

## KSZTAŁTOWANIE WĘZŁÓW USTROJÓW NOŚNYCH W MASZYNACH PODSTAWOWYCH GÓRNICICTWA ODKRYWKOWEGO

Marcin KOWALCZYK\*, Tadeusz SMOLNICKI\*, Mariusz STAŃCO\*

\*Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn  
ul. I. Łukasiewicza 7/9, 50-371 Wrocław

[marcin.kowalczyk@pwr.wroc.pl](mailto:marcin.kowalczyk@pwr.wroc.pl), [tadeusz.smolnicki@pwr.wroc.pl](mailto:tadeusz.smolnicki@pwr.wroc.pl), [mariusz.stanco@pwr.wroc.pl](mailto:mariusz.stanco@pwr.wroc.pl)

**Streszczenie:** Nowoczesne metody obliczeniowe umożliwiają odejście od klasycznych zasad kształtowania statycznie niewyznaczalnych ram przestrzennych, poddanych złożonym obciążeniom (Rusiński i inni, 2000). Po wstępnym doborze doboru przekrojów belek na etapie projektowania, następuje etap weryfikacji wytrzymałościowej, w której przez niekonwencjonalne kształtowanie węzłów konstrukcyjnych uzyskuje się spełnienie wymagań normowych materiału i lepsze wykorzystanie nośności materiału, co opisano na przykładzie zwałowarki.

### 1. WSTĘP

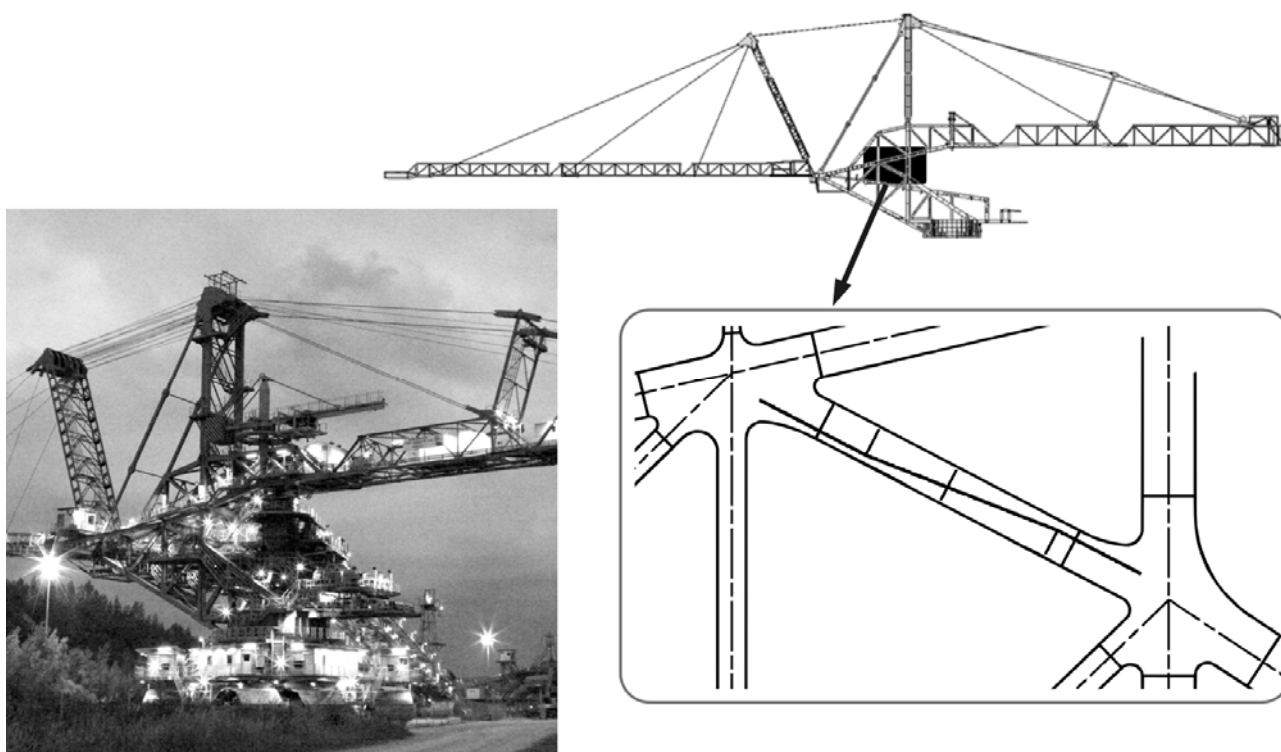
Rama przestrzenna wieży należy do najbardziej odpowiedzialnych członów ustroju nośnego zwałowarki (rysunek 1), która łączy i przenosi obciążenia od pozostałych członów nadwozia.

Ustroje nośne maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego zazwyczaj w swojej budowie zbliżone są do przestrzennych kratownic. Pełna weryfikacja tego typu ustrojów wymaga uwzględnienia dodatkowych momentów gnących i skręcających w sąsiedztwie węzłów konstrukcyj-

nych, które w wielu przypadkach bardzo istotnie wpływają na pola naprężeń.

Momenty gnące w ustrojach kratownicowych powstają głównie w wyniku względnej zmiany konfiguracji węzłów konstrukcyjnych pod obciążeniem. Ich wartości zależą od charakterystyk przekrojowych belek, wartości sił przekrojowych ale i od podatności węzłów, w tym od sposobu łączenia elementów konstrukcyjnych.

Umiejętność doboru tych czynników ułatwia optymalizowanie postaci geometrycznej konstrukcji na etapie projektowania.



Rys. 1. Zwałowarka ZGOT 11500.100 – newralgiczny węzeł ustroju nośnego wieży

## 2. KSZTAŁTOWANIE POSTACI GEOMETRYCZNEJ

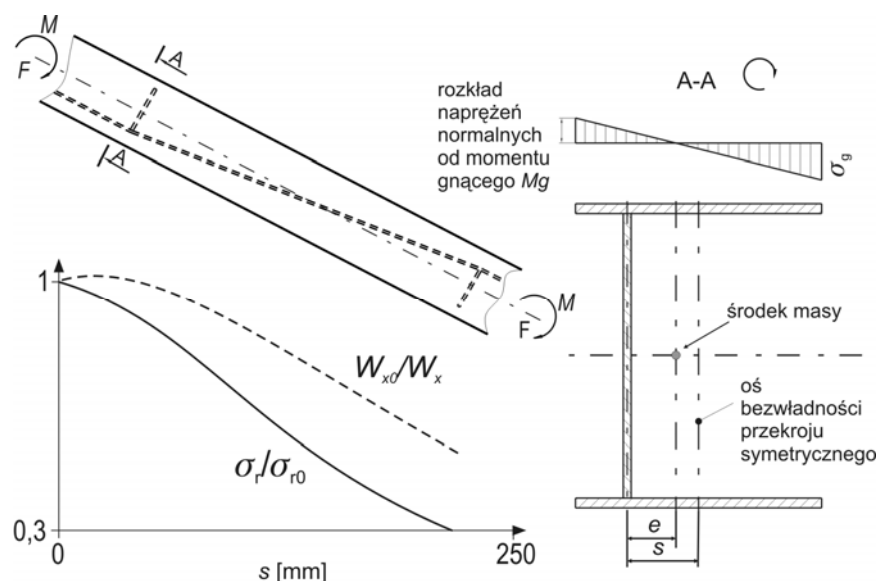
Podczas weryfikacji, ostatecznego wymiarowania i kształtowania postaci geometrycznej ustroju nośnego zachodzi potrzeba stosowania niekonwencjonalnych zabiegów konstrukcyjnych. W przypadku wieży zwałowarki zmiany optymalizacyjne polegały m.in. na:

- doborze sztywności giętych belek poprzez wpływanie na momenty bezwładności przekrojów – zwiększenie podatności belki na zginanie zmniejsza momenty gnące węzłowe i umożliwia zmniejszenie przekroju belki;
- doborze sztywności belek w kierunku osiowym – wpływa na przemieszczenia kątowe pomiędzy belkami;
- przesuwaniu środków mas przekrojów – wpływa na rozkład naprężeń normalnych od zginania i momenty gnące na zasadzie przesunięcia wypadkowej sił we-

wewnętrznych od osi belek wyznaczonych przez środki węzłów;

- zapewnieniu kontinuum dla sił wewnętrznych w sąsiedztwie złączeń teowych i zagięć blach – lokalny brak kontynuacji w ustroju w kierunku wypadkowej sił wewnętrznych powoduje nierównomierność rozkładu naprężeń.

Ustroje nośne maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego są obliczane zgodnie z normami np. normą DIN 22261. Analizuje się kilkanaście przypadków kojarzenia obciążeń cząstkowych, dla których współczynniki bezpieczeństwa są tak dobrane, że wagi kryteriów oceny wytrzymałości doraźnej są zbliżone. W przypadku wieży zwałowarki najistotniejszym były obciążenia przy transporcie maszyny (HVS4), gdy dopuszczane jest większe pochylenie podłoża przy wietrze burzowym.



Rys. 2. Zastosowane przesunięcie środka dwuteownika i jego wpływ na wskaźnik wytrzymałości na zginanie i składową naprężeń normalnych od zginania po stronie występowania maksymalnych naprężeń ( $W_{x0}$  i  $\sigma_{r0}$  odnoszą się do przekroju symetrycznego)

Skutecznym środkiem zmniejszania poziomu naprężeń było przesunięcie środka ciężkości pola przekroju w kierunku występowania maksymalnych naprężeń (obszary A i B, rysunek 3) oraz wprowadzenie momentów kompensujących poprzez zmianę kierunków belek.

Przesunięcie w przekroju środka dwuteownika powoduje przesunięcie rozkładu naprężeń normalnych od zginania. Przedstawiona na rysunku 2 zależność składowej naprężeń przy zginaniu od wartości przesunięcia jest prawdziwa poza obszarem wpływu zarysu blachy węzłowej. W obrębie blachy węzłowej wpływ przesunięcia środka masy przekroju jest mniejszy, a przyczynę uzyskiwanego spadku naprężeń nie można wyjaśnić jednoznacznie, ze względu na wpływ sił i momentów od innych belek. Rezultat wprowadzonych zmian przedstawiono na rysunku 3.

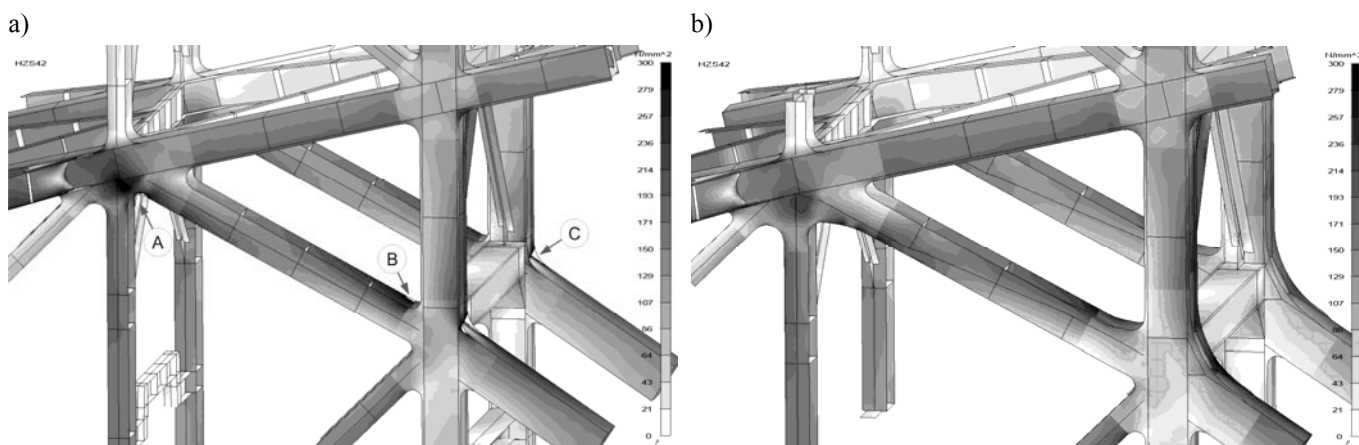
W miejscach zagięcia środka umieszczono żebra poprzeczne, które przenoszą wypadkową sił wewnętrznych w środku, dzięki czemu przenoszenie obciążeń odbywa się w całym przekroju. Pozostawienie braku ciągłości w ustroju nośnym dla sił wewnętrznych jest jedną z najistotniejszych przyczyn powstawania spiężeń naprężeń. Części

przekrojów nie przenoszą wtedy obciążenia w stopniu wynikającym z rozkładów naprężeń pozyskanych metodami analitycznymi obliczeń. W praktyce niewykorzystanie przekrojów elementów ustrojów nośnych powodowane zmianą kierunku sił wewnętrznych i brakiem elementu konstrukcyjnego przenoszącego wypadkową tych sił obserwuje się np. przy zagięciach półek podłużnic pojazdów samochodowych, opaskach wzmacniających na zakrzywionych odcinkach i jest tym silniejsze, im większy jest stosunek szerokości półki (opaski) do jej grubości. Najwydatniejszą poprawę uzyskuje się na zasadzie podpierania półki, przy którym zniekształcenie przekroju poprzecznego jest najmniejsze – zaleca się wzdłużne uźebrowanie.

Efekt związany z brakiem kontinuum dla sił wewnętrznych można zauważyć na górnej półce belki o przekroju zamkniętym łączonej do słupa (obszar C, rysunek 3) pomiędzy blachami węzłowymi. Oryginalnie półka belki łączona była ze ścianką słupa spoiną teową, ale po drugiej stronie ścianki nie było kontynuacji, np. w postaci żebra lub przepony. Pomiedzy blachami węzłowymi zauważalny jest spadek naprężeń w półce, co przyczyniało się częściowo do przekroczenia naprężeń dopuszczalnych.

Węzeł konstrukcyjny, na którym zaznaczono obszar C (rysunek 3) jest dobrym przykładem sytuacji, gdy zwiększenie promienia zaokrąglenia wycięcia na blasze węzłowej nie rozwiązuje problemu przekroczeń naprężeń dopuszczalnych. Węzeł, słup i belka ukośna o przekroju zamkniętym przenoszą moment gnący tak duży, że składowe naprężenia od zginania i ściskania w skrajnych włóknach belki ukośnej i słupa są porównywalne i sumują się w miejscu

zaokrąglenia. Zwiększanie promienia zaokrąglenia powoduje odsunięcie skrajnych włókien blachy węzłowej od osi obojętnej zginania i zmniejszenie wykorzystania górniej półki belki ukośnej i ścianki słupa. Obniżenie poziomu naprężeń maksymalnych poniżej 60% ich początkowej wartości uzyskano zachowując minimalną odległość górnej półki od zarysu blachy węzłowej.



Rys. 3. Warstwy naprężeń zastępczych HMM w przypadku obciążenia HZS4 na fragmencie modelu wieży przed (a) i po modyfikacjach (b)

### 3. PODSUMOWANIE

Różnorodność i odmienność przypadków spotykanych w ramach poprawy konstrukcji uniemożliwia spisanie jednoznacznych, czytelnych reguł postępowania przez inżyniera. Ogólnie można stwierdzić, że każdy efektywny, uzasadniony sposób jest dobry, niemniej jednak najbardziej polecane są rozwiązania polegające na eliminowaniu przyczyn występowania przekroczeń naprężeń dopuszczalnych. Rozwój numerycznych metod obliczeń umożliwił wydawnicze rozszerzenie wiedzy o analizowanym ustroju. Usunięcie przyczyny nieprawidłowości w końcowym etapie konstruowania (zapewnienie kontynuacji dla sił wewnętrznych w ustroju, ograniczanie zniekształcenia przekrojów wywołane działaniem wypadkowych sił wewnętrznych, wprowadzanie momentów kompensujących momenty gnące w ramach przestrzennych przez zmianę ustawienia belek, dobór sztywności belek) umożliwia najefektywniejsze uzyskanie zamierzonego celu, mimo to stosuje się zabiegi konstrukcyjne realizowane na zasadzie ograniczania skutków (zwiększanie grubości blach, promieni zaokrąglenia, przesuwanie środków mas przekrojów), gdy bywają bardziej uzasadnione niż poprzednie.

### LITERATURA

1. **Hawrylak H., Sobolski R.** (1967), *Maszyny podstawowe górnictwa odkrywkowego*, Katowice.
2. **Rusiński E., Czmochoński J., Smolnicki T.** (2000), *Zaawansowana metoda elementów skończonych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
3. **Zienkiewicz O. C., Taylor R. L.** (1991), *The finite element method*, Vol. 1, Vol. 2. McGraw-Hill Book Company, London.
4. Norma DIN 22261

### STRENGTH DESIGNING OF SUPPORTING STRUCTURE JOINT OF SURFACE MINING MACHINES

**Abstract:** Nowadays supporting structures of newly build basic machines of open cast mining undergo thorough strength analysis with use of finite element method (Rusiński et al., 2000). In case of verification calculations the occurrence of allowable stresses exceed is stated, where the structure changes are made in final stage of designing. In order to correct the structure the nonstandardized constructional operations are used very often.