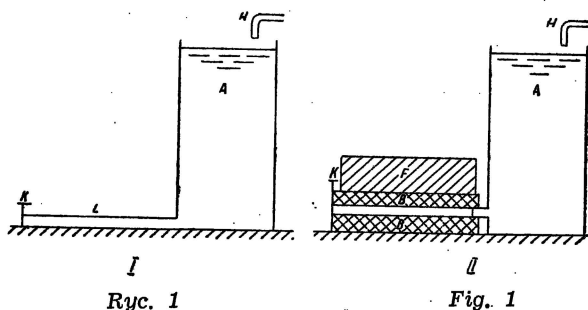


O SPRĘŻYSTYCH ZASOBACH WÓD ARTEZYJSKICH I ROPY NAFTOWEJ

WZAGRANICZNEJ PRAKTYCE eksploatawania artezyjskich basenów wodonośnych i złóż ropy naftowej coraz częściej uwzględnia się tzw. sprężyste zasoby. Pojęcie sprężystych zasobów wynika z traktowania górotworu wypełnionego płynem jako środowiska sprężystego. Dla zobrazowania tego zagadnienia rozpatrzmy poniższe schematy (ryc. 1).



Oba schematy obrazują basen artezyjski, w którym A jest obszarem zasilania a K — miejscem poboru wody. Według schematu I przy otwarciu kurka K, co odpowiada uruchomieniu eksploatacji ujęć wodnych, ze zbiornika A ubędzie taka sama ilość płynu (co do masy i objętości), jaka wypłynie przez wylot rurki L. Według takiego właśnie schematu, który można by nazwać „sztywnym” i w którym wodę traktuje się jako ciecz nieściśliwą, rozpatrywane są procesy, które przebiegają przy eksploatacji basenów artezyjskich.

W rzeczywistości jednak procesy przebiegają w sposób bardziej zbliżony do schematu II.

Założmy, że zamiast sztywnej rurki w schemacie I mamy grubościenną gumową rurkę B o dużej sprężystości i małej radialnej ściśliwości. Rurka B obciążona jest ciężarem F o sile ciężkości G. Sprężystość rurki B częściowo równoważy siłę G ciężaru F, dlatego znajdujący się w rurce płyn przyjmuje przez ścianki rurki ciśnienie P, które jest znacznie mniejsze od G. Ciśnienie P równoważy się ciężarem słupa płynu w naczyniu A. Jeżeli ciężar F zdejmujemy, to rurka (jej ścianki i otwór) rozszerzy się, w związku z czym poziom płynu w naczyniu A nieco się obniży.

Rozpatrzmy przebieg zjawiska z chwilą otwarcia kurka K. W momencie tym następuje u wylotu rurki spadek ciśnienia. Spadek ciśnienia w całej rurce B nie nastąpi nagle, lecz będzie stopniowo przebiegał od kurka K do miejsca połączenia się rurki z naczyniem A. Spadek ciśnienia w rurce pociąga za sobą zmniejszenie przekroju otworu rurki, ponieważ ciśnienie wywierane ciężarem F nie będzie równoważone przeciwcisnieniem płynu. Zmniejszenie się przekroju otworu rurki oraz zwiększenie się objętości samego płynu spowoduje to, że przez wylot rurki w ciągu pewnego okresu czasu będzie wypływało wody więcej (co do masy i objętości) niż do niej dopłynię z naczynia A.

Tak więc w wyniku tych zjawisk, które przejdą stopniowo od wylotu rurki do miejsca połączenia się ze zbiornikiem zostanie niejako „wyciśnięta” pewna ilość płynu z rurki bez ubytku tegoż płynu w zbiorniku. Po ustabilizowaniu się układu nastąpi równowaga między wypływającą z rurki ilością płynu a dopływającą z naczynia A. Ta równowaga będzie istnieć do momentu ponownego dalszego zmniejszenia ciśnienia na wylocie. Po zamknięciu K w zasadzie cały proces przebiega odwrotnie: objętość wody się zmniejsza oraz zwiększa się objętość wewnętrzna rurki.

W schemacie tym ciężar F odpowiada ciężarowi warstw w stropie wodonośca, objętość wewnętrzna rurki — objętości por wodonośca, a sprężystość rurki odpowiada sprężystości masy mineralnej, z której złożony jest wodonośiec.

Z przeniesienia powyższego rozumowania na warunki terenowe wynika, że w miarę obniżania się ciśnienia hydrostatycznego w wyniku zwiększonej eksploatacji wyzwała się pewna dodatkowa ilość płynu wskutek jego objętościowego rozszerzania się i zmniejszania się objętości por samego wodonośca. Te dodatkową ilość płynu nazywamy **zasobami sprężystymi**.

Na istnienie sprężystych zasobów można przytoczyć szereg przykładów z praktyki. R. Leggette i J. Taylor obserwowali wpływ trzęsienia ziemi na poziom wody w studniach artezyjskich. Tak na przykład 12.III 1934 r. stwierdzili, że po pierwszym wstrząsie w obserwowanym otworze nastąpił nagły zanik samowypływu. Po wpływie parę sekund samowypływ powrócił, przy czym fontanna biła do wysokości większej niż przed wstrząsem. Analizując to zjawisko R. Leggette i J. Taylor uważają, że zanik samowypływu nastąpił wskutek rozszerzania się por, a ponowny zwiększony samowypływ — wskutek ich skurczenia.

O. Meinzer obserwował wpływ przejeżdżających pociągów na poziom wody w studniach w sąsiedztwie toru kolejowego. Przy zbliżaniu się pociągów ciśnienie na wodonoścu zwiększało się, co powodowało podnoszenie się poziomu wody w studni. W miarę oddalania się pociągu poziom stopniowo się obniżał. Zauważono, że pociąg towarowy wywoływał większe wahania niż lżejszy od niego pociąg osobowy.

Duże znaczenie sprężystym zasobom przypisują hydrogeolodzy amerykańscy. Daje się nawet zauważyć w ich pracach tendencję do pewnego wyolbrzymienia tych zasobów kosztem zasobów pochodzących z infiltracji.

Przy ustalaniu sprężystych zasobów podstawowe znaczenie ma współczynnik ściśliwości wody (β_w) i ściśliwości warstwy wodonośnej (β_p). Pierwszy współczynnik określa względną zmianę objętości wody przy zmianie ciśnienia o 1 atmosferę. Drugi współczynnik określa względną (w stosunku do całej wydzielonej objętości warstwy) zmniejszenie objętości por przy zmniejszeniu ciśnienia o 1 atmosferę. Przybliżoną wartość β_w oblicza się na podstawie następującego wzoru:

$$\beta_w = - \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\Delta \tau}{\Delta p}$$

$$P = P_0 - P_1$$

p_0 — ciśnienie początkowe

p_1 — ciśnienie końcowe

τ — objętość wody przy ciśnieniu p_0

$\Delta \tau$ — zmiana objętości wody przy zmianie ciśnienia o

Minus przed wzorem wskazuje na to, że objętość zwiększa się przy zmniejszeniu ciśnienia. Wzór ten określa przybliżone wartości współczynnika, ponieważ nie uwzględnia wszystkich parametrów, które również wpływają w pewnym stopniu na wartość tego współczynnika. Ważniejszymi parametrami wpływającymi na wartość β_w są: wielkość ciśnienia, temperatura, mineralizacja (zawartość rozpuszczonych soli) oraz zawartość rozpuszczonych gazów.

Wartość współczynnika ściśliwości wody waha się w granicach od $2,7 \cdot 10^{-5}$ do $5,10^{-5}$ 1/atm. Współczynnik ściśliwości wodonośca określa się wg następującego wzoru:

$$\beta_p = \frac{1}{\tau_0} \cdot \frac{\Delta \tau_n}{\Delta p}$$

τ_0 — początkowa objętość elementu wodonośca przy początkowym ciśnieniu p_0

$\Delta \tau_n$ — zmiana objętości elementu wodonośca przy zmianie ciśnienia o Δp

Wartość współczynnika ściślności utworów starszych od czwartorzędu, w których zazwyczaj występują wody artezyjskie, waha się w granicach:

$$\text{od } 0,3 \cdot 10^{-5} \text{ 1/atm. do } 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/atm.}$$

W. N. Szczełkaczew proponuje przy obliczaniu sprężystych zasobów posługiwać się współczynnikiem pojemności sprężystej (β^*), który łączy w sobie oba współczynniki. Współczynnik ten określa jaką część objętości rozpatrywanego wycinka wodonośca stanowi objętość wody, która wypłynie z niego przy obniżeniu ciśnienia o 1 atmosferę.

$$\beta^* = n \cdot \beta_n + \beta_p$$

n — porowatość wodonośca.

Objętość wody $\Delta \tau_w$, którą uzyska się z objętości wodonośca τ przy obniżeniu ciśnienia o Δp , będzie równa:

$$\Delta \tau_w = \beta^* \cdot \Delta p \cdot \tau$$

Przekształcając powyższy wzór na symbole przyjęte w hydrogeologii można napisać, że sprężyste zasoby dla wycinka wodonośca o promieniu R są równe:

$$Q_s = \beta^* \cdot 0,1 \cdot S_{gr} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot h_{gr}$$

S_{gr} — średnio wazone obniżenie poziomu piezometrycznego w metrach w granicach leja depresyjnego powstałego wskutek interferencji lei poszczególnych studni

R — promień rozpatrywanej depresji

h_{gr} — średnia miąższość wodonośca

Uwzględniając sprężyste zasoby jako składową część zasobów eksploatacyjnych wód artezyjskich można napisać:

$$Q_{ekspl.} = Q_1 + \frac{\beta^* \cdot 0,1 \cdot S_{gr} \cdot \pi R^2 \cdot h_{gr}}{\Delta t_{gr}} + \Delta Q$$

$Q_{ekspl.}$ — zasoby eksploatacyjne równe sumarycznej wydajności ujęć w badanym rejonie w jednostce czasu

Q_1 — zasoby dynamiczne (wydatek przepływającego strumienia wód artezyjskich) w rejonie oddziaływania ujęcia

Δt_{gr} — okres czasu powstawania badanego leja depresyjnego

ΔQ — dodatkowy dopływ wody do obszaru eksploатовanego z cieków powierzchniowych lub z sąsiednich warstw wodonośnych w przypadku istnienia więzi hydraulicznej.

Sprężyste zasoby szcerpywane są w czasie Δt_{gr} . Gdy lej depresyjny ustabilizuje się, zasoby te są równe zeru. Przy nieustalonym reżimie eksploatacji, który jest bardziej charakterystyczny dla rejonów skupionej eksploatacji, sprężyste zasoby mogą w sposób widoczny wpływać na wydajność ujęć w czasie całego okresu eksploatacji. W okresach zmniejszenia intensywności poboru wody lub okresowego zatrzymania eksploatacji sprężyste zasoby odnawiają się i odwrotnie, przy zwiększeniu poboru znów się szcerpują.

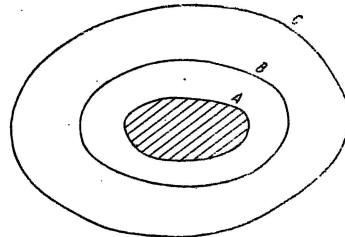
Z danych zaczerpniętych z literatury wynika, że sprężyste zasoby wynoszą przeciętnie od kilku do kilkunastu procent szcerpanych zasobów eksploatacyjnych, co dla niektórych rejonów stanowi setki tysięcy, a nieraz miliony metrów sześciennych. Dlatego też tak pokaźna część składowa zasobów eksploatacyjnych powinna być uwzględniona przy badaniach i obliczeniach.

Sprężyste zasoby należy uwzględnić nie tylko przy rozwiązywaniu problemów związanych z zaopatrzeniem. Zasoby te należy uwzględniać również przy obliczaniu odwadniania złóż surowców mineralnych oraz przy eksploatacji wód mineralnych.

W związku z wprowadzeniem pojęcia „zasoby sprężyste” używane dotychczas pojęcie „zasoby statyczne” staje się niezadowalające. Objętość wody, jaką się uzyska przy osuszaniu warstwy, nie zależy tylko od objętości danej warstwy i jej porowatości, lecz również od ciśnienia początkowego oraz od spadku ciśnienia, który powstanie wskutek eksploatacji.

Przytoczone wyżej wzory dotyczyły basenów artezyjskich, w których zasoby wodne na ogół są odnawialne. Sprężyste zasoby mają dużo większe znaczenie przy eksploatacji tzw. złóż nieodnawialnych. Złożami nieodnawialnymi, jak wiadomo, są złoża ropy naftowej i niektóre złoża wód mineralnych. Przy tego rodzaju złożach sprężyste zasoby mogą być podstawowym składnikiem zasobów eksploatacyjnych.

Dla pewnego złoża ropy naftowej W. N. Szczełkaczew podaje następujący przykład. Powierzchnia złoża — 3000 ha, średnia miąższość — 20 m, porowatość — 20%.



Ryc. 2 Fig. 2

Po wyeksploatowaniu 1,5 mln m^3 ropy ciśnienie złożowe opadło o 20 atm. Ten spadek ciśnienia spowodował, że 0,5 mln m^3 wyzwoliło się dzięki sprężystości samej ropy i kolektora. W rezultacie przez pewien kontur A (ryc. 2) ograniczający samo złożo dopłynęło tylko 1 mln m^3 wody na miejsce wydobytej 1,5 mln m^3 ropy. Przez każdy następny kontur oddalony od złoża przepływa w kierunku złoża coraz mniejsza ilość wody, ponieważ z przestrzeni między tymi konturami wyzwalają się dzięki sprężystości pewne ilości wody. Tak na przykład przez kontur B przecieknie tylko 0,6 mln m^3 wody. Istnieje natomiast taki kontur C oddalony od obszarów zasilania, przez który praktycznie nie przepłynie żadna ilość wody. Tak więc w obrębie konturu C cała ilość wydobytej 1,5 mln m^3 ropy wyzwoliła się kosztem sprężystości ropy, wody i kolektora.

Niżej podam przykład obliczenia sprężystych zasobów dla wycinka trzeciorzędowego zbiornika artezyjskiego, którego zasoby eksploatacyjne obliczyłem metodą leja depresyjnego. Metodę obliczenia i samo obliczenie zasobów eksploatacyjnych przedstawiłem w nr 3 z 1960 r. „Przeglądu Geologicznego”.

Dane wyjściowe

$$\beta_w = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/atm. zakładam średnio wartości współ-}$$

czynników β_w i β_p

$$\beta_p = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ 1/atm.}$$

$$n = 0,25$$

$$S_{gr} = 16,75 \text{ m}$$

$$R = 7000 \text{ m}$$

$$h_{gr} = 96 \text{ m}$$

Obliczenie współczynnika objętości sprężystej

$$\beta^* = n \cdot \beta_w + \beta_p = 0,25 \cdot 4,0 \cdot 10^{-5} + 1,0 \cdot 10^{-5}$$

$$\beta^* = 1,0 \cdot 10^{-5} + 1,0 \cdot 10^{-5} = 2,0 \cdot 10^{-5}$$

Sprężyste zasoby, które zostały szcerpane od rozpoczęcia eksploatacji:

$$Q_s = 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 \cdot 16,75 \cdot 3,14 \cdot 7000^2 \cdot 96 =$$

$$= 494 \cdot 461 \text{ m}^3 \approx 500 \text{ 000 m}^3$$

Tak więc po obniżeniu się poziomu hydrostatycznego o 16,75 m (wartość średnioważona) na obszarze

o promieniu $R = 7000$ m szcerpano ok. $500\,000$ m³ wody, która wyzwoliła się wskutek sprężystości samej wody i wodonośca. Ilość ta nie obejmuje tych sprężystych zasobów, które odnawiały się w czasie okresowych zmniejszonych poborów wody w tym rejonie.

Przy obecnym dobowym poborze wody wynoszącym $20\,600$ m³ samych sprężystych zasobów wystarczałyby na:

$$\frac{500\,000}{20\,000} = 24 \text{ doby}$$

Przy założeniu, że w ciągu roku wejdzie dodatkowo do eksploatacji na tym terenie 6 studni o średnim poborze wody 1000 m³, dalszy sumaryczny dodatkowy pobór wyniesie 6000 m³/dobę.

Z analizy danych hydrogeologicznych dotyczących omawianego wycinka basenu artezyjskiego wynika (2), że przy poborze 1230 m³/dobę w obrębie leja depresji o promieniu 7000 m poziom hydrostatyczny obniża się średnio o 1 metr. Zatem przy dodatkowym poborze 6000 m³/dobę dodatkowe obniżenie poziomu hydrostatycznego w ciągu roku wyniesie:

$$\frac{6000}{1230} = 5 \text{ metrów}$$

Objętość sprężystych zasobów, które wyzwolą się po dalszym obniżeniu leja depresyjnego o 5 m:

$$Q_s = 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot 5,0 \cdot 3,14 \cdot 7000^2 \cdot 96 = 147\,705 \text{ m}^3$$

Zakładając, że nowy poziom będzie się stabilizował w ciągu roku, tj. że $\Delta t_{sr} = 365$ dni, na jedną dobę przypadnie:

$$\frac{147\,705}{365} = 405 \text{ m}^3/\text{dobę}$$

W stosunku do dodatkowo szcerpanych 6000 m³/dobę wartość sprężystych zasobów wynosi:

$$\frac{405}{6000} \cdot 100 = 6,7\%$$

Gdy zasoby eksploatacyjne są ustalone metodą leja depresyjnego, zasoby sprężyste są automatycznie uwzględniane w obliczeniach. Gdy natomiast zasoby eksploatacyjne ustala się na podstawie wydatku przepływającego strumienia artezyjskiego, to sprężyste zasoby należy obliczać oddzielnie i sumować z zasobami wynikającymi z przepływu.

Na zakończenie chcę podkreślić, że szczególnie ważne znaczenie ma ustalenie zasobów sprężystych

przy obliczaniu zasobów złóż nieodnawialnych takich jak złoża ropy naftowej i niektóre złoża wód mineralnych. Praktyczne znaczenie tych zasobów w odniesieniu do zasobów wód artezyjskich jest tym większe, im głębiej dany basen artezyjski leży.

LITERATURA

1. Kudielin B. I. — Ob uprugom zapasie wod artezijskich płastow. „Razwiedka i Ochrona Niedr” 1958, nr 10.
2. Olendski W. — Obliczanie zasobów eksploatacyjnych metodą leja depresyjnego. „Przegląd Geologiczny” 1960, nr 3.
3. Szczekaczew W. N. — Uprugij režim płastowy wodonapornych sistem. Moskwa 1948.

SUMMARY

The definition of the used term elastic resources and examples from literature are given. Then, a calculation of elastic resources for one of regions of concentrated exploitation of artesian waters was done. It is obvious, that the elastic resources amount only some per cent of the total exploitable resources. The proportion of elastic resources to the total ones, increase with the increasing intensity of exploitation i. e. with the decrease of the hydrostatic pressure. Calculations of elastic resources is especially important in the case of not restorable resources of deposits, e.g. oil or some mineral waters.

РЕЗЮМЕ

В начале статьи автор дает представление об упругих запасах и примеры из литературы. Затем дает подсчет упругих запасов для одного из районов интенсивной эксплуатации артезианских вод (смотри «Przegląd Geol.» № 3, 1960). Из вычислений следует, что для этих запасов исчисляется лишь несколькими процентами от всех эксплуатационных запасов. Величина упругих запасов растет с ростом интенсивности эксплуатации, т. е. с увеличением падения гидростатического напора. Определение упругих запасов имеет особое значение в случае так называемых невозобновляемых залежей как например залежи нефти и некоторые залежи минеральных вод.