

ZAPAS BUFOROWY W MAGAZYNOWANIU PALIW PŁYNNYCH DETERMINOWANY WSPÓŁCZYNNIKIEM BEZPIECZEŃSTWA – CZ.II

W artykule zaprezentowano wpływ współczynnika bezpieczeństwa na poziom utrzymania zapasów gazu płynnego w magazynach podziemnych (kawernowych) zależnego od sposobu przeglądu zapasów.

WSTĘP

Procesy magazynowania odgrywają kluczową rolę w funkcjonowaniu przedsiębiorstw. Nieodzownym czynnikiem prawidłowego ich działania jest odpowiednie utrzymanie zapasów. Stanowią one warunek utrzymania elastyczności przepływu, a ich wielkość powinna być dostosowana do poziomu dystrybucji. Celem artykułu jest prezentacja wpływu współczynnika bezpieczeństwa na poziom utrzymania zapasów gazu płynnego w magazynach podziemnych (kawernowych) zależnego od sposobu przeglądu zapasów. W publikacji dokonano prezentacji teoretycznych podstaw teorii magazynowania i utrzymania zapasów oraz wskazano teoretyczne możliwości wykorzystania znaczenia współczynnika bezpieczeństwa na poziom utrzymania zapasów.

Mapa na rys.3 pokazuje, że rozmieszczenie podziemnych magazynów gazu ziemnego w Polsce jest rozproszone, jedyne skupienie występuje w południowo-wschodniej Polsce.

Tab. 2 Aproxymacja zużycia gazu w magazynie Wierchowice na przestrzeni roku

Miesiące	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV
Zużycie gazu w mln m ³	379	364	385	420	624	845	960	995	947	821	677	505
MIN poziom gazu w mln m ³	821	836	815	780	576	355	240	205	253	379	523	695
Zapasy bezpieczeństwa (stały)	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240

Źródło: opracowanie własne

Poddany analizie Podziemny Magazyn Gazu [PMG] Wierchowice zlokalizowany jest na terenie województwa dolnośląskiego, w powiecie milickim, na terenie gmin Milicz i Krośnice [1].

¹Geograficznie magazyn położony jest na obszarze Kotliny Żmigrodzkiej wchodzącej w skład regionu Pradoliny Warszawsko-Berlińskiej. Rejon magazynu wznosi się na wysokość 145–185 m n.p.m. i zlokalizowany jest w lewobrzeżnej części dorzecza Baryczy. Jest on największy i jego pojemność wynosi 1 200 mln m³. Złoże Wierchowice jest złożem typu masywowego. Powstało w piaskowcach czerwonego spągowca oraz w wapieniu podstawowym cechsztynu i leży na obszarze monokliny

1. SYMULACJA WPŁYWU WSPÓŁCZYNNIKA BEZPIECZEŃSTWA NA POZIOM UTRZYMANIA ZAPASÓW MAGAZYNU PODZIEMNEGO (KAWERNY MAGAZYNOWEJ)

Jeśli jakaś wielkość jest sumą lub średnią bardzo wielu drobnych losowych czynników, to niezależnie od rozkładu każdego z tych czynników, jej rozkład będzie zbliżony do normalnego stąd można go bardzo często zaobserwować w danych. Ponadto rozkład normalny ma interesujące właściwości matematyczne, dzięki którym oparte na nim metody statystyczne są proste obliczeniowo [2].

Jeżeli popyt charakteryzuje się rozkładem normalnym to po obliczeniu wartości średniej i odchylenia standardowego popytu możemy określić prawdopodobieństwo wyczerpania zapasu dla punktu ponownego zamówienia (PI-poziomu informacyjnego) [3].

Przyjmijmy zatem, że w chwili rozpoczęcia cyklu uzupełniania zapasu dostępny w magazynie zapas pokrywa dokładnie średni popyt przewidziany na ten cykl. Prawdopodobieństwo, że rzeczywisty popyt będzie większy lub mniejszy niż średni jest takie samo (dla rozkładu normalnego), zatem prawdopodobieństwo obsłużenia popytu będzie 0,5 (POK będzie równy 50%). Zwiększenie poziomu obsługi będzie wymagało zwiększenia zapasu dostępnego na początku cyklu uzupełniania czyli „przesunięcia się w prawą stronę” POK/P wystąpienia braku w zapasie.

W teorii zarządzania zapasami wyróżnia się dwie podstawowe metody odnawiania/zamawiania zapasów:

- metodę stałego punktu zamawiania (system oparty na poziomie informacyjnym),
- metodę stałego cyklu zamawiania (system przeglądu okresowego).

W pierwszej z wymienionych nie ma konieczności utrzymywania zapasu bezpieczeństwa, więc oblicza się zapas informacyjny (ZI). W sytuacji, gdy zarówno popyt jak i czas cyklu uzupełniania zapasów charakteryzuje się określoną zmiennością, chcąc zapewnić ustalony poziom obsługi klienta należy utrzymywać zapas bezpieczeństwa

przed sudeckiej. Strefa gazowa złoża od spągu podparta jest wodą złożową o charakterze podścielającym. Poziom magazynowy izolowany jest od dołu wodą złożową, a od góry anhydrytami najstarszymi solami cyklotemu Werra, źródło: <https://www.osm.pgnig.pl/pl/magazyny/pmg-wierchowice> (04.02.2017).

² J. Wawrzynek, *Metody opisu i wnioskowania statystycznego*, wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2007, s. 62.

³ R. Milewski, *Wprowadzenie do logistyki z ćwiczeniami*, wyd. ARG1, Wrocław 2015, s.54.

(ZB). W takim przypadku punkt ponownego zamówienia (poziom informacyjny zapas ZI) jest sumą średniego popytu obserwowanego w cyklu uzupełniania zapasu oraz zapasu bezpieczeństwa (ZB).

Na przykładzie magazynu gazu w Wierchowicach i teoretycznych danych przeprowadzono symulację wpływu współczynnika bezpieczeństwa na poziom utrzymania zapasów.

System przeglądu okresowego charakteryzują dwa podstawowe parametry realizacji:

- cykl przeglądu czyli czas jego trwania "T",
- zapas maksymalny (Zmax) potrzebny do wyliczenia wielkości zamówienia przy każdorazowym przeglądzie.

Czas cyklu uzupełniania zapasu (T) nie steruje bezpośrednio realizacją zamówień lecz ma wpływ na wielkość zapasu maksymalnego. Podobnie jak w systemie opartym na poziomie informacyjnym - czas ten upływa od chwili złożenia zamówienia do momentu, w którym można dysponować dostawą [4].

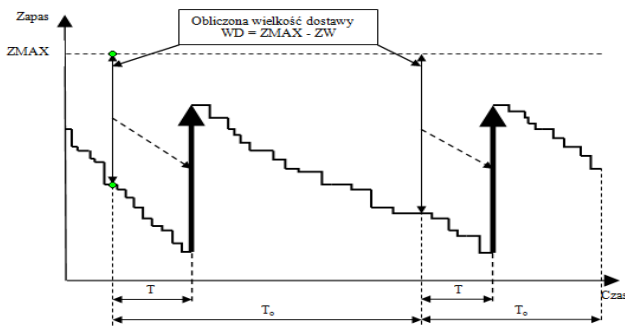
1.1. Istota odnawiania zapasów

Realizacja odnawiania zapasu w systemie przeglądu okresowego polega na przeprowadzeniu kontroli stanu (przeгляд) zapasu magazynowego (ZM) i obliczeniu zapasu dysponowany (wolnego). Obliczając ZW należy zbilansować go o dodatkowo wcześniej złożone zamówienia (ZM), zamówienia będące w trakcie realizacji (ZZ) oraz pomniejszyć o zapas zarezerwowany (ZR), który ma już swoje przeznaczenie i nie można nim swobodnie dysponować aby pokryć bieżący popyt:

$$ZW = ZM + ZZ - ZR ; [1]$$

Punktem wyjścia do wszelkich analiz jest zapas maksymalny (Zmax) determinowany najczęściej wielkością (pojemnością) magazynu, zatem wielkość zamówienia (WZ) jest różnicą zapasu maksymalnego i dysponowanego [2].

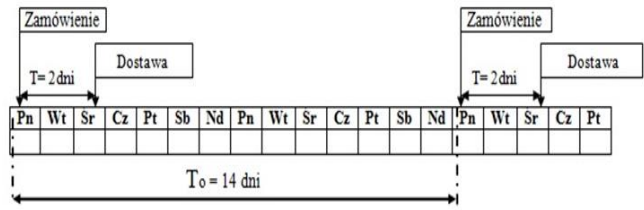
$$WZ = ZMAX - ZW ; [2]$$



Rys. 4. Odnawianie zapasu w systemie opartym na przeglądzie okresowym dla zmiennego popytu przy stałej wartości czasu cyklu uzupełniania zapasu.

Źródło: S. Krzyżaniak, P. Cyplik, *Zapasy i magazynowanie Tom I, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2008, s. 203.*

Zapas maksymalny Zmax jest niezwykle istotnym parametrem determinującym proces realizacji odnawiania zapasu w modelu przeglądu okresowego. Na rys. 4 przedstawiony został przykład systemu odnawiania zapasu gazu oparty na przeglądzie okresowym [5].



Rys. 5. Cykl uzupełniania zapasu

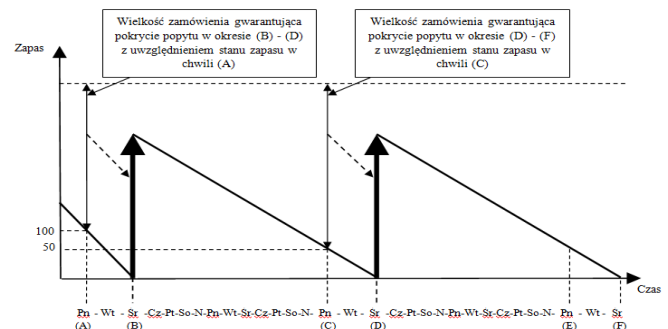
Źródło: tamże, s. 206.

Przykładowe (symulowane na rys. 5) parametry czasowe odnawiania zapasu gazu w systemie przeglądu okresowego mają następującą postać [6]:

- czas cyklu przeglądu: $T_0 = 14$ dni,
- czas cyklu uzupełnienia: $T = 2$ dni.

Czas cyklu przeglądu i uzupełniania ma w publikacji charakter „wirtualny”. Podobnie popyt. Dla potrzeb szacunku można przyjąć, że stały dzienny popyt wynosi 25 mln m³ gazu.

Na początku cyklu czasu uzupełniania (punkt A na rys. 6) zapas wynosi 200 mln m³ gazu. Do środy (punkt B) magazyn rozdysponuje 50 mln m³ gazu (po 25 mln m³ gazu w kolejnych dni tygodnia, tj. poniedziałek i wtorek), w zapasie zostanie więc 50 mln m³. Do następnej środy (D) dystrybucja gazu kształtować się będzie na poziomie $14 \times 25 \text{ mln m}^3 = 350 \text{ mln m}^3$. Z polityki tej wynika konieczność zamówienia ok. 300 mln m³ gazu. Przy takim zamówieniu w następnym poniedziałek (C) w zapasie pozostanie 50 mln m³ gazu, co wystarczy na pokrycie popytu na 2 dni. Aby dostawa pokryła popyt do kolejnej środy (F) logistyk - planista odpowiedzialny za magazyn powinien zamówić taką samą ilość gazu ile wyniósł popyt od środy do środy czyli 300 mln m³ gazu.



Rys. 6 Odnawianie zapasu gazu w systemie opartym na przeglądzie okresowym (stan nieturbulentny).

Źródło: opracowanie własne na podstawie: S. Krzyżaniak, P. Cyplik, *Zapasy* s. 207

1.2. Szacowanie zapasu maksymalnego

Autor zakłada przewidywany, prognozowany) popyt i brak jakichkolwiek turbulencji mających wpływ na podaż i popyt. Z powyższych analiz wynika, iż wielkość zamówienia WZ - niezbędna do tego, aby został pokryty popyt w cyklu przeglądu, powinna być powiększona o zużycie w ciągu trwania cyklu uzupełniania zapasów oraz pomniejszona o zapas dysponowany w chwili składania zamówienia, tj:

$$WZ = (P \times T_0) + [(P \times T) - ZW] ; [3]$$

gdzie:

P - popyt w przyjętej jednostce czasu,

⁴ S. Krzyżaniak, P. Cyplik, *Zapasy...*, s. 204.

⁵ M. Kizyń, Z. Dudziński, *Poradnik magazyniera*, wyd. PWE, Warszawa 2007, s. 71.

⁶ S. Krzyżaniak, P. Cyplik, *Zapasy i magazynowanie Tom I*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2008, s. 206-207

T_o - czas cyklu przeglądu,
 T - czas cyklu uzupełniania zapasu,
 ZW - zapas wolny.

Na podstawie powyższych danych otrzymamy [7]:
 $WZ = (P \times T_o) + [(P \times T) - ZW] = (25 \times 14) + [(25 \times 2) - ZW] = 350 + 50 - ZW = 400 - ZW$;
 dla $Z = 100$ (punkt A na rys. 6) wielkość zamówienia wynosi: $WZ = 400 - 100 = 300$;
 dla punktu C ($ZW = 50$) czyli $WZ = 350$;

Zatem dokonując przekształcenia zależność przedstawia się następująco:

$$WZ = (P \times T_o) + [(P \times T) - ZW] = P \times (T + T_o) - ZW$$

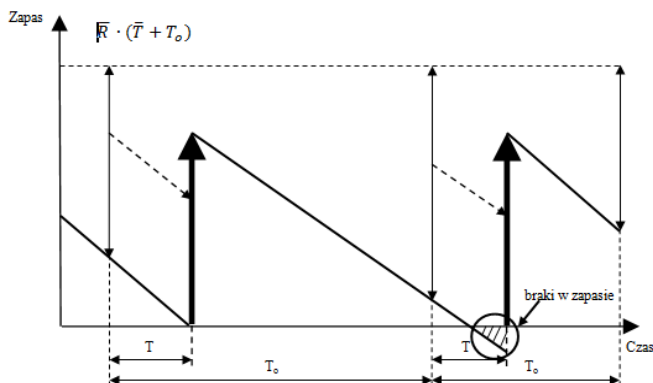
Zależność tą przedstawia rysunek 7. W przypadku stałego, niezmiennego popytu oraz stałego cyklu uzupełniania zapasu, zapas maksymalny Z_{max} służący wyznaczaniu wielkości wynosi:

$$Z_{max} = P \times (T + T_o); [4]$$

gdzie podobnie jak poprzednio:

P - popyt w przyjętej jednostce czasu,
 T_o - czas cyklu przeglądu,
 T - czas cyklu uzupełniania zapasu.

W przypadku pojawienia się wahań losowych popytu trzeba liczyć się z obniżeniem poziomu obsługi do poziomu ok.50%. Aby uniknąć lub obniżyć prawdopodobieństwo wystąpienia braków należy wprowadzić zapas zabezpieczający celem uniknięcia sytuacji wystąpienia braku w zapasie. Sposobem „logistycznej reakcji” na wspomnianą przyczynę jest powiększenie wielkości zamówień w stosunku do wielkości obliczanej z zależności (Rys. 7). Zamawiając tylko tyle ile wynika z tych obliczeń - zapewnimy pokrycie tylko popytu średniego.



Rys. 7. Odnawianie zapasu w systemie przeglądu okresowego przy zmiennym popycie i zapasie maksymalnym ustalonym bez zapasu zabezpieczającego.

źródło: tamże, s. 209

W tym sensie zapas zabezpieczający niezbędny do wymaganego poziomu obsługi obliczany jest następująco (5):

$$ZB = \omega \times OPT, T_o \quad (5)$$

gdzie:

ω - współczynnik bezpieczeństwa zależny od poziomu obsługi,

OPT, T_o - odchylenie standardowe popytu w okresie obejmującym cykl przeglądu i cykl uzupełniania zapasu.

Standardowe odchylenie popytu obliczamy zależnie od zmienności popytu lub cyklu uzupełniania i prezentuje się następująco (6):

$$\sigma_{PT, T_o} = O_P \cdot \sqrt{\bar{T} + T_o} \quad (6)$$

- 1) Jeśli zmienność wykazuje jedynie popyt, czyli ($O_P > 0, O_T = 0$), to :

$$\sigma_{PT, T_o} = \sigma_T \cdot \bar{P} \quad (7)$$

- 2) Jeśli zmienność wykazuje jedynie czas cyklu uzupełniania zapasu ($\sigma_T > 0, \sigma_P = 0$) to :
- 3) Jeśli zmienny jest popyt i czas cyklu uzupełniania ($\sigma_P > 0, \sigma_T > 0$) to :

$$\sigma_{PT, T_o} = \sqrt{\sigma \frac{2}{P} \cdot (\bar{T} + T_o) + \sigma \frac{2}{T} \cdot \bar{P}^2} \quad (8)$$

W uniwersalnej postaci wzór na zapas maksymalny wygląda następująco:

$$Z_{max} = \bar{P}(\bar{T} + T_o) + \omega \cdot \sqrt{\sigma \frac{2}{P} \cdot (\bar{T} + T_o) + \sigma \frac{2}{T} \cdot \bar{P}^2} \quad (9)$$

gdzie:

\bar{P} - średni popyt w przyjętej jednostce czasu
 \bar{T} - średni czas cyklu uzupełniania,
 T_o - czas cyklu przeglądu zapasów,
 ω - współczynnik bezpieczeństwa,
 σ_P - odchylenie standardowe popytu w przyjętej jednostce czasu.

Wartość pod pierwiastkiem dotyczy zarówno odchylenia standardowego jak i czasu uzupełniania i czasu trwania cyklu przeglądu. Poniżej skalkulowano wartość zapasu maksymalnego (Z_{max}) dla analizowanego paliwa płynnego (gazu):

$\bar{P} = 25$ mln m^3 gazu, $\sigma_P = 6,2$ mln m^3 gazu

$T = 2$ dni,

$\sigma_T = 0$ dni (założono, że dost. gazu są terminowe),

$T_o = 14$ dni.

Zakładamy, że prawdopodobieństwo obsłużenia popytu wynosi 99% co oznacza, że brak w zapasie pojawi się raz na 100 dostaw. Współczynnik bezpieczeństwa dla POK = 99% wynosi 2,326 (wynika z tabel opracowanych empirycznie). Prawdopodobieństwo wystąpienia braku w zapasie jest znikome.

W analizowanym przypadku chcąc oszacować poziom zapasu maksymalnego dokonano poniższej kalkulacji:

$$Z_{max} = 25 \times (2+14) + 2,326 \times \sqrt{6,2^2 \times (2+14)} = 400 + 57,68 = 457,68 \text{ mln } m^3 \text{ gazu (przyjęto } Z_{max} = 458 \text{ mln } m^3 \text{ gazu).}$$

Zakładając, że w danym dniu magazyn będzie dysponował ilością 35 mln m^3 gazu (ZD - zapas dysponowany lub dyspozycyjny) to jego zamówienie (zapotrzebowanie) powinno wynieść:

$$WZ = 458 - 35 = 423 \text{ mln } m^3 \text{ gazu}$$

⁷ S. Krzyżaniak, P. Cyplik, *Zapasy i magazynowanie Tom I*, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2008, s.208

Zamówienie na najbliższy okres powinno wynosić 423 mln m³ gazu, a zapas zabezpieczający (ZB) jest równy 35 mln m³ gazu. Jeżeli $ZB = \omega \cdot \sigma_{PT, T_0}$, to po przekształceniu i podstawieniu $\sigma_{PT, T_0} = \sigma_P \sqrt{T + T_0}$ otrzymamy:

$$\omega_{rzecz} = \frac{ZB_{rzecz}}{\sigma_P \cdot \sqrt{T + T_0}} = \frac{35}{6,2 \cdot \sqrt{2 + 14}} = 1,411$$

Przy współczynniku bezpieczeństwa wynoszącym 1,411, POP = 92,8%. W takim przypadku ryzyko wystąpienia braku wzrosło (z 0,01 do 0,072), czyli siedmiokrotnie. Zaprezentowana w artykule symulacja jest mocno uproszczona, jednak zamiarem autora jest przybliżenie niezwykle ciekawej tematyki analizy stanu posiadanych zapasów uwzględnieniem ekonomicznych czynników (podażowo – popytowych).

WNIOSKI

W artykule zaprezentowano symulację, której celem jest utrzymanie poziomu zapasów dla odpowiedniego poziomu obsługi odbiorców gazu ziemnego. W tym celu wykorzystano szereg kalkulacji z wykorzystaniem współczynnika bezpieczeństwa dla zoptymalizowania poziomu zapasów w magazynie podziemnym (kawernowym) Wierzchowice. Artykuł jest próbą weryfikacji tezy o istotnym (kluczowym) znaczeniu współczynnika bezpieczeństwa w szacowaniu wartości uzupełniania zapasów. Z analiz wynika konieczność utrzymania poziomu zapasów nie niższych niż ok. 10%-15% stanu zapasu maksymalnego. Matematyczne metody pomiaru z wykorzystaniem mierników i wskaźników w magazynowaniu kawernowym są niezwykle istotne w ustaleniu fizycznej ilości magazynowanej substancji wyrażonej w m³. Znajomość modelu uzupełniania i opróżniania magazynów kawernowych jest wiedzą konieczną dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego państwa. Docelowo magazyny

kawernowe powinny być "dowiązane" do ogólnej sieci dystrybucji paliw płynnych z uwzględnieniem np. gazoportu w Świnoujściu.

BIBLIOGRAFIA

1. Kizyń M., Dudziński Z., Poradnik magazyniera, wyd. PWE, Warszawa 2007.
2. Krzyżaniak S., P. Cyplik, Zapasy i magazynowanie Tom I, Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań 2008.
3. Milewski R., Wprowadzenie do logistyki z ćwiczeniami, wyd. ARG, Wrocław 2015.
4. Wawrzynek J., Metody opisu i wnioskowania statystycznego, wyd. Akademii Ekonomicznej we Wrocławiu, Wrocław 2007.
5. <https://www.osm.pgnig.pl/pl/magazyny/pmg-wierzchowice>

Buffer storage in liquid fuel waste storage determined with a safety stability factor

Storage processes play a key role in business operations. An indispensable factor in their proper operation is proper maintenance of stocks. They are a prerequisite for maintaining flow flexibility, and their size should be adapted to the level of distribution. The purpose of this article is to present the impact of the safety factor on the level of liquid gas stocks in underground storage (cavernous) dependent on the method of inventory review. The paper presents a theoretical basis for the theory of stocktaking and stocktaking and indicates the theoretical possibilities to exploit the importance of a safety factor on inventory levels.

Autorzy:

dr **Radosław MILEWSKI** – Zakład Ekonomii i Metod Ilościowych Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych we Wrocławiu, r.milewski@wso.wroc.pl