

UKD 662.692.24:552.54:551.763.3(438.12 Wyż. Lubelska) + 552.52:551.782.1(438–13 zap. przedkarpackie):  
:551.243.8:556.332.4

Marian PEREK

## Geologiczno-inżynierskie możliwości zakładania zbiorników na paliwa płynne w południowo-wschodniej Polsce

Rozpatrzono możliwości lokalizacji zbiorników podziemnych bez obudowy ścian na ropę naftową i jej produkty w skałach węglanowych kredy górnej na Wyżynie Lubelskiej i terenach przyległych od północy oraz w iltach i iłotupkach miocenijskich zapadliska przedkarpackiego. Na podstawie wydajności wód podziemnych z próbnich pompowań w skałach węglanowych wydzielono strefy A i B, różniące się szczelinowatością i zawodnieniem. Strefa B (skały małospekane – słabozawodnione i niespekane – nieprzepuszczalne), która odpowiada kryterium wykonania wyrobisk bez obudowy ścian, występuje w rejonie wschodnim na głębokości poniżej 100 m, w rejonie środkowym poniżej 150 m oraz w rejonie zachodnim, południowym i północnym poniżej 200 m. Iły zapadliska przedkarpackiego do głębokości 200 m nie stwarzają warunków do lokalizacji zbiorników bez obudowy ścian.

### WSTĘP

Do systemów magazynowania ropy naftowej i jej produktów coraz częściej są stosowane na świecie zbiorniki podziemne. Zainteresowanie tego typu zbiornikami wiąże się z tańszym wykonawstwem, oszczędnością materiałów budowlanych, ekonomią eksploatacji, ochroną środowiska oraz bezpieczeństwem. Zbiorniki bez obudowy ścian powstają przeważnie przy zastosowaniu: sposobu ługowniczego (złoża soli), strumienia wody pod dużym ciśnieniem (skały miękkie), kontrolowanego wybuchu nuklearnego, a najczęściej sposobu górniczego. Tworzone są zbiorniki podziemne przeważnie o dużych pojemnościach (powyżej 100 tys. m<sup>3</sup>). Lokalizowane są w skałach magmowych i metamorficznych, wapieniach, marglach, łupkach, złożach soli oraz w innych typach skał zwykle na niedużych głębokościach (do ok. 300 m). Są zbiorniki pojedyncze lub wielokomorowe wzajemnie połączone. Na świecie jest już w eksploatacji ponad 1000 zbiorników podziemnych, z czego ponad 700 jest wykonanych sposobem ługowniczym w złożach soli (K. Ślizowski, 1980). Najwcześniej i najliczniejsze powstały w USA, Szwecji, Francji i RFN,

a w ostatnich latach w Belgii, Norwegii, Finlandii, Czechosłowacji, NRD, ZSRR, Kanadzie i Algierii. Największe zbiorniki ropy naftowej i jej produktów oraz płynnego gazu znajdują się we Francji, w RFN i Finlandii. W USA do 1989 r. pojemność wszystkich zbiorników podziemnych wzrosła do 45 mln m<sup>3</sup>.

W krajach skandynawskich jest obecnie czynnych ok. 200 zbiorników o łącznej pojemności 3,2 mln m<sup>3</sup>. We Francji na północ od Tulonu w zbiorniku o 90 komorach zmagazynowano 16 mln m<sup>3</sup> ropy naftowej. W RFN w pobliżu Wilhelmshaven jest budowany na głębokości 1000 m zbiornik złożony z 52 komór o ogólnej pojemności ok. 17 mln m<sup>3</sup>.

Do podziemnego magazynowania ropy naftowej i jej produktów oraz gazu są również wykorzystywane nieczynne kopalnie, jak np. w USA o pojemności 4,25 mln m<sup>3</sup> i w RFN o pojemności 0,5 mln m<sup>3</sup>. Budowane są także zbiorniki podziemne w wiecznej zmarzlinie lub w gruntach sztucznie zamrożonych dla przechowywania płynnego gazu w stałej ujemnej temperaturze.

Od kilku lat w USA, Wielkiej Brytanii, ZSRR i we Francji do tworzenia kawern na zbiorniki podziemne stosuje się eksperymentalnie energię nuklearną. Metoda kontrolowanego wybuchu nuklearnego nadaje się szczególnie do tworzenia zbiorników o dużych pojemnościach pod dnem morskim (R. Hill, 1971).

W Polsce w latach pięćdziesiątych podjęto próbę magazynowania gazu ziemnego w wyeksploatowanym złożu tego gazu. W następnych latach prowadzono badania nad możliwością magazynowania gazu w antyklinalnych strukturach wodonośnych.

Realne zainteresowanie możliwością budowy zbiorników podziemnych na ropę naftową i jej produkty rozpoczęło się w latach siedemdziesiątych. Dokonano wstępnego rozpoznania geologicznego struktur solnych formacji cechsztyńskiej, zajmującej ok. 3/5 powierzchni kraju. Stwierdzono, że zbiorniki podziemne mogą być lokalizowane w tych złożach solnych, które zalegają do głębokości 1000 m. Takie możliwości istnieją we wschodniej części Pomorza, na Kujawach i monoklinie przedsudeckiej. Dużą nadzieję wiąże się z wysadami solnymi występującymi na głębokościach ok. 100–300 m. W wysadach tych można tworzyć wyrobiska o pojemności jednostkowej do 500 tys. m<sup>3</sup> (Z. Stepek, 1976).

Wstępną ocenę warunków geologiczno-inżynierskich utworów w południowo-wschodniej Polsce wykonał autor w 1979 r. dla określenia możliwości lokalizacji zbiorników podziemnych na ropę naftową i jej produkty. Badaniami objęto Wyżynę Lubelską, wschodnią część Niziny Mazowieckiej i Polesia Lubelskiego oraz zapadlisko przedkarpackie, o łącznej powierzchni ok. 32 tys. km<sup>2</sup>. Opracowanie wykonano w Instytucie Geologicznym na zlecenie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Górnictwa Surowców Chemicznych Chemkop w Krakowie. Zostało ono wykorzystane do sporządzenia modelu pierwszego składowiska umożliwiającego magazynowanie jednego lub kilku paliw silnikowych w rejonie Lublina (B. Nie-lubowicz, L. Kostecki, 1982).

Analizę możliwości lokalizacji zbiorników przeprowadzono na podstawie materiałów archiwalnych oraz publikowanych wyników badań budowy geologicznej, warunków hydrogeologicznych i właściwości fizyczno-mechanicznych skał. Archiwalne profile otworów wiertniczych stanowiły podstawowy materiał do analizy litologicznej utworów.

## ZAŁOŻENIA GEOLOGICZNE

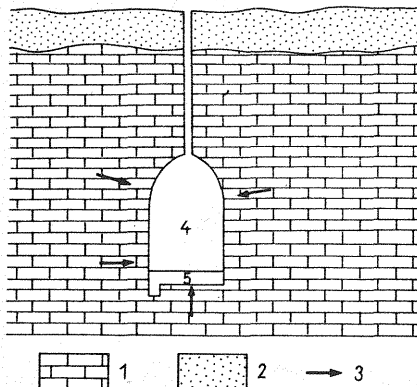
Podstawą ustalenia możliwości lokalizacji zbiorników podziemnych były, podane przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych Chemkop w Krakowie, następujące założenia:

Fig. 1. Porównanie ciśnień wód podziemnych w środowisku geologicznym i węglowodorów w zbiorniku podziemnym

Comparison of pressures of groundwaters in geological environment and hydrocarbons in underground reservoir

1 – skały węglanowe kredy górnej; 2 – osady czwartorzędowe; 3 – dopływ szczelinowych wód podziemnych o ciśnieniu do 1,8 MPa; 4 – zbiornik węglowodorów (ciśnienie 0,15 MPa); 5 – woda

1 – Upper Cretaceous carbonate rocks; 2 – Quaternary sediments; 3 – inflow of fissure groundwaters under pressure up to 1.8 MPa; 4 – hydrocarbon reservoir (pressure 0.15 MPa); 5 – water



- głębokość rozpoznania środowiska geologicznego będzie sięgać do ok. 200 m;
- wyrobiska będą wykonane systemem górniczym bez obudowy ścian, ze wzmocnieniem metodą kotwienia, okładania ociosów siatkami stalowymi, betonem natryskowym oraz uszczelnieniem spękań;
- wyrobiska podziemne zostaną wykonane w skałach nieprzepuszczalnych i słabo przepuszczalnych;
- miąższość skał nieprzepuszczalnych i słabo przepuszczalnych powinna wynosić co najmniej 50 m;
- dopuszczalne przecieki wód podziemnych podczas eksploatacji zbiornika nie powinny przekraczać kilkudziesięciu metrów sześciennych na dobę.

Wody podziemne przeciekające do zbiornika wypełnionego płynnymi węglowodorami będą się gromadzić w dolnej części wyrobiska, a następnie zostaną odpompowane na powierzchnię. W projektowanych zbiornikach ciśnienie płynnych węglowodorów będzie wielokrotnie niższe od ciśnienia wód podziemnych w otaczającym środowisku geologicznym. W zbiornikach tego typu są składowane węglowodory pod własnym ciśnieniem (grawitacyjnym). Jeżeli zbiornik będzie wybudowany na głębokości ok. 200 m, to dla przykładu można podać, że ciśnienie składowanych węglowodorów w strefie przydennej wyniesie ok. 0,15 MPa, a wód podziemnych w otaczającym środowisku geologicznym ok. 1,8 MPa (fig. 1). Znaczna różnica ciśnień wywoła jedynie stały napływ wód podziemnych do zbiorników. W tej sytuacji nie przewiduje się wycieków płynnych węglowodorów ze zbiorników i potencjalnego skażenia wód podziemnych w otaczającym środowisku geologicznym. Prawdliwość tę potwierdzają wieloletnie doświadczenia eksploatacji tego typu zbiorników w innych krajach.

## OCENA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA LOKALIZACJI ZBIORNIKÓW W SKAŁACH WĘGLANOWYCH KREDY GÓRNEJ NA LUBELSZCZYŹNIE

Skały węglanowe kredy górnej od turonu do mastrychtu są reprezentowane głównie przez wapień, wapień margliste, margle, margle piaszczyste, kredę piszącą, opoki i gezy. Na skutek zmiennych warunków sedymentacji utwory te wykazują naprzemianległe ułożenie różnych typów litologicznych skał niezależnie od poszczególnych pięter stratygraficznych. Jedynie kreda pisząca pod względem miąższości dominuje w rejonach wschodnich. W całym obszarze skały węglanowe

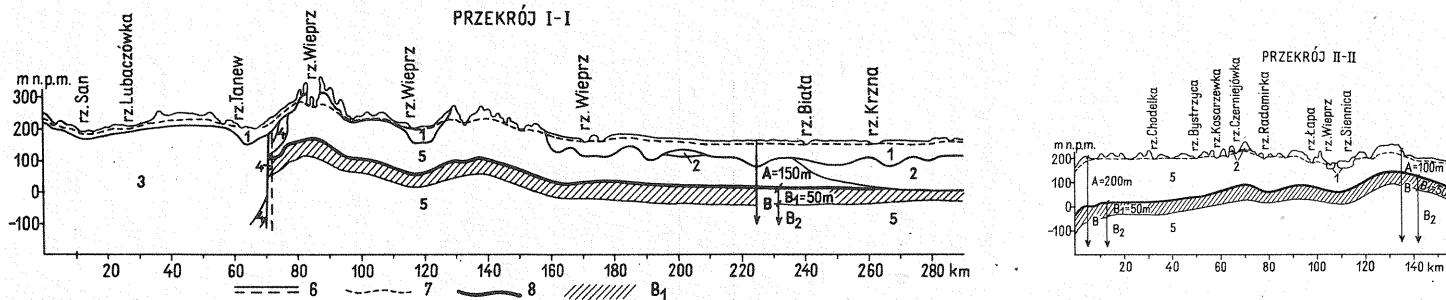


Fig. 2. Syntetyczne przekroje geologiczno-inżynierskie z podziałem skał węglanowych kredy górnej na strefy A i B  
Synthetic geological-engineering sections with subdivision of Upper Cretaceous carbonate rocks into zones A and B

1 – czwartorzęd – gliny, ropy, piły, żwirny, piaski, namuły, torfy; trzeciorzęd: 2 – utwory śródlądowe – piaski ze żwirami, ropy, piły, 3 – sarmat – ropy, ropy margliste, łupki ilaste, łupki, mułowce ilaste, mułowce, mułowce piaszczyste, piaski pylaste drobne, 4 – baden – margle, wapienie margliste, wapienie dolomityczne, dolomity, ropy, mułowce, muszłowce piaszczyste, piaskowce, tuffity, gipsy; 5 – kreda górna – senon – wapienie, wapienie margliste, margle, margle piaszczyste, kreda pisząca, opoki, gezy; 6 – uskoki pewne i przypuszczalne; 7 – swobodne zwierciadło wód podziemnych; 8 – granica podziału skał węglanowych kredy górnej na strefy: A – skał spękanych i silnie zawodnionych, B – skał mało spękanych słabozawodnionych (B<sub>1</sub>) oraz niespękanych i nieprzepuszczalnych (B<sub>2</sub>) – możliwa do lokalizacji zbiorników podziemnych

1 – Quaternary – tills, clays, silts, gravels, sands, muds, peats; Tertiary: 2 – continental sediments – sands with gravel, clays, silts, 3 – Sarmatian – clays, marly clays, clay shales, shales, clay mudstones, mudstones, sandy mudstones, fine silty sands, 4 – Badenian – marls, marly limestones, dolomitic limestones, dolomites, claystones, mudstones, sandy cocquinas, sandstones, tuffites, gypsum, 5 – Upper Cretaceous – Senonian – limestones, marly limestones, marls, sandy marls, chalk, opokas, gaizes; 6 – controlled and inferred faults; 7 – free groundwater table; 8 – boundary of subdivision of Upper Cretaceous carbonate rocks into zones: A – fractured and strongly water-saturated rocks, B – weakly fractured and poorly water-saturated (B<sub>1</sub>) and unfractured and impervious rocks (B<sub>2</sub>) – possible site for underground reservoir

mają znaczną miąższość; w północno-wschodniej części w okolicach Terespoła wynosi ona ok. 200 m i wzrasta w kierunku południowo-zachodnim osiągając na krańcach ok. 1000 m.

W południowej części obszaru obejmującego Wyżynę Lubelską strop skał węglanowych kredy górnej występuje na powierzchni lub pod cienką pokrywą osadów czwartorzędowych i lokalnie trzeciorzędowych, natomiast w części północnej zapada ku północy pod zwartą i grubą pokrywą utworów trzeciorzędowych i czwartorzędowych, schodząc na jego krańcach na głębokość maksymalną ok. 170 m.

Osady trzeciorzędowe są złożone przeważnie z pyłów, ilów, piaskowców, gez, margli i wapieni oraz piasków. Ogólnie ich miąższość dochodzi do 50 m.

Osady czwartorzędowe składają się z glin zwałowych, piasków, ilów, namulów i lessów. Lessy pokrywają Wyżynę Lubelską, gdzie osiągają miąższość do ok. 15 m. Pozostałe osady czwartorzędowe o miąższości maksymalnie do ok. 80 m, przeciętnie ok. 40 m, dominują w rejonach północnych.

Wody podziemne występują w szczelinach skał spękanych i lokalnie skrasowiałych kredy górnej, a w części północnej obszaru również w sykich osadach trzeciorzędowych i czwartorzędowych. Tworzą one jeden wspólny poziom wodonośny przeważnie o zwierciadle swobodnym. Zwierciadło to na Wyźnie Lubelskiej występuje najczęściej na głębokościach 25–70 m, a w części północnej badanego obszaru na głębokości 3–20 m.

Z zebranego materiału dokumentacyjnego analizowano głównie wydajności wód podziemnych uzyskane podczas próbnych pompowań ze studni wierconych. Na podstawie tych wyników oraz przyjętych kryteriów lokalizacji zbiorników podziemnych bez obudowy ścian wykonanych sposobem górniczym, wydzielono w skałach węglanowych kredy górnej w zależności od intensywności spękania i zawodnienia dwie podstawowe strefy: A i B (fig. 2).

Strefa A, obejmująca skały bardzo spękane i najsilniej zawodnione, występuje w rejonach wschodnich do głębokości ok. 100 m i w rejonach zachodnich do głębokości ok. 200 m. Charakteryzuje się wydajnościami wód podziemnych przeważnie w granicach 3–50 m<sup>3</sup>/h na 1 m depresji w studniach wierconych. Przyjęte kryteria dyskwalifikują ze względów ekonomicznych tę strefę do lokalizacji zbiorników podziemnych na ropę naftową i jej produkty.

Strefa B, możliwa do lokalizacji zbiorników podziemnych bez obudowy ścian, występuje na głębokościach poniżej 100–200 m (pod strefą A). Została ona podzielona na część górną i dolną. Część górną zwaną podstrefą B<sub>1</sub>, o miąższości ok. 50 m, tworzą skały mało spękane i słabozawodnione. Wydajności wód podziemnych nie są tu duże i wynoszą maksymalnie 0,3 m<sup>3</sup>/h na 1 m depresji. Część dolna strefy B, zwaną podstrefą B<sub>2</sub>, zbudowana jest ze skał węglanowych, niespękanych i nieprzepuszczalnych.

Zilustrowane na przekrojach geologiczno-inżynierskich (fig. 2) dwie strefy A i B skał węglanowych kredy górnej rozdzielono grubą linią ciągłą na głębokościach 100–200 m. Przewyższenie stukrotne skali pionowej w stosunku do poziomej spowodowało ostre zniekształcenie wydzielonej strefy B i morfologii powierzchni terenu.

#### STREFA A – SKAŁY BARDZO SPĘKANE

Strefa A kredy górnej rozprzestrzenia się do znacznych głębokości. Próbné pompowania wód podziemnych w studniach wierconych wskazują, że skały te są bardzo silnie spękane, tworząc gęsty i jednolity system łączących się szczelin

typu wietrzeniowego z tendencją do krasowienia. Rzadziej spotyka się szczeliny związane z uskokami tektonicznymi, lecz ich zasięg głębokościowy jest znacznie większy. Na powierzchni terenu uskoki pokrywają się w wielu miejscach z przebiegiem dolin rzecznych. Kierunek uskoków jest w większości przypadków pionowy lub do niego zbliżony.

Szczeliny pochodzenia tektonicznego mają większe rozmiary i głębszy zasięg. Kierunki przebiegu głównych stref dyslokacji są równoległe i prostopadłe do osi synklinorium lubelskiego SE – NW i NE – SW (A. Malicki, 1935; A. Jahn, 1956; S. Krajewski, 1964).

Szczeliny typu wietrzeniowego obejmują skały kredy górnej do głębokości 40 – 130 m. Najczęściej jednak strefa spękań występuje na głębokości 60 – 90 m. Mimo miejscowego zróżnicowania głębokości strefy spękań, najmniejsze jej miąższości notuje się we wschodniej części omawianego obszaru. W kierunku zachodnim i północno-zachodnim obserwuje się ogólną tendencję do stopniowego pogłębiania się tej strefy.

Wyniki wydajności wód podziemnych w studniach wierconych wskazują, że w części wschodniej obszaru obejmującego utwory kredy piszącej strefa spękań sięga do głębokości ok. 100 m, w części środkowej, złożonej z margli, wapieni, opok i innych skał węglanowych, do głębokości ok. 150 m, oraz w części zachodniej i południowej, zbudowanej z tych samych skał, do głębokości 200 m. Skały w południowej części są gęściej pocięte i zdruzgotane tektonicznie pionowymi ruchami wznoszącymi. W całym obszarze wymieniona strefa spękań jest najbardziej zawodniona, o największych wydajnościach w odniesieniu do kredy górnej. Należy zaznaczyć, że sieć spękań i zawodnienie zmniejsza się wraz z głębokością.

Liczne pomiary w kilkudziesięciu kamieniołomach wykazały, że szerokości szczelin wynoszą od ułamka milimetra do kilkunastu centymetrów.

Właściwości fizyczno-mechaniczne skał węglanowych kredy górnej strefy A określono na próbkach pobranych z odstępów naturalnych i kamieniołomów przelomowego odcinka Wisły środkowej między Kazimierzem Dolnym i Annopolem (W.C. Kowalski, 1961*a, b*), z kamieniołomów między Lublinem i Chełmem (H. Łozińska-Stepień, 1965*a, b*, 1970, 1975) oraz na podstawie wyników 11 otworów wiertniczych z okolic Chełma, Ostrówka, Dorohucza, Łęcznej i Kocka, zawartych w dokumentacjach geologicznych Lubelskiego Zagłębia Węglowego wykonanych przez J.W. Porzyckiego w Instytucie Geologicznym.

Wyniki badań laboratoryjnych z wymienionych prac wskazują na znaczny rozrzut parametrów fizyczno-mechanicznych skał węglanowych kredy górnej. Stwierdzono, że właściwości fizyczno-mechaniczne są w ścisłym związku ze składem mineralnym. W skałach tych dominuje węglan wapnia i krzemionka, podrzędnie występują minerały ilaste i inne glinokrzemiany. Im więcej w skale węglanu wapnia tym gęstość objętościowa jest większa. Zwiększona zawartość wolnej krzemionki sprawia, że skała jest bardziej porowata, a przez to jej gęstość objętościowa jest mniejsza. Wytrzymałość skały wzrasta przy zmniejszaniu się zawartości węglanu wapnia. Badania wykazały, że skały węglanowe charakteryzują się zróżnicowaną wytrzymałością na ściskanie w zakresie 1,4 – 39,6 MPa, co jest wystarczające do wykonania wyrobisk bez obudowy ścian. Z porównania porowatości i nasiąkliwości wynika, że tylko część porów wypełniona jest wodą. Świadczy to, że w poszczególnych typach skał istnieją pory zamknięte.

Przytoczona w dużym skrócie charakterystyka hydrogeologiczna i geologiczno-inżynierska skał węglanowych strefy szczelinowej wskazuje, że przy projektowaniu szybów lub sztolni roboczych do wytypowanych wyrobisk podziemnych przeznaczonych na składowiska ropy naftowej i jej produktów należy podejść z dużą

ostrożnością. Przewidując zatem znaczny dopływ wód podziemnych, głębienie szybu lub sztolni w strefie A musi być powiązane z zamrażaniem skał i całkowitą izolacją wodoszczelną ścian. W miejscach gęsto spękanych ściany wyrobisk muszą być wzmocnione.

#### STREFA B – SKAŁY WĘGLANOWE MAŁO SPĘKANE I NIESPĘKANE

Przyjęte kryteria wskazują, że najkorzystniejsze warunki do lokalizacji zbiorników podziemnych na ropę naftową i jej produkty istnieją w górnej części strefy B, zwanej podstrefą B<sub>1</sub>. Podstrefa ta, złożona ze skał węglanowych mało spękanych i słaboprzepuszczalnych, ma miąższość ok. 50 m. Występuje bezpośrednio pod strefą A na głębokościach poniżej 100 m w rejonach wschodnich i poniżej 200 m w rejonach zachodnich. Próbné pompowania z otworów wiertniczych wskazują, że wydajności wód podziemnych są tu bardzo małe 0,3 m<sup>3</sup>/h na 1 m depresji. Obecność wód podziemnych i ich odpowiednio wysokie ciśnienie wokół zbiornika będzie ochroną przed skażeniem środowiska geologicznego składowanymi produktami naftowymi.

Część dolna strefy B, zwana podstrefą B<sub>2</sub>, złożona jest ze skał węglanowych niespękanych i nieprzepuszczalnych. Podstrefa ta znajduje się na głębokościach poniżej 150 m w rejonach wschodnich i poniżej 250 m w rejonach zachodnich i południowych. Sięga ona spągu skał węglanowych kredy górnej. W podstrefie tej mogą występować wody podziemne pochodzenia porowego.

Wyniki badań właściwości fizyczno-mechanicznych skał węglanowych kredy górnej strefy B pochodzą z głębokich otworów wiertniczych wykonanych dla Lubelskiego Zagłębia Węglowego w okolicach Chełma, Kocka, Łęcznej i Ostrówka. Parametry fizyczno-mechaniczne dla poszczególnych typów litologicznych skał kredy górnej strefy B na głębokościach 150–300 m uzyskano z publikacji H. Łozińskiej-Stępień (1975) i z dokumentacji geologicznych wykonanych przez J.W. Porzyckiego w Instytucie Geologicznym.

Wyniki badań właściwości fizyczno-mechanicznych dotyczą skał dominujących w strefie B, czyli wapieni, wapieni marglistych, margli wapnistych i kredy piszącej.

Należy szczególnie podkreślić, że właściwości fizyczno-mechaniczne skał węglanowych w strefie B dla wyrobisk podziemnych bez obudowy ścian są korzystniejsze niż analogicznych skał strefy A – bardzo spękanych i zawodnionych. Jest to całkiem zrozumiałe, gdyż wraz z głębokością skały wykazują większy stopień zdiagenezowania pod wpływem nacisku warstw nadległych.

Skały strefy B charakteryzują się dużym rozrzutem wartości poszczególnych parametrów. Rozrzut wytrzymałości jest następujący:

- wytrzymałość na ściskanie 4,5–29,5 MPa,
- wytrzymałość na rozrywanie 0,3– 1,7 MPa,
- wytrzymałość na zginanie 3,7–15,7 MPa,
- wytrzymałość na ścinanie 0,9– 8,3 MPa.

Przytoczone zakresy pozwalają na wykonanie w strefie B wyrobisk podziemnych bez obudowy ścian sposobem górniczym.

Uwzględniając ochronę wód podziemnych z uwagi na stale zwiększającą się ich eksploatację dla potrzeb ludności i przemysłu, opracowano mapę rejonów zalecanej głębokości lokalizacji zbiorników podziemnych w strefie B (fig. 3). W zależności od głębokości występowania strefy B złożonej ze skał mało spękanych i niespękanych wydzielono na mapie 3 rejon, które przebiegają południkowo.

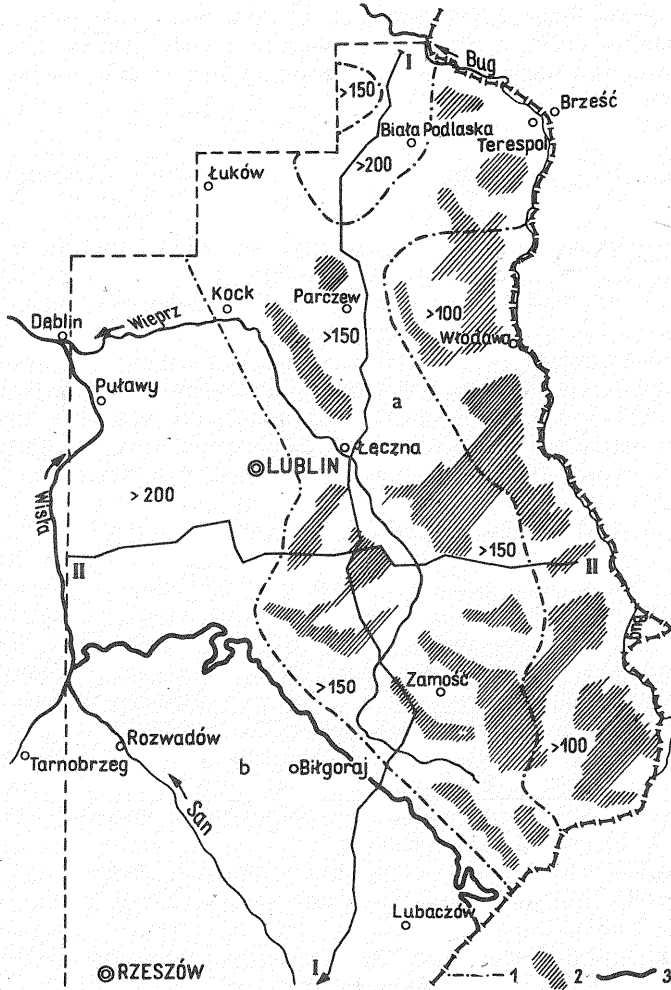


Fig. 3. Mapa rejonów możliwej głębokości lokalizacji zbiorników podziemnych w skałach węglanowych kredy górnej

Map of regions of possible depths of locating underground reservoirs in Upper Cretaceous carbonate rocks

1 – granica rejonów możliwej lokalizacji zbiorników podziemnych w skałach węglanowych kredy górnej strefy B na głęb. poniżej 100, 150 i 200 m; 2 – tereny korzystniejsze dla lokalizacji zbiorników podziemnych ze względu na mniejsze spekanie i zawodnienie skał; 3 – granica między zapadliskiem przedkarpackim i Wyżyną Lubelską; I–I, II–II – linie przekrojów geologiczno-inżynierskich z podziałem skał węglanowych na strefy A i B; a – obszar skał węglanowych kredy górnej Wyżyny Lubelskiej; b – obszar utworów ilastych zapadliska przedkarpackiego

1 – boundaries of regions where underground reservoirs may be designed in Upper Cretaceous carbonate rocks of the zone B at depths greater than 100, 150 and 200 m; 2 – areas of more advantageous sites of such reservoirs (rocks less fractured and water-saturated); 3 – boundary of Carpathian Foredeep and Lublin Upland; I–I, II–II – lines of geological-engineering sections with subdivision of carbonate rocks into zones A and B; a – area of Upper Cretaceous carbonate rocks in Lublin Upland; b – area of clay rocks in Carpathian Foredeep

W rejonie wschodnim, obejmującym obszary kredy piszącej, zaleca się lokalizowanie zbiorników na głębokościach poniżej 100 m, w rejonie środkowym poniżej



150 m i w rejonie zachodnim i południowym poniżej 200 m. Dwa ostatnie rejonny wykazują znaczne zróżnicowanie rozmieszczenia poszczególnych typów skał węglanowych. Najczęściej występują tutaj margle, wapienie, opoki i gezy. Na mapie zaznaczono również szrafem tereny korzystniejsze dla lokalizacji zbiorników podziemnych ze względu na mniejsze spękanie i zawodnienie skał. Znajdują się one na wyniesionych obszarach międzodolnych większych rzek. Natomiast w rejonach większych dolin rzecznych spękania skał są intensywniejsze i ich zasięg głębokościowy jest większy.

W strefie B bardzo rzadko występują uskoki tektoniczne, które będą jednak rzutować na szczegółową lokalizację wyrobisk podziemnych. W związku z tym wyrobiska mogą być projektowane tylko w obrębie masywu skalnego, tzn. między uskokami tektonicznymi, przy zachowaniu odpowiednich odległości. Strefy uskokowe są zdruzgotane i mogą w nich występować większe silnie zawodnione szczeliny.

Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne w rejonach północnych nie stwarzają dogodnych warunków do lokalizacji zbiorników podziemnych do głębokości 100–200 m. Wpływa na to znaczny nadkład zawodnionych osadów trzeciorzędowych i czwartorzędowych oraz obecność spękanych i silnie zawodnionych skał węglanowych kredy górnej. Jedynie w okolicach Białej Podlaskiej – Terespoła na głębokościach poniżej 150 m warunki są korzystne. Występuje tu bowiem głównie kreda pizująca z cienkimi wkładkami margli i wapieni marglistych. Skały te są mało spękane i niespękane.

Każde wytypowanie na wyrobisko podziemne miejsca musi być poprzedzone szczegółowymi badaniami geologiczno-inżynierskimi i hydrogeologicznymi. W pierwszej kolejności należy dokonać analizy zdjęć lotniczych dla wyznaczenia przebiegu uskoków tektonicznych, a następnie szczegółowego rozpoznania masywu skalnego za pomocą wierceń i badań laboratoryjnych skał oraz próbných pompowań dla zbadania dopływu wód podziemnych. Pozwoli to na wyznaczenie rzeczywistej głębokości strefy B w rozpatrywanej okolicy. Dla zbadania szczelinowości masywu skalnego, podczas wierceń, należy dokładnie odizolować strefę B od silnie zawodnionej strefy A – skał spękanych.

## OCENA GEOLOGICZNO-INŻYNIERSKA UTWORÓW MIOCEŃSKICH ZAPADLIKA PRZEDKARPACKIEGO

W rozpatrywanym obszarze zapadliska przedkarpackiego do głębokości 200 m występują utwory badenu i sarmatu dolnego.

Utwory badenu reprezentowane przez wapienie, dolomity, margle, mułowce, iłowce, gipsy, anhydryty i piaski, notuje się w tej strefie tylko lokalnie. Spotyka się je blisko powierzchni terenu w północno-zachodniej części zapadliska przedkarpackiego, zwłaszcza w pobliżu Tarnobrzega (fig. 2) oraz na powierzchni w części brzeżnej zapadliska, czyli w południowych rejonach Rostocza Lubelskiego (fig. 2, przekrój I). Ponieważ skały te są pocięte szczelinami wzajemnie się łączącymi, występujące w nich wody podziemne tworzą trzeciorzędowy poziom wodonośny o zwierciadle napiętym. Tylko na południowych zboczach Rostocza Lubelskiego zwierciadło tego poziomu jest swobodne.

Utwory dolnosarmackie do głębokości 200 m wykształcone są przeważnie jako ily i ily pylaste, z wkładkami pyłów i piasków pylastych, o konsystencji przeważnie półzwartej. Wraz z głębokością stają się bardziej zdiagenezowane przechodząc stopniowo w iłóupki. Są one pocięte uskokami. Ily w zetknięciu z wodą ulegają bardzo szybkiemu rozpadowi, co potwierdzają uogólnione wyniki badań

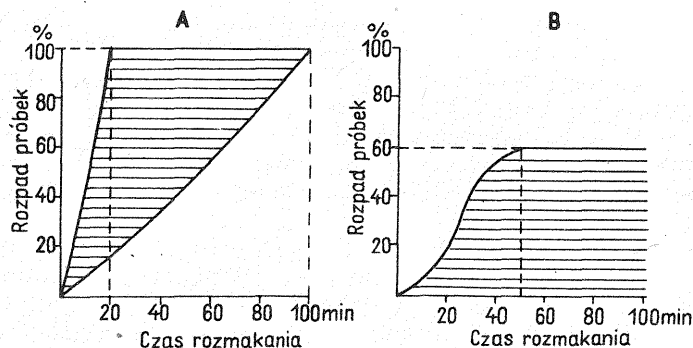


Fig. 4. Wykresy rozmakania ilów dolnosarmackich (na podstawie wyników W. Fortunata, 1960)  
 Graphs of soaking of Lower Sarmatian clays (after data obtained by W. Fortunat, 1960)

A – całkowity rozpad próbek po 20–100 min; B – całkowity rozpad próbek po kilku dniach

A – complete disintegration of samples after 20–100 minutes; B – complete disintegration of samples after a few days

laboratoryjnych z opracowania W. Fortunata (1960) w postaci wykresów rozmakania ilów w określonym czasie (fig. 4). Wykresy te wskazują, że maksymalny czas ich całkowitego rozpadu wynosi tylko kilka dni.

Iły miocenijskie nie zapewniają dogodnych warunków lokalizacji podziemnych zbiorników bez obudowy ścian, gdyż zawarte w nich wkłádki piaszczyste będą często przyczyną nieszczelności zbiorników, zwłaszcza dla magazynowania produktów ropy naftowej. Szybki całkowity rozpad ilów pod wpływem wody nie zapewni bezpiecznego drażenia wyrobisk bez obudowy ścian sposobem górniczym. Naprężenia górotworu będą powodować deformacje ścian wyrobisk z zawalem włącznie.

O niskiej wytrzymałości ilów miocenijskich świadczą niecki osiadań, jakie tworzą się w powierzchni terenu przy otworowej metodzie podziemnego wytapiania siarki złoża Jeziórko, między Tarnobrzegiem i Stalową Wolą (J. Stein, 1978). Ponadto ily w rejonie Tarnobrzega zawierają rozproszone związki siarki  $SO_3$  w ilościach 0–5,5% (M. Babiarsz, 1965), które jak wiadomo są uważane za bardzo szkodliwe w produktach ropy naftowej.

Zakład Hydrogeologii  
 i Geologii Inżynierskiej  
 Instytutu Geologicznego  
 Warszawa, ul. Rakowiecka 4  
 Nadesłano dnia 17 czerwca 1983 r.

#### PIŚMIENNICTWO

- BABIARZ M. (1965) – Problemy geologiczno-inżynierskie związane z naruszeniem calizny nadkładu złoża siarki w rejonie Tarnobrzega. Przew. 38 Zjazdu Pol. Tow. Geol., p. 109–119.  
 FORTUNAT W. (1960) – Charakterystyczne cechy fizyczne trzeciorzędowych ilów Warszawy, Bydgoszczy i Tarnobrzega. Biul. Inst. Geol., 163, p. 125–155.

- HILL R. (1971) – Large capacity storage areas created under the seabed by nuclear explosions. Collog. Int. Exploit. Oceans, Bordeaux, 2, theme 3.
- JAHN A. (1956) – Wyżyna Lubelska. Rzeźba i czwartorzęd. Pr. Geogr., Inst. Geogr. PAN, 7.
- KOWALSKI W.C. (1961a) – Pęcznienie skał senońskich w przelomowym odcinku Wisły środkowej i jego inżyniersko-geologiczne znaczenie. Pr. Geol., 9, p. 375–379, nr 7.
- KOWALSKI W.C. (1961b) – Wytrzymałość na ściskanie budowlanych skał senońskich przelomowego odcinka Wisły środkowej na tle ich litologii. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 1, cz. 2, p. 3–113.
- KRAJEWSKI S. (1964) – Hydrogeologia zlewni Chodla. Arch. Bibl. UW. Warszawa.
- ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. (1965a) – Własności fizyczno-mechaniczne skał turońskich przelomowego odcinka doliny Wisły środkowej okolic Annapola na tle ich litologii. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 6, p. 7–143.
- ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. (1965b) – Analiza odkształceń skał górnokredowych synklinorium lubelskiego w badaniach wytrzymałościowych na zgniatanie. Pr. Geol., 13, p. 499–504, nr 12.
- ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. (1970) – Problematyka oceny warunków inżyniersko-geologicznych maszywu kredowego dla potrzeb eksploatacji górniczej Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Pr. Geol., 18, p. 365–367, nr 8–9.
- ŁOZIŃSKA-STĘPIEŃ H. (1975) – Zmienność własności fizyczno-mechanicznych kredy piszącej Lubelskiego Zagłębia Węglowego. Biul. Geol. Wydz. Geol. UW, 18, p. 5–90.
- MALICKI A. (1935) – Spękania kredy na północnym Roztoczu. Czas. Geogr., 13, p. 104–106.
- NIELUBOWICZ B., KOSTECKI L. (1982) – Możliwości budowy podziemnych baz paliwowych dla magazynowania paliw silnikowych na obszarze Lubelszczyzny. Nafta, 6, p. 63–66.
- STEIN J. (1978) – Wytrzymałość wapieni siarkonośnych a eksploatację siarki metodą otworową. Biul. Inst. Geol., 309, p. 175–189.
- STEPEK Z. (1976) – Możliwości budowy zbiorników podziemnych na ropę i produkty naftowe w Polsce na tle budownictwa tego typu zbiorników w Europie. Nafta, 4, p. 127–133.
- ŚLIZOWSKI K. (1980) – Warunki górniczo-geologiczne w cechsztyńskich złożach soli w Polsce dla wykonania podziemnych zbiorników cieczy i gazów. Zesz. Nauk. AGH, nr 795: Górnictwo, 4, p. 189–208, z. 3.

Марьян ПЕРЕК

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ СОЗДАНИЯ ХРАНИЛИЩ ДЛЯ ЖИДКОГО ТОПЛИВА НА ЮГО-ВОСТОКЕ ПОЛЬШИ

### Резюме

Инженерно-геологическая и гидрогеологическая оценка возможности создания подземных хранилищ нефти и нефтепродуктов касалась карбонатных пород верхнего мела на Люблинской возвышенности и прилегающих к ней с севера площадях, а также нижнесарматских (третичных-миоценовых) глин и глинистых сланцев Предкарпатского прогиба.

Карбонаты верхнего мела на юге рассматриваемой территории залегают на поверхности или под тонким четвертичным покровом, а на севере их кровля опускается на глубину до 170 м под мощные обводненные толщи третичных и четвертичных отложений.

Анализ дебита подземных вод, определенный путем пробной откачки в буровых скважинах и колодцах, позволил выделить две основные зоны А и В, отличающиеся разнообразной степенью трещиноватости карбонатных пород и обводненностью. По этим данным намечена зона, отвечающая критериям локализации подземных хранилищ для нефти и нефтепродуктов.

Зона А, включающая трещиноватые и наиболее обводненные породы описываемых площадей, в общем располагается на глубине около 100 м на востоке, около 150 м в центральной части и примерно на глубине 200 м на западе, юге и севере (фиг. 3). Карбонатные породы в этой зоне разбиты густой сетью трещин типа трещин выветривания. Эти трещины соединяются между собой и заполнены водой.

Ниже располагается зона В — малотрещиноватых и нетрещиноватых пород, в которых могут быть созданы хранилища нефти и нефтепродуктов. Зона В делится на две части — верхнюю В<sub>1</sub> и нижнюю В<sub>2</sub>. Верхняя часть В<sub>1</sub> состоит из малотрещиноватых и слабообводненных пород мощностью около 50 м, зато нижняя часть В<sub>2</sub> отличается отсутствием трещин и непроницаемостью пород. В зоне В в редких случаях могут встретиться тектонические нарушения, сопровождаемые раздробленными и трещиноватыми породами. Самые благоприятные условия для подземного хранения нефти и нефтепродуктов существуют в верхах этой зоны.

В Предкарпатском прогибе глины (третичные, миоценовые) на глубинах до 200 м не обладают свойствами, необходимыми для подземного хранения без крепления стен.

Чрезвычайно быстрое разрушение глин водой не гарантирует безопасности при проходке без крепления стен шахтным способом. Напряжение горных пород приведет к быстрой деформации стенок выработки, вплоть до обвала.

Marian PEREK

## GEOLOGICAL-ENGINEERING POSSIBILITIES OF CONSTRUCTION OF UNDERGROUND LIQUID FUEL RESERVOIRS IN SOUTH-EASTERN POLAND

### Summary

The paper presents results of geological-engineering and hydrogeological studies on possibilities of construction of underground reservoirs for oil and its products in Upper Cretaceous carbonate rocks in the Lublin Upland and adjoining areas and Lower Sarmatian (Tertiary — Miocene) clays and clay shales in the Carpathian Foredeep.

In southern part of the studied area, Upper Cretaceous carbonate rocks crop out at the surface or are overlain by thin Quaternary cover, and in the northern they are overlain by thick (up to 170 m thick) cover of water-saturated Tertiary and Quaternary sediments.

Test pumping data on groundwater output in exploratory and other wells were used to differentiate two major zones A and B, differing in intensity of fracturing of carbonate rocks and saturation with water. This made possible delineation of a zone matching requirements of a site for underground reservoir for oil and its products.

The zone A, characterized by fractured and most strongly water-saturated rocks, is generally situated at depths down to about 100 m in eastern part of the studied area, about 150 m in the central, and about 200 m in the western, southern and northern (Fig. 3). Carbonate rocks are here cut by dense network of fissures of the weathering type, in contact with one another and infilled with water.

Beneath the strata of the zone A, there occur those of the zone B: less fractured and suitable for construction of underground reservoir. The zone was further subdivided into two subzones: upper, B<sub>1</sub> and lower, B<sub>2</sub>. The upper one comprises moderately fractured and water-saturated rocks, about 50 m thick, and the lower — unfractured and practically impervious ones.

In the zone B, there may be occasionally found tectonic faults, accompanied by fracturing of rocks and fissures. The best conditions for location of the underground reservoirs are connected with upper part of this zone.

In the Carpathian Foredeep, the conditions characteristic of clays of the Tertiary (Miocene) age down to the depth of 200 m appear disadvantageous for construction of the reservoirs without casing. Very quick complete disintegration of the clays under influence of water appears hazardous for mining works conducted without casing of the mine type. Stress in rock massif may here very soon lead to origin of deformations in mining work walls and even to collapses.