

Andrzej STRUPCZEWSKI*

Program rozwoju energetyki jądrowej w Polsce a zaopatrzenie w paliwa rozszczepialne z zasobów krajowych

STRESZCZENIE. W październiku 2007 r. Parlament Europejski przyjął uchwałę stwierdzającą, że energetyka jądrowa jest niezbędna dla Unii. Wiele krajów wznowiło swe programy energetyki jądrowej i przystępuje do budowy nowych elektrowni. Jednakże przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzą, że w miarę wyczerpywania zasobów uranu energia potrzebna na uzyskanie uranu będzie szybko rosła, przekraczając energię, którą można uzyskać z rozszczepienia tego uranu w elektrowni jądrowej.

W artykule rozpatrzono pełny bilans energetyczny dla górnictwa uranowego, obejmujący nie tylko energię potrzebną na wydobycie rudy i separację uranu, na odsalanie wody morskiej i jej dostarczenie do kopalni i okolicznych osiedli, ale także paliwo potrzebne do przewozu i kruszenia rudy, materiały wybuchowe, chemikalia na ługowanie uranu i energię na rekultywację kopalni po jej zamknięciu. Okazało się, że twierdzenia przeciwników są mylne.

Nawet dla kopalni o najniższej zawartości uranu w rudzie, poniżej wskazanego przez przeciwników progu opłacalności energetycznej, energia uzyskiwana z rozszczepienia jest około 70 razy większa od całej energii na cały cykl paliwowy, od wydobycia uranu poprzez budowę elektrowni do jej zamknięcia i unieszkodliwiania odpadów radioaktywnych. Rudy o niskiej zawartości uranu można wykorzystywać. Jest to wniosek ważny dla Polski – nasze rudy ubogie i uran uzyskiwany jako produkt uboczny np. przy produkcji miedzi mogą zapewnić paliwo dla dużego programu rozwoju energetyki jądrowej w Polsce.

SŁOWA KLUCZOWE: wydobycie uranu, ubogie rudy uranowe, bilans energetyczny wydobycia rudy ubogiej, błędy Storm van Leeuvena, zasoby uranu w Polsce

* Doc. dr inż. — Instytut Energii Atomowej POLATOM; e-mail: a.strupczewski@cyf.gov.pl

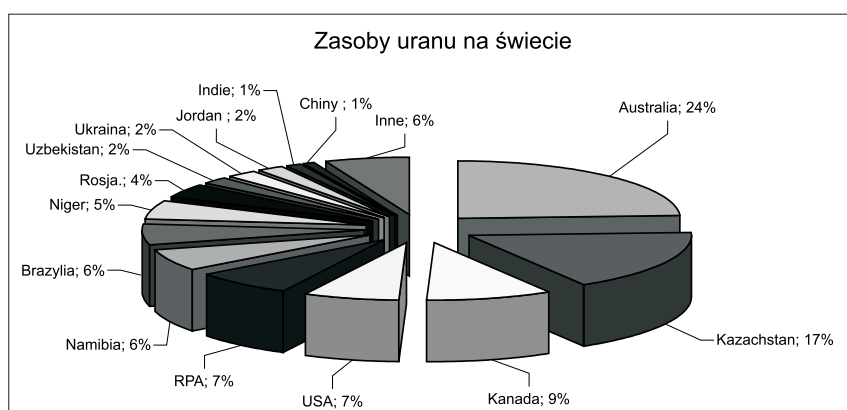
Wprowadzenie

W związku z renesansem energetyki jądrowej w Europie i na świecie i rosnącym zużyciem uranu trzeba rozpatrzyć problem zapewnienia paliwa jądrowego dla Polski na tle szerszego problemu zasobów materiałów rozszczepialnych dla światowej energetyki jądrowej. W rezolucji Parlamentu Europejskiego czytamy, że energia jądrowa jest dla Unii niezbędna, a energia jądrowa z reaktorami IV generacji „*ma długą przyszłość, ponieważ opiera się na wykorzystaniu zasobów, które wydłużą okres ewentualnego stosowania energii jądrowej do tysięcy lat*” [1]. Wynika stąd, że energia jądrowa jest kluczem do zrównoważonego rozwoju dla Unii Europejskiej i dla świata. Elektrownie jądrowe oferują tanią i czystą energię, są „dobrymi sąsiadami”. Ale zanim stworzymy program budowy elektrowni jądrowych w Polsce powinniśmy sprawdzić, czy będzie dla nich paliwo. Nie miałyby sensu budowanie elektrowni jądrowych, gdyby miało zabraknąć dla nich uranu. A tymczasem tak właśnie twierdzą przeciwnicy energetyki jądrowej. Jaka jest prawda?

1. Dostępność uranu na wolnym rynku światowym

Rozszczepienie uranu daje tak dużą energię, że do utrzymania pracy elektrowni potrzeba go bardzo mało, około 25 ton paliwa rocznie dla elektrowni o mocy 1000 MW_e. Taką ilość paliwa można bez trudu przywieźć z dowolnego kraju, a także można łatwo składować jego zapas na kilka lat pracy elektrowni. Można też nie obawiać się wahań ceny rudy uranowej, bo mają one bardzo mały wpływ na cenę energii z elektrowni jądrowych.

Według firmy AREVA, wzrost ceny uranu o 100% powoduje wzrost ceny energii elektrycznej z EJ zaledwie o 5%. Podobnie twierdzi rząd brytyjski [2]. Dzięki temu raz



Rys. 1. Podział zasobów uranu na świecie, opracowanie własne, dane według OECD [3]

Fig. 1. Distribution of uranium resources in the world, own figure based on OECD data [3]

zbudowana elektrownia jądrowa dostarcza energię elektryczną po stałej cenie, niezależnie od wahań cen na światowym rynku surowcowym. Pomaga to w utrzymaniu stabilności cen energii, co sprzyja zrównoważonemu rozwojowi.

Złóża rudy uranowej znajdują się głównie w krajach stabilnych politycznie i nie traktujących uranu jako broni ekonomicznej i politycznej co ilustruje rysunek 1. Import uranu z Namibii, czy z Australii nie grozi nam uzależnieniem politycznym czy ekonomicznym od tych krajów.

Wielkość znanych zasobów uranu, których wydobycie jest opłacalne przy obecnej cenie rynkowej, rośnie z każdym rokiem [4]. O ile jeszcze w 2007 roku według oceny Parlamentu Europejskiego [1], uranu w znanych zasobach miało wystarczyć na 200 lat, a rozwój technologii jądrowej stwarzał perspektywę stosowania jej przez tysiące lat, o tyle według oceny z końca 2008 roku zasoby oceniano znacznie wyżej jak pokazuje tabela 1.

TABELA 1. Okres w latach na jaki wystarczy uranu przy obecnej mocy elektrowni jądrowych z uwzględnieniem różnych zasobów i technologii cyklu paliwowego [5]

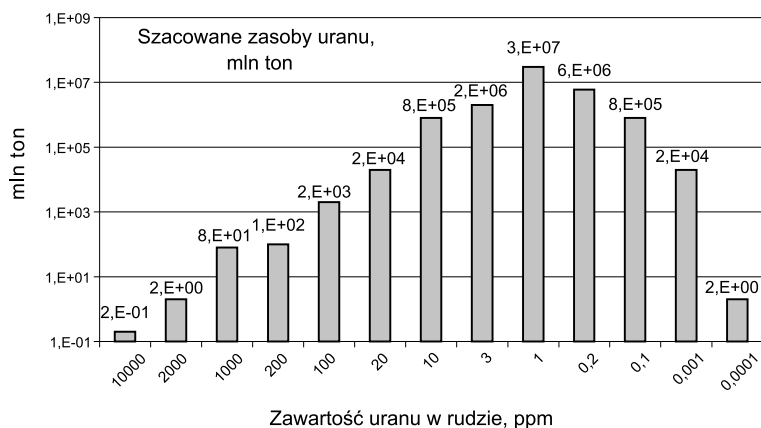
TABLE 1. Period for which uranium resources will be sufficient at present capacity of nuclear power plants considering various fuel cycles and categories of resource [5]

Kategoria zasobów	Zidentyfikowane	Wszystkie konwencjonalne	Konwencjonalne i niekonwencjonalne, w tym fosforyty
Reaktory LWR (obecny cykl otwarty)	100	300	1 690
Prędkie reaktory powielające recykling uranu i aktywnoców, wykorzystanie toru (cykl zamknięty)	24 000	71 000	472 000

Dalsze poszukiwania i wzrost cen doprowadzą niewątpliwie do dalszych odkryć. W oparciu o analogię z innymi zasobami surowcowymi można oczekiwać, że podwojenie ceny uranu spowoduje dziesięciokrotny wzrost jego zidentyfikowanych zasobów. W perspektywie 20–30 lat wprowadzenie prędkich reaktorów powielających doskonalonych obecnie w ramach programu rozwoju EJ IV Generacji zapewni możliwość wykorzystania zarówno wypalonego paliwa z obecnie pracujących reaktorów, jak i zapasów uranu zużozonego pozostałego po procesie wzbogacania. Pozwoli to przedłużyć czas pracy energetyki jądrowej przy użyciu tylko obecnych zasobów na tysiące lat.

Opracowywane obecnie udoskonalenia technologiczne, jak np. wzrost głębokości wypalenia paliwa, zapewniają znacznie bardziej efektywne wykorzystanie uranu. Dalszą możliwość powiększenia zasobów paliwa jądrowego stwarza wprowadzenie do cyklu paliwowego toru, którego w skorupie ziemskiej jest 3 razy więcej niż uranu.

Jak widać z rysunku 2, w miarę jak rozpatrujemy coraz uboższe złoża, ilość uranu możliwego do wydobycia rośnie. W granicach od 1% do 0,0001% U_3O_8 przy obniżeniu zawartości uranu w rudzie 10 razy ilość łączna jego zasobów rośnie średnio od 50 do 100 razy. Kluczową sprawą dla oceny zasobów uranu jest więc stwierdzenie, przy jakiej zawartości uranu w rudzie uzyskamy pozytywny bilans energetyczny.



Rys. 2. Zasoby uranu przy różnych zawartościach uranu w rudzie (na rysunku podano dolne progi przedziałów, a więc dla przedziału 100–200 podano liczbę 100)
Opracowanie własne, dane wg pracy Deffeye&MacGregor [6]

Fig. 2. Uranium resources at various ore grades (the drawing shows lower limit of each range, i.e. for the range 100–200 the number 100 is shown). Own figure according to the data of Deffeye&MacGregor [6]

2. Czy wystarczy nam energii do wydobywania uranu z coraz uboższej rudy?

Logiczne jest, że w miarę wykorzystywania rudy o coraz niższej koncentracji uranu, wystąpi wzrost kosztów wydobycia i wzrost energii potrzebnej do wydzielenia uranu z rudy. Ale według zgodnego stanowiska organizacji międzynarodowych, rządów wielkich krajów jak: USA, Francja, czy W. Brytania, rządów małych krajów jak Finlandia, a także według Parlamentu Europejskiego, braku uranu przez nadchodzące stulecia możemy się nie obawiać. Tymczasem przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzą, że uranu zabraknie nawet do już istniejących reaktorów. Na czym opierają swe ponure przepowiednie?

Ilość energii potrzebnej do wydobycia i oczyszczenia uranu jest obecnie niewielką częścią energii uzyskiwanej z tego uranu w reaktorze jądrowym. Ale już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku twierdzono, że nieuchronnie uranu zabraknie [7], a od kilkunastu lat Storm van Leeuwen i Smith, których pracę będziemy oznaczać skrótem SLS [8], twierdzą, że przy koncentracjach poniżej 0,013% do uzyskania uranu potrzeba będzie więcej energii, niż można uzyskać przy jego rozszczepieniu w reaktorach termicznych z cyklem otwartym, bez recykliczacji (powtórnego wykorzystywania) wypalonego paliwa. Sprawdźmy więc jaką energię musimy rzeczywiście zużyć na uzyskanie uranu z rudy ubogiej.

3. Energia uzyskiwana w EJ

Przyjmijmy jako podstawę do rozważań EJ o mocy 1000 MW_e pracującą przy współczynniku obciążenia 82% przez okres 40 lat, aby mieć wspólny punkt odniesienia do porównań z analizami przeciwników energetyki jądrowej. Parametry przyjęte powyżej odpowiadają wartościom, które uzyskiwano podczas pracy EJ ponad 20 lat temu przy głębokości wypalenia paliwa rzędu $30\,000 \text{ MWd/Mg (U)}$. Obecnie głębokość wypalenia wzrosła i np. w reaktorze AP 1000 przyjęta jest równa $60\,000 \text{ MWd/Mg (U)}$. Przyjęcie wartości podawanych przez SLS jest więc założeniem zawierającym duży margines pesymizacji.

SLS [9] podają, że reaktor taki zużywa rocznie 162,35 tony uranu naturalnego i daje energię elektryczną brutto $E_{\text{gross}} = 25\,860 \text{ TJ}(\text{el})/\text{rok} = 7,183 \text{ TWh}/\text{rok}$.

Przy przyjęciu stosunku energii cieplnej (t) do elektrycznej (el) równego 3 (co jest normalnym założeniem w analizach energetycznych), otrzymamy energię uzyskiwaną w EJ z tony uranu naturalnego równą $478 \text{ TJ}(\text{t})/\text{Mg (U}_{\text{nat}})$.

4. Energia potrzebna na wydobycie i oczyszczenie uranu

Wobec tego, że w przyszłości będzie wykorzystywana uboga ruda uranowa, sprawdźmy ilość energii potrzebnej do wydobycia i oczyszczenia uranu z kopalni wydobywających rudę o różnych zawartościach U_3O_8 , od wartości bliskich obecnej średniej światowej (0,3%) do wartości leżących na owym progu, poniżej którego rzekomo nie można uzyskać dodatniego bilansu w cyklu paliwowym.

Zacznijmy od kopalni Ranger, w której w 2004 r. wydobywano rudę o dość wysokiej koncentracji uranu wynoszącej 0,234% U. Według danych WNA [10], energia zużywana lokalnie (w kopalni i na terenie wokoło kopalni, w tym na produkcję kwasu siarkowego, ale bez uwzględnienia energii w materiałach zakupywanych z zewnątrz) na wydobycie i oczyszczanie uranu wyniosła $195 \text{ GJ}(\text{t})/\text{Mg U}$. Zgodnie z zasadami analiz w całym cyklu życiowym, do tej energii zużytej lokalnie należy dodać energię zawartą w materiałach wybuchowych i chemikaliach zakupywanych przez kopalnię, których wyprodukowanie wymagało energii wcześniej, zanim dostarczono je do kopalni. W sumie zapotrzebowanie energii zużytej lokalnie i zawartej w sprowadzonych materiałach wynosi $593 \text{ GJ}(\text{t})/\text{Mg U}$.

Stosunek energii włożonej w fazie wydobycia i oczyszczania uranu do uzyskanej z tego uranu w elektrowni jądrowej wynosi więc $593 \text{ GJ}(\text{t})/478 \text{ TJ}(\text{t}) = 0,00125$. Ale skoro prowadzimy rozważania w pełnym cyklu życiowym, to poza energią potrzebną na eksploatację złóż uranu należy uwzględnić energię potrzebną na rekultywację kopalni po zakończeniu wydobycia rudy.

5. Energia na rekultywację kopalni

Warto zauważyć, że skała płonna i odpady z procesu oczyszczania rudy zawierają te same minerały, które były w nich zawarte, gdy materiały te znajdowały się pierwotnie w ziemi. Różnica polega na tym, że usunęliśmy z nich rudę uranową., a więc zmniejszyliśmy ich radioaktywność. Jeśli skała płonna zostanie umieszczona z powrotem w ziemi i przykryta warstwą ziemi, to nie będzie ona stanowić większego zagrożenia radiologicznego niż występowało pierwotnie, przed rozpoczęciem wydobycia uranu. W kopalni Ranger skała płonna i odpady z procesu oczyszczania uranu zostaną umieszczone w wyrobiskach pozostałych po wydobyciu rudy i przykryte warstwą gleby, na której zostanie posiana trawa i posadzone będą drzewa. Zabezpieczy to przed procesami erozji na powierzchni rekultywowanego terenu.

Ostatecznie, łącznie nakłady energetyczne na wydobycie i oczyszczanie uranu wraz z uwzględnieniem rekultywacji terenu kopalni z dużym marginesem zapasu wyniosą

$$593 \text{ GJ(t)/Mg U} + 195 \text{ GJ(t)/Mg U} = 788 \text{ GJ(t)/Mg U}$$

Jest to zaledwie 0,0016, tzn. 0,16% energii uzyskiwanej z 1 tony uranu naturalnego równej 478 TJ(t)/Mg U

Natomiast według oceny Storm van Leeuwena, energia potrzebna na wydobycie i oczyszczenie uranu w kopalni Ranger wynosi 1280 GJ(t)/Mg U. Ponadto, energia „potrzebna na rekultywację oceniana jest na czterokrotnie większą od energii potrzebnej na wydobycie jednostki masy z pokładów w kopalni”, równej (wg Storm Van Leeuwena) $E(\text{wydobycie}) = 1,06 \text{ GJ(t)/Mg rudy}$. Masę odpadów, włączając w to wapień i bentonit, które zdaniem SL winny być dodane dla ustabilizowania odpadów, ocenia Storm van Leeuwen na „dwukrotnie większą od masy wydobytej rudy.” (str. 32 w rozdz. D6 [9]). Takie założenie prowadzi do oceny, że energia potrzebna do rekultywacji jest 8 razy większa od energii potrzebnej dla wydobycia rudy, to jest 8,4 GJ(t)/Mg (rudy).

Razem z energią potrzebną według SLS na wydobycie i oczyszczenie uranu dałoby to 4920 GJ(t)/Mg U. Jest to wartość sześć razy większa niż w rzeczywistości.

Sprawdźmy teraz dane dla kopalni, w których zawartość uranu jest bardzo bliska 0,01%.

6. Zużycie energii w kopalni w Trekkopje, Namibia

SLS twierdzą, że „...nie można osiągnąć wytwarzania energii netto z uranu przy zawartości uranu w rudzie od 0,02 do 0,01% U_3O_8 . Limit ten nie zależy od stanu technologii ani od założeń, na jakich oparta jest analiza” [11].

Tymczasem według bilansu energetycznego dla kopalni Trekkopje w Namibii, gdzie średnia zawartość U_3O_8 w rudzie wynosi 0,0126% wydobycie rudy wynosi 100 000 ton

dziennie, średni stosunek nadkładu do rudy wynosi 0,3:1, a próg separacji rudy od odpadów ustalono na 0,0046% – a więc trzy razy niżej niż wynosi próg postulowany przez SLS.

Razem cała energia na jednostkę masy uranu potrzebna na wydobycie, oczyszczenie uranu i rekultywację kopalni wyniesie

$$E(w,o,r) = (1760 + 722) \text{ GJ(t)/Mg U} = 2482 \text{ GJ(t)/Mg U}$$

Stosunek energii potrzebnej do wydobycia i oczyszczenia uranu i rekultywacji kopalni przy średniej jego zawartości w rudzie 0,0126% do energii uzyskiwanej w EJ wyniesie w kopalni Trekkopje 0,519%.

Innymi słowy, energia otrzymywana z rozszczepienia uranu jest 192 razy większa od energii potrzebnej na jego wydobycie i oczyszczenie, łącznie z rekultywacją kopalni!

Natomiast według zależności podawanych przez SLS na samo wydobycie i oczyszczenie rudy potrzeba 29,3 TJ/(U), a łącznie z rekultywacją kopalni potrzeba będzie 154,1 TJ/Mg U.

Sprawdźmy, czy SLS mają rację. Gdyby uzyskanie jednej tony U_3O_8 z rudy ubogiej (0,01% U_3O_8) rzeczywiście wymagało 29,3 TJ/Mg U, to przy wydajności kopalni Trekkopje, której roczne wydobycie uranu wynosi 4884 Mg U/rok [12] trzeba byłoby zużyć energię $29,3 \text{ TJ(t)/Mg U} \times 4884 \text{ Mg U} = 143 \text{ PJ(t)}$.

Ale całe zużycie energii elektrycznej w Namibii ze wszystkimi kopalniami uranu i innych minerałów wynosi 9,97 PJ [13], a całkowite zużycie energii elektrycznej i ciepłej (ropa naftowa i jej przetwory) na cały kraj = 59,7 PJ(t)

Postulowane przez SLS zużycie energii dla jednej kopalni uranu jest więc 2,5-krotnie większe niż rzeczywiste zużycie energii dla całego kraju! A w tym kraju są przecież i inne kopalnie uranu, np. Rossing, o większej mocy produkcyjnej. Zresztą przemysł wydobywczy uranu daje tylko około 12% dochodu narodowego Namibii. Oczywiście jest, że tak wielkie zużycie energii w kopalni Trekkopje byłoby niemożliwe do ukrycia – i zresztą byłoby fizyczną niemożliwością.

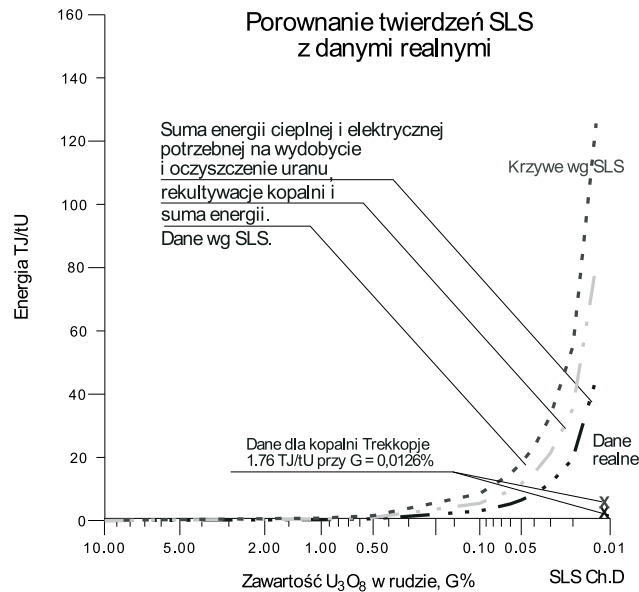
Porównanie graficzne twierdzeń SLS z rzeczywistością pokazano na rysunku. 3.

Liczby podawane przez SLS oparte są na pracy z 1975 roku [14], w której wykorzystano dane dla wydobycia i oczyszczania uranu z bogatej rudy, zawierającej 0,22% U_3O_8 . SLS nie uwzględnili postępu technicznego, jaki nastąpił w ciągu ostatnich 30 lat. Co więcej, SLS przyjęli uproszczony i błędny wzór opisujący zależność potrzebnej energii od zawartości uranu w rudzie.

Oczywiście jest, że ilość energii potrzebnej na wydobycie i oczyszczenie uranu rośnie ze spadkiem zawartości uranu w rudzie. Jest to spowodowane faktem, że ilość rudy, którą trzeba wydobyć i oczyścić, rośnie przy spadku zawartości uranu w rudzie G. Co więcej, sprawność odzyskiwania uranu z rudy Y maleje przy malejącej zawartości uranu w rudzie. Prawidłowy wzór opisujący tę zależność winien mieć postać

$$E(\text{wydobycie}) = C_s(1 + S)/G$$

gdzie: C_s – wskaźnik energii potrzebnej na wydobycie tony skały lub rudy,
S – stosunek masy skały płonnej do rudy.



Rys. 3. Porównanie twierdzeń SLS z danymi rzeczywistymi
Źródła błędów SLS

Fig. 3. Comparison of SLS claims with reality

SLS uznali, że wartość $S = 50$ występująca w USA przed 30 laty jest wielkością typową dla wszystkich pokładów rudy uranowej i wprowadzili wzór, w którym zamiast zmiennej wielkości $C_s(1 + S)$ zależnej od stosunku S masy nadkładu do masy rudy przyjęto stałą C określoną dla $S = 50$.

Oczywiście, gdy w danej kopalni S jest mniejsze od 50, wzór SLS daje wyniki zawyżone. H.M. Prasser zwrócił uwagę, że przy obniżaniu zawartości uranu w rudzie występuje naturalna tendencja do zmniejszania stosunku masy płonnej do rudy [15]. Dlatego w kopalniach wykorzystujących rudy ubogie wielkość S jest wielokrotnie mniejsza niż w dawnych kopalniach w USA opartych na wykorzystaniu rudy bogatej.

7. Podsumowanie dyskusji

Czy tak trudno było sprawdzić jak bardzo nierealne są oceny SLS?

Zaskakujące jest, że ani Storm Van Leeuwen i Smith formułując swe twierdzenia, ani organizacje antynuklearne powtarzające z zapałem tezę o braku uranu, nie uznali za stosowane sięgnąć do danych aktualnych, a woleli pozostawać tylko przy ekstrapolacjach opartych na danych zdezaktualizowanych i na błędnym rozumowaniu. Przecież gdyby ich twierdzenia były słuszne, to i kopalnia Rossing i Trekkopje przynosiłyby ogromne straty. Jak podaje Sevier [16], gdyby rozpatrywać najtańsze źródło energii w postaci ropy do silników diesla, to przy cenie 1 USD za litr paliwa, przy wartości energetycznej 43 MJ(t)/kg

i gęstości ropy 0,848 kg/litr, za 1 USD można byłoby uzyskać energię 36 MJ(t). Energia potrzebna dla Trekkopje równa według wzoru SLS 29,3 TJ(t)/Mg U kosztowałaby 810 000 USD/Mg U.

Zakładając, że kopalnia Trekkopje będzie pracowała przy cenie uranu 130 USD/kg U, każda tona przynosiłaby stratę 680 000 USD! Kto chciałby budować taką kopalnię? I po co? Czy to proste przeliczenie nie wystarczy by wykazać, jakim nonsensem jest postulowany przez SLS wzór do określania energii potrzebnej rzekomo do wydobycia uranu z rud ubogich?

Wzór ten ma jednak w oczach Greenpeace wielką zaletę: pozwala twierdzić, że uranu dla energetyki jądrowej wkrótce zabraknie, a taki wniosek potrzebny jest organizacjom zwalczającym energetyką jądrową.

Warto podkreślić, że na błędnym twierdzeniu SLS opiera się wiele wypowiedzi wojowników antynuklearnych, którzy już bez „zbędnych” refleksji cytują wniosek SLS, że przy zawartości uranu w rudzie poniżej 0,013% cały jądrowy cykl paliwowy powoduje stratę, a nie zysk energii. Czyni tak osławiony wojownik antynuklearny John Busby pisząc „Przy zawartości uranu w rudzie poniżej 0,01% dla miękkiej rudy i 0,02% dla rudy twardej cykl paliwowy pochłania więcej energii niż można z niego uzyskać” [17]. To samo pisze organizacja Friends of the Earth (*Nuclear power not a solution for global warming*), Jim Green (*Global warming: Nuclear power no solution*) [18] piszący „Zasoby uranu będą wyczerpane za około 50 lat”, a także Oxford Research Group [11] „niemożliwe jest uzyskanie energii netto z rudy uranowej o zawartości uranu poniżej około 0,02–0,01% U_3O_8 ” (s. 21). I nikt z nich nie uważa za stosowne porównać swych twierdzeń powtarzanych za SLS z faktami!

Niezależnie jednak od twierdzeń organizacji antynuklearnych przykłady wzięte ze współczesnej praktyki wykazują, że ubogie rudy uranu o zawartości poniżej 0,01%, a zapewne i o rząd mniejszej, można z pożytkiem wykorzystać dla cyklu jądrowego. A to zapewnia możliwość wykorzystania ogromnych zasobów uranu, jakie zawarte są w ubogich rudach uranowych. Do takich należą również zasoby rudy uranowej w Polsce. Można więc stwierdzić, że niezależnie od prac nad rozwojem reaktorów powielających i wykorzystaniem toru, zasoby uranu wystarczą nie tylko dla budowanych obecnie reaktorów termicznych, ale i dla ich następnych generacji.

8. Zasoby uranu w Polsce

W skali całej Polski łączne zasoby rozpoznane i prawdopodobne to około 100 000 ton uranu naturalnego, a więc dość dla każdego przewidywalnego programu nuklearnego w naszym kraju. W chwili obecnej wydobycie tego uranu byłoby nieopłacalne, bo tańszy uran możemy kupić z wielu krajów, np. z Australii, Kanady czy Namibii, ale w dyskusji aspektów strategicznych warto zdawać sobie sprawę, że Polska może mieć własny uran. Wielkość składowej uranowej w cenie elektryczności z EJ jest mała, około 5% a więc nawet podwojenie kosztu uranu nie spowoduje zauważalnego wzrostu ceny energii elektrycznej.

TABELA 2. Zasoby rudy uranowej w Polsce (zasoby prognozowane są na głębokości większej niż 1000 m) według OECD NEA Red Book, 2008 [16]

TABLE 2. Uranium ore resources in Poland (resource prognosticated are those situated deeper than 1000 m) according to OECD NEA Red Book, 2008 [16]

Region w Polsce	Zasoby zidentyfikowane [ton U _{nat}]	Zawartość uranu w rudzie [ppm]	Zasoby prognozowane [ton U _{nat}]
Rajsk (Podlasie)	5 320	250	88 850
Synklina przybałtycka			10 000
Okrzeszyn (niecka Wałbrzyska Sudety)	940	500–1100	
Grzmiąca w Głuszycy Dolnej (Sudety)	790	500	
Wambierzyce (Sudety)	220	236	2 000

Zestawienie wielkości zasobów rudy uranowej już rozpoznanych w Polsce [19, 20] przedstawia tabela 2.

Nasze złoża należą wprawdzie do ubogich, ale niektóre z nich (Wambierzyce, Grzmiąca, Okrzeszyn) mają szczególną zaletę. Są to złoża pokładowe, o w miarę jednolitym charakterze, co umożliwia ich w miarę regularną eksploatację przez dziesiątki lat [21].

Ponadto uran można uzyskiwać jako produkt uboczny przy wydobyciu innych minerałów. Największa na świecie kopalnia uranu to Olympic Dam w Australii, gdzie uran jest domieszką do złóż miedzi o zawartości 0,02% w rudzie, to jest 200 ppm [22]. W Polsce także możliwy jest odzysk uranu występującego jako domieszka do pokładów miedzi w rejonie Lubin–Sieroszowice. Zawartość uranu w rudzie wynosi tam ~60 ppm, przy zawartości miedzi 2%. Całkowite zasoby rudy to 2400 mln ton, miedzi 48 mln ton, a uranu 144 000 ton. Stanowi to ekwiwalent ~ 900 GW_e-lat, które można uzyskać z tych zasobów w elektrowniach jądrowych, przy wkładzie energii mniejszym niż 5% energii uzyskiwanej w tych elektrowniach. Dodatkową zaletą byłaby redukcja radioaktywności w odpadach z oczyszczania miedzi.

Obecna roczna produkcja w Zagłębiu Lubin–Sieroszowice wynosi ~569 000 ton Cu, a ilość uranu zrzucana na hałdy to ~1 700 t/a. Stanowi to rocznie ekwiwalent paliwa dla 10 elektrowni jądrowych, o łącznej mocy 10 000 MWe [16].

Literatura

- [1] Rezolucja Parlamentu Europejskiego (2007/2091 (INI) z 24 października 2007 roku o źródłach energii konwencjonalnej oraz technologiach energetycznych.
- [2] HM Government, BERR 2008 – Meeting the Energy Challenge, a White Paper on Nuclear Power, January 2008, para 3.23.
- [3] Uranium 2005 – Resources, Production and Demand, OECD/IAEA, NEA No 6098, Paris 2005.
- [4] <http://nuclearinfo.net/Nuclearpower/WebHomeAvailabilityOfUsableUranium>.
- [5] IAEA 2008 – Climate change and nuclear power 2008, Vienna, International Atomic Energy Agency, p. 29.
- [6] DEFFEYES & MACGREGOR, 1980 – World Uranium resources. Scientific American, Vol. 242, No 1, January 1980, pp. 66–76.
- [7] CHAPMAN P.F., 1975 – Energy analysis of nuclear power stations. Energy Policy, December 1975, p. 285–298.
- [8] STORM VAN LEEUWEN J.W. & SMITH P., 2005 – Nuclear power, the energy balance, 28 July 2005.
- [9] STORM VAN LEEUWEN J.W., 2007 – Nuclear power – the energy balance. Uranium, October 2007.
- [10] WNA 2006, Energy Analysis of Power Systems, March 2006.
- [11] STORM VAN LEEUWEN J.W., 2006 – Energy from Uranium. Report of Oxford Research Group, July 2006.
- [12] Turgis Consulting (Pty) Ltd, 2007 – Report of the Environmental and Social Impact Assessment. Trekkopje Uranium Project. Draft for Public Review November 2007, Namibia.
- [13] Namibia Energy Consumption http://www.eia.doe.gov/emeu/world/country/cntry_WA.html.
- [14] ROTTY R.M., PERRY A.M. & REISTER D.B., 1975 – Net energy from nuclear power, ORAU-IEA-75-3, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, November 1975.
- [15] PRASSER H.M., 2008 – Are the sources of uranium big enough for the nuclear energy industry. ENERGY IN POLAND – Opportunity or necessity? Oct. 20–21, 2008, Warszawa, Poland.
- [16] Uranium 2007: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency OECD, Paris, 2008, cytowane w pracy Sevier M., 2008 – <http://nuclearinfo.net/Nuclearpower/SSRebuttalResp>.
- [17] The Busby Report.
- [18] <http://www.greenleft.org.au/2005/622/34954>.
- [19] PIESTRZYŃSKI A., 1990 – Uranium and thorium in the Kupferschiefer formation, Lower Zechstein, Poland. Mineralium Deposita 25 (1990)2, pp. 146–151.
- [20] OSZCZEPALSKI S., BLUNDELL D., 2005 – Kupferschiefer Copper Deposits of SW Poland. in: J. Ore Geology Reviews (2005) p. 271.
- [21] Górnictwo uranu w Polsce – <http://www.redbor.pl/artykuly/uran.htm>.
- [22] BHP 2008, Billiton outlines Olympic Dam grand plans. WNN, 06 November 2008.

Andrzej STRUPCZEWSKI

Nuclear power development plans for Poland and uranium resources

Abstract

In October 2007 the European Parliament declared, that nuclear power is indispensable for the European Union. Many countries revive their nuclear power programs or start building new nuclear power plants. However, the opponents of nuclear power claim that as uranium resources get exhausted the energy needed to mine low grade uranium ore will be larger than the energy that can be obtained from fission in a nuclear power plant.

The paper considers the total energy needs for uranium mining, including not only electricity needed for mining and milling, for water treatment and delivery to the mine and to the neighboring settlements, but also fuel for transportation and ore crushing, explosives for rock blasting, chemicals for uranium leaching and the energy needed for mine reclamation after completed ore exploitation. In contrast to the estimates of nuclear opponents based on mining experience with rich ores mined some 30 years ago, the study of IAE has used the most up to date data, reflecting the actual state-of-art mining practices. Since the opponents state clearly that the ore containing less than 0.013% U_3O_8 cannot yield positive energy balance, the paper considers mines of decreasing ore grade: Ranger 0.234% U, Rossing 0.028% U and Trekkopje 0.00126% U, that is with ore grade below the cut-off value postulated by opponents.

The energy needed for very low grade uranium ore mining and milling increases but the overall energy balance of the nuclear fuel cycle remains strongly positive. Even for the mine using the poorest uranium ore the energy obtained at the NPP is about 70 times larger than that needed for the whole nuclear fuel cycle, including the energy needed for radioactive waste storage, the NPP construction and decommissioning to the green field status. The claims of nuclear opponents are shown to be wrong. Low grade uranium can be used. This also means that Polish uranium resources those in low grade ores and those obtained as a by-product of copper production, can provide fuel for a large program of nuclear power development in Poland.

KEY WORDS: uranium mining, low grade uranium ore, energy balance for low grade uranium ore, errors of Storm van Leeuwen, uranium resources in Poland