bioolejów, oraz biochemicznym (fermentacja, transestryfikacja), dającym biodiesel i bioetanol. Piroliza jest procesem wysokotemperaturowym, bezkatalitycznym i beztlenowym, podczas którego następuje chemiczny rozkład substancji, pozwalający na przekształcenie biomasy w biopaliwo, węgiel drzewny oraz frakcję gazową [18]. Hydrogenacja polega na przyłączeniu wodoru do związku zawierającego wiązania nienasycone. W przypadku alg przebiega w autoklawie, w warunkach wysokiego ciśnienia i temperatury, w obecności rozpuszczalnika i katalizatorów (najczęściej: nikiel, platyna, pallad, miedź) i prowadzi do powstania paliwa płynnego [18]. Gazyfikacja jest termicznym przekształceniem biomasy w gaz. Przebiega dwuetapowo: na początku następuje odgazowanie biopaliwa – powstaje gaz palny i pozostałość mineralna (stosuje się niedobór tlenu i stosunkowo niską temperaturę); w drugim etapie (wysoka temperatura i nadmiar tlenu) – dopalenie w komorze oraz spalanie powstałego gazu [18]. W wyniku scukrzenia polisacharydów otrzymanych z alg, a następnie fermentacji alkoholowej, uzyskuje się bioetanol. Fermentacja alkoholowa prowadzona jest z zastosowaniem drożdży *Saccharomyces cerevisiae*, a po jej zakończeniu bioetanol jest oddzielany na drodze destylacji [18]. Z kolei, dla uzyskania biodiesla stosuje się transestryfikację (alkoholizę) biooleju. W tym procesie wolne kwasy tłuszczowe, uzyskane na drodze hydrolizy triacylogliceroli, reagują z alkoholem (zwykle z metanolem), w wyniku czego powstają estry metylowe kwasów tłuszczowych (biodiesel) oraz glicerol, jako produkt uboczny [3]. Obecnie, znaczące koszty produkcji biopaliw są największym problemem popularyzacji tej formy energii. Niemniej jed-

nak, rozwój biotechnologii, inżynierii genetycznej, a także narastający kryzys paliwowy powinien w przyszłości przyczynić się do poprawy ekonomii i rozwoju procesów związanych z pozyskiwaniem alternatywnej energii [18].

Zastosowanie alg w procesie oczyszczania ścieków

Wiele badań potwierdza istnienie grup mikroorganizmów, charakteryzujących się zdolnością wiązania metali ciężkich [4]. Należą do nich: grzyby pleśniowe, drożdże, bakterie [4] oraz algi [10]. Biosorpcja, poza detoksykacją środowiska, umożliwia także odzysk cennych metali, takich jak srebro lub złoto. Co ciekawe, możliwa jest również adsorpcja jonów pierwiastków radioaktywnych, np. uranu [4]. Imobilizacja (unieruchomienie na nierozpuszczalnym w wodzie nośniku) mikroorganizmów dodatkowo zwiększa sprawność usuwania metali ciężkich ze środowiska wodnego oraz wpływa na polepszenie warunków sedymentacji. Imobilizacja biosorbentów ułatwia ich wielokrotne wykorzystanie (w cyklach powtarzających się nawet do kilkudziesięciu razy), co z kolei prowadzi do znaczącej redukcji kosztów [15]. W charakterze biosorbentu chętniej wykorzystywana jest biomasa martwa, która nie wymaga utrzymania sterylnych warunków oraz zaspokojenia wymagań pokarmowych [5]. Makroalgi do oczyszczania ścieków są najczęściej pozyskiwane w wyniku bezpośredniego odławiania ze zbiorników naturalnych (oceany, morza, jeziora, stawy, rzeki), za pomocą specjalnych kombajnów, bądź metodą tradycyjną – ręcznie. W ten sposób można zagospodarować biomasa alg, którą trzeba usuwać ze zbiorników wodnych, zwłaszcza w okresie zakwitów [4]. Jako materiał biologiczny wiążący jony metali można zastosować także biomasa odpadową z różnych gałęzi przemysłu, np. farmaceutycznego (biomasa po produkcji antybiotyków), biotechnologicznego lub spożywczego (biomasa pozostała po procesach fermentacyjnych) [4].

Literatura

1. „<http://encyklopedia.pwn.pl/index.php?module=haslo&id=3905917>” www.encyklopedia.pwn.pl/index.php?module=haslo&id=3905917 16.02.2013.
2. Dąbrowska A.: *Algi Morskie*. „<http://www.ecospa.pl/algii-bogactwo-cennych-naszej-skory-substancji-a-26.html>” 3.06.2013.
3. Frąc M., Jezierska-Tys S., Tys J.: *Algi – energia jutra (biomasa, biodiesel)*. Acta Agrophysica 2009, 13 (3), 627–638.
4. Urbańska M., Kłosowski G.: *Algae as biosorption material – removing and recycling of heavy metals from industrial wastewater*. Ochrona środowiska i zasobów naturalnych 2012, 51, 62–77.

5. Pieleś A.: *Algi i alginiany – leczenie, zdrowie i uroda*. Wydawnictwo internetowe e-bookowo 2010.
6. Zdziebko-Zięba M.: *Piękno z morskich głębin*. Beauty forum polska 2011 (5).
7. Janicki J.: *Skład chemiczny algi brązowej Fucus vesiculosus L.* Postępy Fitoterapii 2011, 1, 9–17.
8. Sikora M.: *Algi w kosmetyce*. „<http://www.algi.hdwo.pl/articles.php?id=4&page>” 11.06.2013.
9. Czerpak R., Jabłońska-Trypuć A., Pietryczuk A.: *Znaczenie terapeutyczne, kosmetyczne i dietetyczne niektórych glonów*. Postępy Fitoterapii 2009 (3), 168–174.
10. Koziół W., Włodarczyk T.: *Glony – produkcja biomasy*. Acta Agrophysica 2011, 17 (1), 105–116.
11. „<http://www.cybercolloids.net/library/jecfa/agar>” www.cybercolloids.net/library/jecfa/agar 21.05.2013.
12. Schroeder G.: *Nanotechnologia, kosmetyki, chemia supramolekularna*. Cur-siva 2010, 142–158.
13. Pakuła E.: *Algi Morskie*. „http://www.doz.pl/czytelnia/a356-Algi_morskie” 12.05.2013.
14. „<http://www.cybercolloids.net/library/alginate/introduction-alginate-properties>” www.cybercolloids.net/library/alginate/introduction-alginate-properties 22.05.2013.
15. Dembczyński R., Jankowski T.: *Unieruchomienie komórek drobnoustrojów metodą kapsułkowania – stan obecny i możliwości rozwoju tej metody żywności*. NAUKA. TECHNOLOGIA. JAKOŚĆ 2004, 4 (41), 5–17.
16. Kończak B., Miksch K.: *Proces formowania granulowanego osadu w warunkach tlenowych: przegląd literaturowy*. Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska 2011, 51, 43–51.
17. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 18 września 2008 r. w sprawie dozwolonych substancji dodatkowych „http://www.mz.gov.pl/wwwfiles/ma_struktura/docs/rozp_doz_zywnosc__19082008.pdf” 24.10.2013.
18. Zabochnicka-Świątek M., Bień J., Ligienza A.: *Wykorzystanie biomasy mikroalgi do produkcji biopaliw płynnych*. „<http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/dokumenty/konferencja/artykuly/18.pdf>” 22.05.2013.

*Dominika KEPSKA – studentka studiów magisterskich: 2-ego roku biotechnologii oraz 1-ego roku zarządzania, interesuje się biotechnologią przemysłową i medyczną.
e-mail: kepskadominika@gmail.com

Łukasz OLEJNIK – student studiów magisterskich: 2-ego roku biotechnologii oraz 1-ego roku zarządzania, interesuje się zagadnieniami związanymi z żywnością, mikrobiologią i środowiskiem.

Aktualności z firm

News from the Companies

Dokończenie ze strony 966

Śląsk się łączy w wymiarze nano

29 października br. zostało podpisane porozumienie inicjujące działalność pierwszego Dolnośląskiego Klastra Nanotechnologii. To połączenie działań w obszarze nanotechnologii na całym Śląsku i milowy krok do utworzenia Krajowego Klastra NANO w Polsce.

Celem powołanego klastra jest przede wszystkim wspieranie na Dolnym Śląsku rozwoju przedsiębiorczości w dziedzinie nanotechnologii opartej na współpracy sektora naukowego i gospodarczego. Utworzenie Dolnośląskiego Klastra Nanotechnologii ma umożliwić lepsze zidentyfikowanie potrzeb przedsiębiorców oraz jednostek naukowych i zaproponowanie im rozwiązań dla rozwoju działalności.

Inauguracyjne spotkanie odbyło się w Kampusie Pracze. Dokument został podpisany przez Fundację Nanonet, która pozyskała finansowanie z funduszy województwa dolnośląskiego na realizację

zadania pn. „Utworzenie Dolnośląskiego Klastra Nanotechnologii”, Wrocławskie Centrum Badań EIT+ oraz Miasto Wrocław. (em)
(Informacja prasowa Wrocławskiego Centrum Badań EIT+, 29 października 2014 r.)
(więcej na www.miesiecznikchemik.pl)

List intencyjny ws. współpracy badawczej na rzecz sektora surowcowego

Przedstawiciele KGHM Polska Miedź SA, Centrum Badawczo-Rozwojowego KGHM Cuprum sp. z o.o., Wrocławskiego Centrum Badań EIT+ i samorządu Wrocławia podpisali list intencyjny w sprawie wspólnych projektów badawczych i pozyskiwania funduszy na ich wykonanie. Zakłada się również pozyskiwanie nowoczesnej aparatury badawczej dla sektora surowców mineralnych, przede wszystkim na potrzeby KGHM. (em)
(<http://www.naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news,402533,list-intencyjny-ws-wspolpracy-badawczej-na-rzecz-sektora-surowcowego.html>, 3.11.2014 r.)
(więcej na www.miesiecznikchemik.pl)