

*Stanisław Duży\**

## ELEMENTY DIAGNOSTYKI I METODY OCENY STANU KONSTRUKCJI BUDOWLI PODZIEMNYCH

---

### 1. Wprowadzenie

Budowle podziemne i ich poszczególne elementy powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby mogły przeciwstawić się oddziaływaniom zewnętrznym, zachowując swoje parametry użytkowe w trakcie drążenia, użytkowania w warunkach normalnych oraz utrzymać konstrukcyjną całość w przypadku wystąpienia zdarzeń losowych. W najczęściej stosowanych w projektowaniu modelach wyróżnia się trzy podstawowe wymagania, a mianowicie wymagania jakości, wymagania niezawodności i wymagania bezpieczeństwa.

Wymagania niezawodności regulowane są przez PN-ISO 2394:2000 i uwzględniają trzy podstawowe zagadnienia, a mianowicie użyteczność, bezpieczeństwo i niewrażliwość na katastrofę. Jakość wykonania jest to relacja między zbiorem technicznych i użytkowych właściwości produktu przewidzianym w projekcie, a tym zbiorem właściwości, który jest realizowany w procesie produkcji lub świadczenia usługi [4].

Biorąc powyższe pod uwagę istnieje potrzeba opracowania spójnej metodyki oceny stanu konstrukcji budowli podziemnych uwzględniających stan techniczny obudowy we wszystkich fazach jej istnienia i wynikający zarówno z jakości wykonania, jak i ze stopnia zużycia.

### 2. Ocena jakości konstrukcji budowli podziemnych w poszczególnych okresach jej istnienia

#### 2.1. Koncepcja

Projektowanie na etapie koncepcji, ze względu na ogólny charakter dokumentacji, nie obejmuje zagadnień związanych z jakością wykonania.

---

\* Wydział Górnictwa i Geologii, Politechnika Śląska, Gliwice

Na tym etapie w zakresie zarządzania jakością powinno podjąć się następujące działania [5–7]:

- określenie odpowiednich stopni wymagań dotyczących prac konstrukcyjnych,
- specyfikacja projektu,
- specyfikacja dostawców,
- wstępne specyfikacje wykonania i konserwacji,
- wybór stron uczestniczących, które mają odpowiednio wykwalifikowany personel i właściwą organizację.

## **2.2. Projektowanie**

W świetle norm ISO w zakresie jakości wykonania powinno podjąć się następujące działania [5–7]:

- określenie wymagań dotyczących materiałów, wyrobów i połączeń,
- potwierdzenie, że wymagania mogą być przyjęte i osiągnięte,
- określenie wyboru sposobu badań w przodku drążonego wyrobiska,
- specyfikacja materiałów.

## **2.3. Wykonywanie**

Kontrola jakości drążenia wyrobiska powinna obejmować [5–7]:

- kontrolę operacji i procesów,
- wybór próbek i badania,
- poprawianie usterek,
- certyfikację prac odpowiednią do badań zgodności, określonych w dokumentacji.

Kontrolę poszczególnych operacji w procesie drążenia budowli podziemnych można przeprowadzić m.in. w oparciu o karty kontrolne wybranych parametrów rozkładu badanej własności (rys. 1 i 2) [1].

Karty kontrolne pozwalają na ocenę stabilności procesu oraz zdolności do spełniania jakościowych wymagań. Pozwalają one również śledzić przebieg procesu i oceniać, czy ewentualne wahania średniej lub innej miary statystycznej kontrolowanych cech, są na tyle znaczne, że oznaczają trwałe rozregulowanie procesu i w konsekwencji mogą prowadzić do powstania produktu nie spełniającego wymagań [3].

Zakres badań dla oceny stanu konstrukcji obudowy dla wybranych jej rodzajów przedstawiono na rysunku 3.

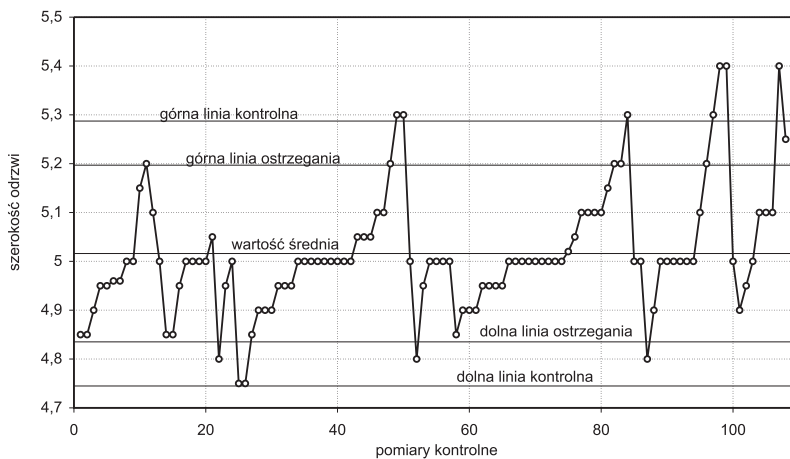
Zdolność jakościowa procesu polega na określeniu zgodności między wymaganiami wynikającymi z projektu i możliwościami procesu technologicznego, w którym analizowany produkt jest wytwarzany.

Miarą zdolności jakościowej procesu jest wskaźnik wyrażony wzorem [3]:

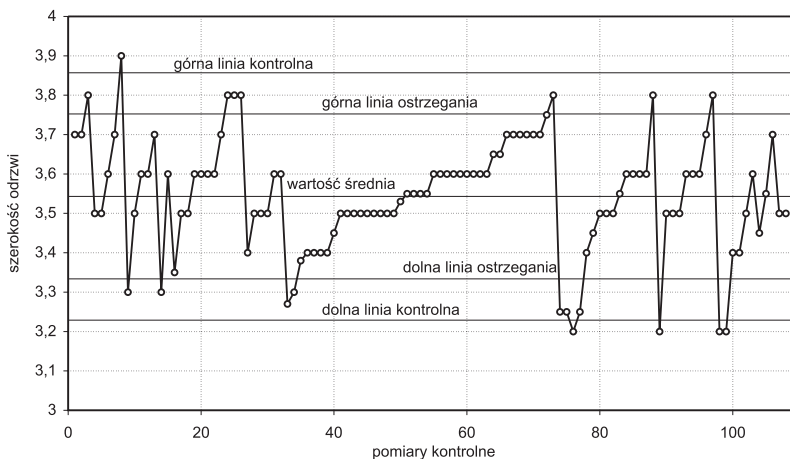
$$c_p = \frac{x_g - x_d}{6 \cdot \sigma} \tag{1}$$

gdzie:

- $c_p$  — wskaźnik jakościowy procesu określający potencjalne możliwości procesu do spełnienia wymagań jakościowych,
- $x_g$  — górna granica tolerancji analizowanej własności,
- $x_d$  — dolna granica tolerancji analizowanej własności,
- $\sigma$  — odchylenie standardowe analizowanej własności.



Rys. 1. Przykład karty kontrolnej szerokości stalowej obudowy odzwiowej [1]



Rys. 2. Przykład karty kontrolnej wysokości stalowej obudowy odzwiowej [1]



#### 2.4. Zakończenie budowy i przekazanie obiektu do eksploatacji

Zakończenie drążenia budowli podziemnej i przekazanie jej inwestorowi obejmować powinno odbiór komisyjny oraz sprawdzenie wymagań w odniesieniu do ukończonej budowli podziemnej [5–7].

W praktyce podstawowymi miarami poziomu jakości wykonania, w odniesieniu do wyrobisk korytarzowych, stosowane mogą być m.in.: wadliwość (poprawność), przeciętna liczba wad w jednostce oraz zdolność jakościowa procesu [3].

Wadliwość można definiować jako prawdopodobieństwo uzyskania efektu niezgodnego z zamierzonym w projekcie. Niezgodność z projektem może dotyczyć jednego lub większej liczby parametrów charakteryzujących wyrób.

Ogólnie liczbowo wadliwość można zapisać w postaci [3]:

$$p(X) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - p(X_j)] \quad (2)$$

gdzie:

$p(X)$  — wadliwość ogólna produktu,

$p(X_j)$  — wadliwość cząstkowa produktu z punktu widzenia  $j$ -tej własności,

$k$  — liczba wadliwości cząstkowych.

W przypadku drążenia wyrobisk korytarzowych jakość wykonania można ocenić również za pomocą przeciętnej liczby wad w jednostce długości wyrobiska. W przypadku stosowania tej miary ustala się miary cząstkowe z punktu widzenia poszczególnych własności i określa się sumaryczną liczbę wad w jednostce dzieląc je na mało istotne i istotne. Ogólnie wzór można zapisać w postaci [3]:

$$\lambda_m = h_2 \cdot \lambda_m^{(2)} + h_3 \cdot \lambda_m^{(3)} \quad (3)$$

gdzie:

$\lambda_m$  — przeciętna liczba wad w jednostce produktu,

$\lambda_m^{(2)}$  — ogólna przeciętna liczba wad istotnych w jednostce produktu o licznosci  $m$ ,

$\lambda_m^{(3)}$  — ogólna przeciętna liczba wad mało istotnych w jednostce produktu o licznosci  $m$ ,

$m$  — licznosc produktu,

$h_2$  — waga przypisywana cechom istotnym,

$h_3$  — waga przypisywana cechom mało istotnym.

## 2.5. Użytkowanie i konserwacja

W trakcie użytkowania wyrobiska konieczne jest prowadzenie następujących działań [5–7]:

- monitorowanie wyszczególnionych własności obiektu,
- kontrola uszkodzeń lub usterek,
- badania stanu,
- certyfikacja prac.

Prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia zniszczenia lub uszkodzenia elementów i konstrukcji obudowy oraz ich konsekwencje zależą od poziomu kontroli i eliminacji ewentualnych błędów.

Diagnostyka techniczna to określenie stanu technicznego obiektu na podstawie zgromadzonej o niej wiedzy, w tym także wyników przeprowadzonych na nim badań. W przypadku budowli podziemnych diagnostyka powinna być okresowa, doraźna lub docelowa [8].

Diagnostyka okresowa związana jest z wykonywaniem okresowych przeglądów technicznych. Zakres i częstotliwość wykonywania diagnostyki okresowej zależą od specyfiki konstrukcji budowli, stopnia zagrożeń naturalnych, okresu istnienia budowli oraz jej znaczenia gospodarczego.

Diagnostyka doraźna związana jest ze stwierdzonym faktem wystąpienia uszkodzeń konstrukcji lub innych nieprawidłowości dotyczących obiektu lub jego elementów. Decyzja o przeprowadzeniu takiej diagnostyki oraz jej zakres może również wynikać z oceny przedstawionej w dokumentacji przeglądu okresowego. Zwykle diagnostyka doraźna wymaga przeprowadzenia specjalistycznych badań, analiz i ocen, które nie są przeprowadzane w ramach diagnostyki doraźnej.

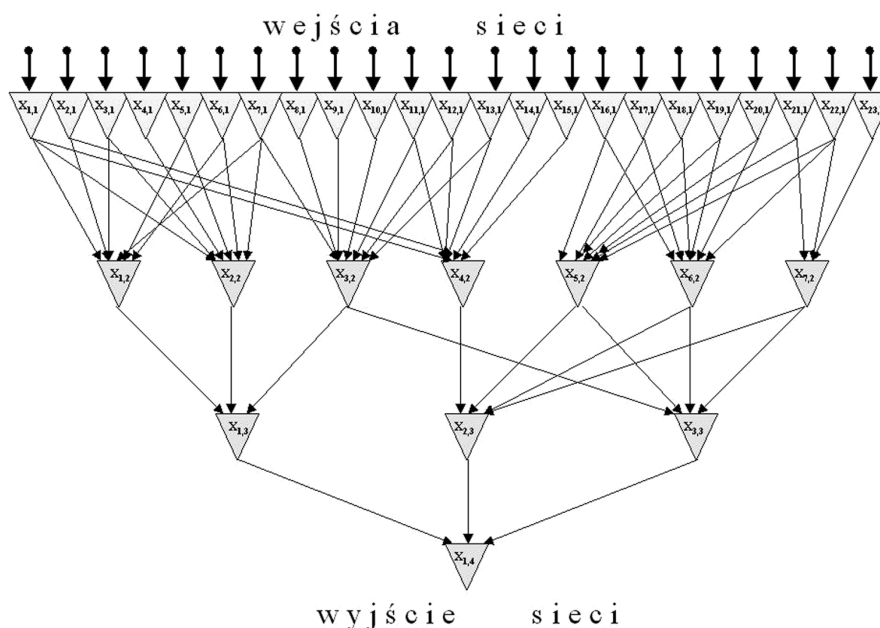
Diagnostyka docelowa najczęściej związana jest z oceną możliwości i określeniem warunków przeprowadzenia modernizacji obiektu lub zmiany jego zadań technologicznych. Przeprowadzona powinna być ze szczególnym ukierunkowaniem funkcji, jaką będzie budowla pełniła docelowo (lub w długim okresie czasu).

Stateczność budowli podziemnej zależy nie tylko od stanu konstrukcji obudowy, ale również od jakości otaczającego górotworu oraz interakcji zachodzących w układzie obudowa — górotwór. Stan taki powoduje konieczność poszukiwania nowych metod pozwalających na analizę i opis procesów, na przebieg których wpływa wiele czynników o różnej wadze — np. metody sztucznych sieci neuronowych.

W celu oceny jakości budowli podziemnej metodą sztucznych sieci neuronowych zbudować można sieć jednokierunkową z dwoma warstwami ukrytymi (rys. 4) [2].

Jako czynniki wywierające istotny wpływ na stopień bezpieczeństwa obudowy wyrobisk korytarzowych przyjęto: rodzaj skał ( $x_{1,1}$ ), wytrzymałość na ściskanie skał ( $x_{2,1}$ ), moduł sprężystości skał ( $x_{3,1}$ ), odporność na działanie wody skał ( $x_{4,1}$ ), tektonika masywu ( $x_{5,1}$ ), wpływy eksploatacji górniczej ( $x_{6,1}$ ), głębokość lokalizacji ( $x_{7,1}$ ), gabaryty wyrobiska ( $x_{8,1}$ ), kształt przekroju poprzecznego wyrobiska ( $x_{9,1}$ ), zagrożenie obciążeniami dynamicznymi

( $x_{10,1}$ ), metoda urabiania skał ( $x_{11,1}$ ), konstrukcja obudowy ( $x_{12,1}$ ), zagrożenie gazowe ( $x_{13,1}$ ), zagrożenie pożarowe ( $x_{14,1}$ ), zagrożenie wodne ( $x_{15,1}$ ), posadowienie obudowy ( $x_{16,1}$ ), konstrukcja obudowy ( $x_{17,1}$ ), rodzaj materiału obudowy ( $x_{18,1}$ ), grubość obudowy ( $x_{19,1}$ ), stopień korozji obudowy ( $x_{20,1}$ ), deformacje obudowy ( $x_{21,1}$ ), konwergencja wyrobiska ( $x_{22,1}$ ) oraz okres istnienia budowli podziemnej ( $x_{23,1}$ ).



Rys. 4. Ogólny schemat sieci dla oceny stopnia bezpieczeństwa obudowy wyrobisk korytarzowych [2]

Do wejść neuronów kolejnej warstwy doprowadzane są sygnały dochodzące z neuronów warstwy poprzedniej. Każdy sygnał mnożony jest przez odpowiadającą mu wartość liczbową zwaną wagą. Zsumowane iloczyny sygnałów i wag stanowią argument funkcji aktywacji neuronu. Przy takim oznaczeniu sygnał wyjściowy  $i$ -tego neuronu pierwszej warstwy ukrytej opisany jest funkcją:

$$y_{i,1} = f\left(\sum_{j=1}^{23} w_{i,j}^{(1)} \cdot x_{i,j}\right) \quad (4)$$

gdzie:

- $y_{i,1}$  — sygnał wyjściowy  $i$ -tego neuronu pierwszej warstwy ukrytej,
- $w_{i,j}^{(1)}$  — wartość wagi warstwy 1,
- $x_{i,j}$  — sygnał wejściowy  $i$ -tego neuronu warstwy 1.

Na wartość sygnału wyjściowego mają wpływ wagi wszystkich warstw, podczas gdy sygnały wytwarzane w warstwach ukrytych nie zależą od wag warstwy wyjściowej i dla  $k$ -tego neuronu opisane mogą być wzorem:

$$y_k = f \left\{ \sum_{i=0}^3 w_{k,i}^{(3)} \cdot f \left[ \sum_{j=0}^7 w_{k,j}^{(2)} \cdot f \left( \sum_{l=0}^{23} w_{k,l}^{(1)} \cdot x_{l,1} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

gdzie:

$w_{ij}^{(1)}, w_{ij}^{(2)}, w_{ij}^{(3)}$  — wartości wag poszczególnych warstw,  
 $x_{l,1}$  — sygnał wejściowy  $l$ -tego neuronu warstwy 1.

Dobór wag sieci w sieci wielowarstwowej przeprowadzić można według algorytmu propagacji wstecznej przy wykorzystaniu gradientowych metod optymalizacji.

## 2.6. Likwidacja

Kontrola jakości likwidacji budowli podziemnej, podobnie jak w przypadku jej drażnienia, powinna obejmować [5, 6, 7]:

- kontrolę operacji i procesów,
- wybór próbek i badania,
- poprawianie usterek,
- certyfikację prac odpowiednio do badań zgodności, określonych w dokumentacji projektowej procesu likwidacji budowli.

## 3. Podsumowanie

Wykonywanie i utrzymywanie budowli podziemnych jest procesem złożonym pod względem technologicznym co powoduje, że efekt końcowy tego procesu ma charakter niejednorodny i w różnym stopniu odbiegający od wartości projektowych. Z drugiej strony, jakość wykonania budowli decyduje o niezawodności i bezpieczeństwie jej konstrukcji. Istnieje zatem potrzeba jak najdokładniejszej prognozy wpływu czynników naturalnych i technologicznych na jakość wykonania budowli oraz jej uwzględnienia już na etapie opracowania projektu.

Celem analizy jakości jest określenie wielkości i rozkładu odchyłek od wartości projektowych parametrów charakteryzujących budowlę podziemną. Cel ten realizuje się poprzez pomiary wytypowanych parametrów charakteryzujących jakość konstrukcji we wszystkich fazach istnienia budowli. Specyfikacja parametrów charakteryzujących jakość wykonania konstrukcji zależy od charakteru analizowanej konstrukcji oraz stosowanej metody oceny jej stateczności.

Wymagania w zakresie systemów jakości w projektowaniu, wykonaniu i naprawach, w wytwarzaniu i montażu oraz w próbach odbiorowych regulować powinny zasady odpo-



wiadające wymaganiom normy PN-ISO 9001-9003. W przypadku konstrukcji złożonych, a do takich zaliczyć należy budowle pozieme, w modelach matematycznych jakość może być definiowana jako prawdopodobieństwo, że konstrukcja (system) lub jej elementy (podsystemy) w chwili odbioru nie mają wad.

W celu uzyskania obiektywnych informacji o obiekcie we wszystkich okresach jego użytkowania należy przeprowadzić badania na wytypowanym zbiorze obiektów, który powinien spełniać kryteria reprezentatywności. Cechy ilościowe i jakościowe próby nie powinny znacznie odbiegać od częstości występowania tych cech w populacji ogólnej. Zbiór obiektów poddanych badaniom winien być wybierany w sposób losowy z populacji generalnej, a jego liczebność winna zapewnić żadaną dokładność oceny.

Opracowanie metodyki zintegrowanej oceny jakości budowli podziemnych uwzględniający wielość kryteriów oraz wartościowanie ich wpływu na stateczność jest obecnie potrzebą chwili. Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że jest możliwe opracowanie procedur kontroli jakości budowli podziemnych uwzględniające wagi poszczególnych czynników oraz odpowiadające normom ISO.

#### LITERATURA

- [1] *Duży S.*: Elementy zarządzania jakością w procesie drążenia wyrobisk korytarzowych w kopalniach węgla kamiennego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 23, Zeszyt Specjalny 2, Kraków, 2007
- [2] *Duży S.*: Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do oceny stopnia bezpieczeństwa obudowy wyrobisk górniczych. *Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Górnictwo z. 286*, Gliwice, 2008, s. 107–115
- [3] *Iwasiewicz A.*: Zarządzanie jakością. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999
- [4] Polska Norma PN-ISO 2394:2000. Ogólne zasady niezawodności konstrukcji
- [5] Polska Norma PN-ISO 9001:1996. Systemy jakości. Modele zapewnienia jakości w projektowaniu, pracach rozwojowych, produkcji, instalowaniu i serwisie
- [6] Polska Norma PN-ISO 9001:2001. System zarządzania jakością. Wymagania
- [7] Polska Norma PN-ISO 9002:1994. Systemy jakości. Modele zapewnienia jakości w pracach rozwojowych, produkcji, instalowaniu i serwisie
- [8] *Praca zb. pod red. Licholaja L.*: Budownictwo ogólne. T. 3, Elementy budynków, podstawy projektowania. Wyd. Arkady, Warszawa, 2008