

**Mariusz Śladowski**  
BOBRME Komel, Katowice

## **ZAAWANSOWANE METODY OBLICZEŃ NAPRĘŻEŃ I ODKSZTAŁCEŃ NA PRZYKŁADZIE ANALIZY KORPUSU SILNIKA ELEKTRYCZNEGO DO KOMBAJNU ŚCIANOWEGO KA200**

### **ADVANCED METHODS OF CALCULATIONS STRESSES AND DEFORMATIONS EXEMPLIFIED BY THE ELECTRICAL MOTOR FRAME OF MINING SHEARER KA 200**

**Abstract:** Selected stages of realization of construction optimization process are presented in the article. In order to estimate displacements as well as strain and stress distribution the finite element method (FEM) is commonly used and the calculations were carried out using this method. To optimize the construction the computer system Autodesk Inventor Simulation 2009 was used. Strength analysis showed that the permissible stress limit in few details has been exceeded. To improve the tested construction the material of details were changed. To optimize the whole construction some other changes were also introduced.

#### **1. Wstęp**

Zastosowanie zaawansowanych systemów modelowania 3D wyposażonych w dodatkowy moduł obliczeniowy MES (metoda elementów skończonych) umożliwia prawidłowe zaprojektowanie oraz ewentualną optymalizację konstrukcji – już na etapie projektowania

Metoda Elementów Skończonych (ang. FEA – Finite Element Analysis) jest w dniu dzisiejszym jedną z podstawowych metod prowadzenia komputerowo wspomaganých obliczeń inżynierskich (ang. CAE – Computer Aided Engineering). W większości dużych i średnich przedsiębiorstwach rozpoczęcie wytwarzania danego produktu nie może się rozpocząć, zanim jego określone własności nie zostaną pozytywnie zweryfikowane z zastosowaniem obliczeń MES.

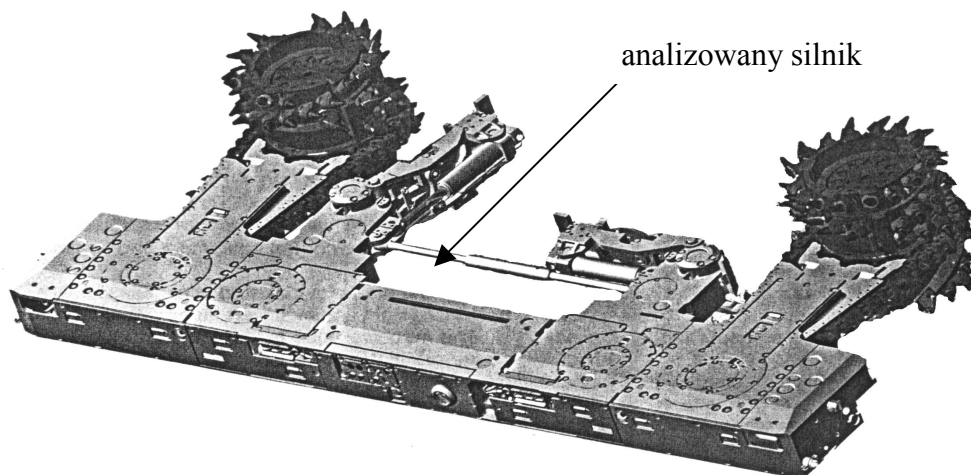
Teoretyczne podstawy zostały dość dokładnie sformułowane pod koniec lat 50-tych XX w. (jako metody prowadzenia obliczeń z zakresu mechaniki strukturalnej), choć prowadzenie rozważań z nią związanych miało miejsce już w XIX wieku.

W jednej z prac [1] Kircha (1868) zasugerowano zastąpienie trójwymiarowego ustroju ciągłego zbiorem oddzielnych elementów prostopadłościennych, a następnie zastąpienie każdego z nich przestrzenną kratownicą. W ten sposób powstała idea utworzenia metody obliczeniowej, której głównym założeniem był podział analizowanego obiektu (o złożonym kształcie i nieskończonej liczbie stopni swo-

body) przez ściśle określoną liczbę elementów o skończonej liczbie stopni swobody. Współczesne modele mają gęstą siatkę elementów, co jest szczególnie korzystne w miejscach spodziewanych zmian naprężeń, czyli miejscach nagłych zmian krzywizn i ostrych przejść.

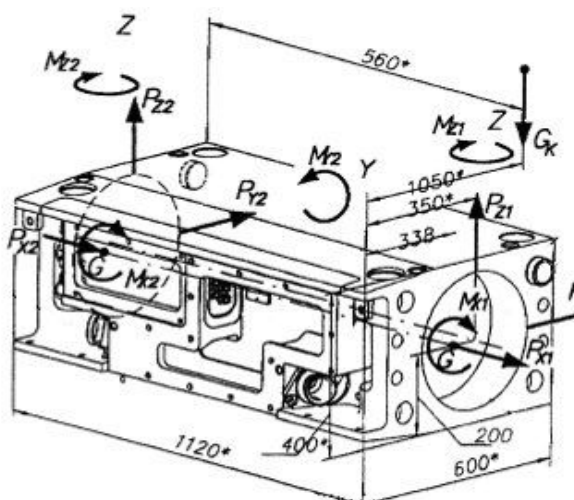
#### **2. Budowa, warunki pracy silnika**

Analizowany silnik służy do napędu roboczych organów kombajnów ścianowych KA 200 jest budowy przeciwwybuchowej o mocy 180kW. Posiada kadłub stalowy konstrukcji spawanej, zamknięty z obu stron tarczami łożyskowymi. Do kadłuba przyspawana jest skrzynka zaciśkowa. Silnik chłodzony jest wodą o wymuszonym przepływie przez kanały wodne w kadłubie. Do silnika od strony napędowej i przeciwnapędowej zamontowane są elementy kombajnu ścianowego, w związku z czym korpus narażony jest na działanie zmiennych momentów oraz sił dynamicznych. W celu zapewnienia niezawodności pracy należało przeprowadzić, na etapie projektowania, obliczenia wytrzymałościowe, metodą elementów skończonych, sprawdzające czy korpus silnika jest odpowiednio wytrzymały i sztywny.

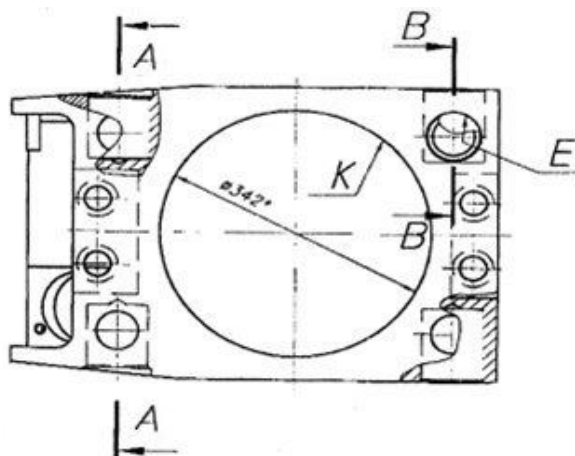


Rys. 1. Kombajn ścinawy KA 200 z zamontowanym silnikiem w części centralnej zespołu

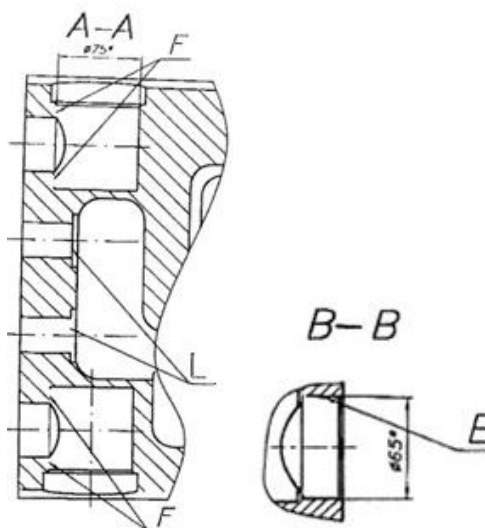
### 3. Warunki obciążenia i podparcia korpusu



Rys. 2. Schemat obliczeniowy obciążeń korpusu silnika elektrycznego sprowadzonych do środka ścinania połączeń śrubowych kołnierzy



Rys. 3. Rysunek poglądowy kołnierza silnika elektrycznego



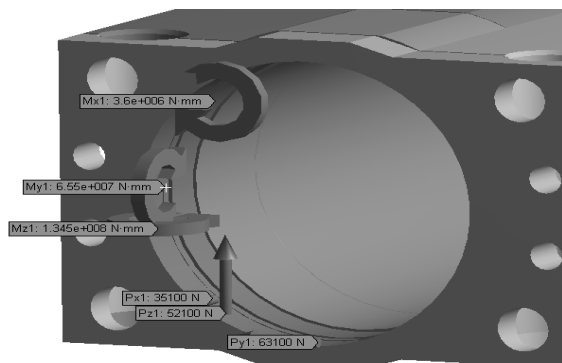
Rys. 4. Rysunki poglądowe przekrojów kołnierza silnika elektrycznego

Obliczenia wytrzymałościowe zostały przeprowadzone na podstawie schematu obciążeń korpusu (rys.2) i następujących danych:

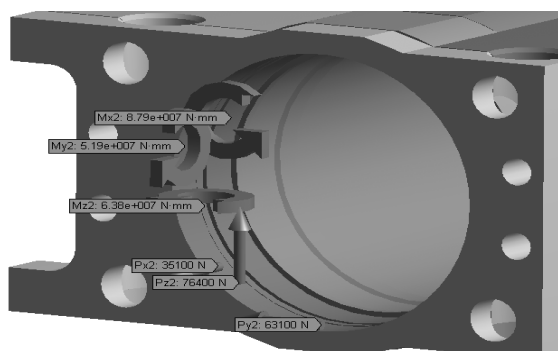
1. Obciążenie siłą  $P_x$  (rys. 2) przenoszone na powierzchniach L i F korpusu silnika elektrycznego (rys.3 i rys.4).
2. Obciążenie siłą  $P_y$  i  $P_z$  (rys. 2) przenoszone na powierzchni K korpusu silnika elektrycznego (rys.3)
3. Obciążenie momentem  $M_x$  w płaszczyźnie styku przenoszone na powierzchni E korpusu silnika elektrycznego (rys.3).
4. Obciążenie momentem gnącym  $M_y$  i  $M_z$  (rys. 2) w płaszczyźnie styku przenoszone na powierzchniach L i F korpusu silnika elektrycznego (rys.3 i rys.4).

Podany sposób obciążenia jest taki sam dla obu kołnierzy (dla strony napędowej oraz przeciwnapędowej) rozpatrywanego silnika. Wartości

obciążeń oraz ich kierunki działania pokazano na rysunku 5 oraz 6. Sprowadzone zostały do środka ścinania (środek sił poprzecznych) połączeń śrubowych, działających na każdy z kołnierzy silnika elektrycznego.

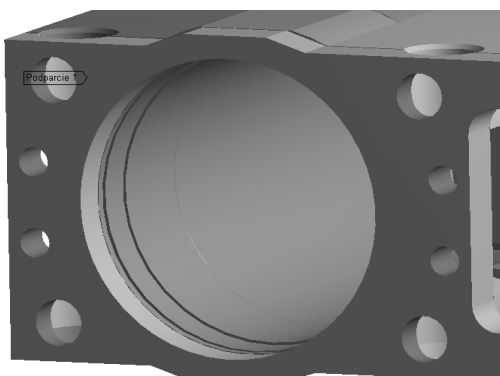


Rys. 5. Warunki obciążenia siłami i momentami kołnierza korpusu – widok strona napędowa



Rys. 6. Warunki obciążenia siłami i momentami kołnierza korpusu – widok strona napędowa

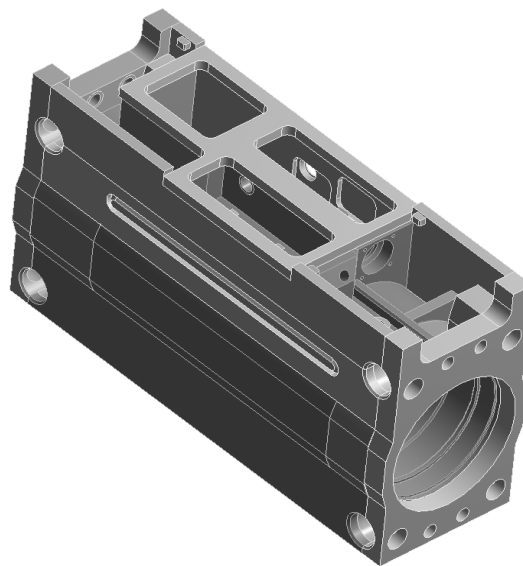
Korpus analizowanego silnika elektrycznego z obu stron jest montowany za pośrednictwem połączeń śrubowych z dwoma przekładniami mechanicznymi. W związku z tym w otworach montażowych założono podpory potrzebne do analizy wytrzymałościowej korpusu. Na rys.7 zaznaczono powierzchnie cylindryczne, którym odebrano wszystkie stopnie swobody.



Rys. 7. Warunki podparcia korpusu silnika w kołnierzu czołowym – widok strona napędowa

#### 4. Analiza wytrzymałościowa MES

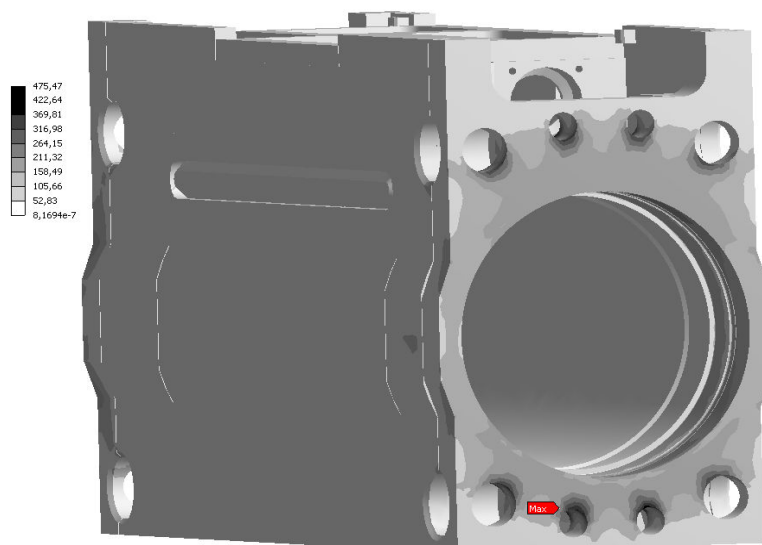
Model bryłowy korpusu kadłuba został wykonany w systemie modelowania 3D Autodesk Inventor Simulation w wersji 2009. System ten wyposażony jest w moduł analizy MES w którym jako solver wykorzystany jest moduł z programu Ansys. Decydującym etapem podczas tworzenia modelu obliczeniowego było wykonanie modelu geometrycznego analizowanego kadłuba. Różni się on nieznacznie od modelu trójwymiarowego budowanego na potrzeby wykonania dokumentacji konstrukcyjnej. Wprowadzone zostały pewne uproszczenia polegające na usunięciu nieistotnych z punktu widzenia analizy MES otworów służących do mocowania pokryw silnika. Wyeliminowano również spoiny poprzez zastosowanie kontaktu między powierzchniami oraz usunięto niewielkie elementy, które nie wpływają na wyniki obliczeń, a jedynie zwiększają liczbę elementów skończonych, a co za tym idzie wydłużają czas obliczeń.



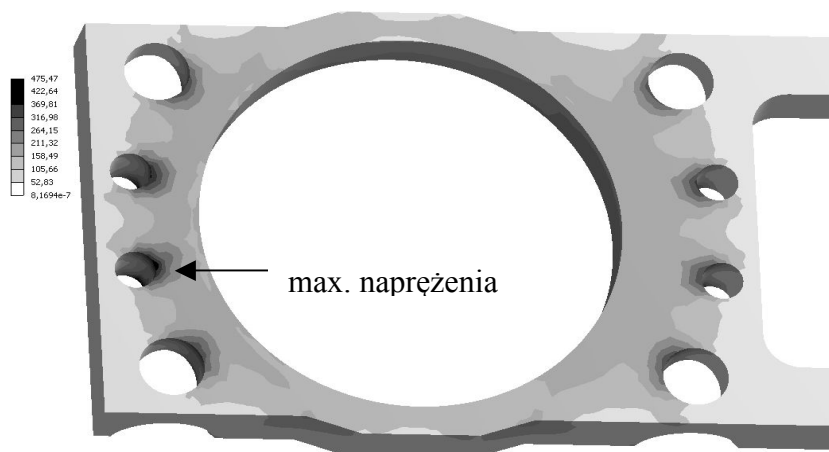
Rys. 8. Model geometryczny korpusu silnika

#### 5. Wyniki obliczeń i wnioski

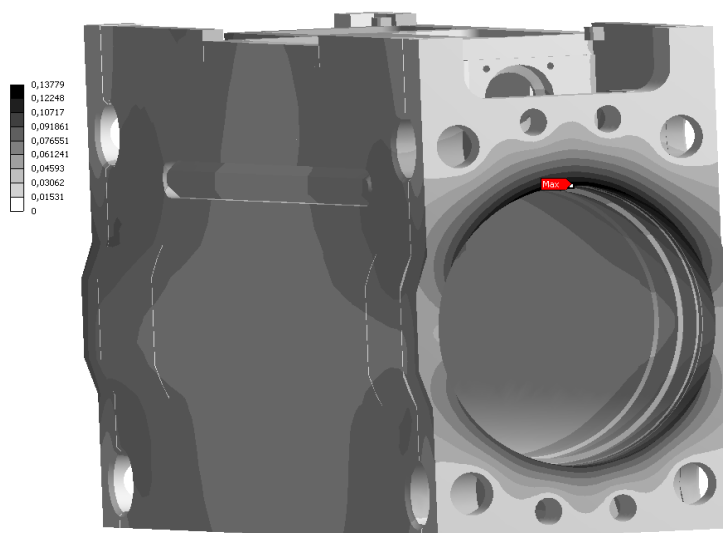
Wyniki obliczeń w postaci warstwicy naprężeń i przemieszczeń zredukowanych wg hipotezy Hubera-Missesasa [2], przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys. 9. Naprężenia zredukowane w korpusie silnika



Rys. 10. Naprężenia zredukowane w kołnierzu czołowym



Rys. 11. Przemieszczenia zredukowane w korpusie silnika

Materiał z którego został wykonany korpus to stal stopowa o podwyższonej wytrzymałości S355J2, której własności są następujące:

- $R_e = 355 \text{ MPa}$ ;
- $R_m = 500 \div 670 \text{ MPa}$ ;
- $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ .

Przeprowadzona analiza wytrzymałościowa kadłuba wykazała przekroczenie maksymalnych naprężeń wg hipotezy Misses'a w kołnierzach czołowych (rys.10.) powyżej granicy plastyczności  $R_e=355\text{MPa}$  (dla stali S355J2). Maksymalna wartość naprężeń wyniosła 475,47MPa w okolicy otworów  $\varnothing 33$ . Oznacza to, że może dojść do uszkodzenia elementów korpusu. Kołnierze w analizowanym korpusie nie są w stanie przenieść wymaganych obciążeń. Ze względu na brak możliwości wprowadzenia zmian postaci konstrukcyjnej kołnierzy należało zmienić zastosowany materiał. Ostatecznie przyjęto stal S690Q o granicy plastyczności  $R_e=690 \text{ MPa}$ , która spełnia warunki wymaganych obciążeń.

### Literatura

- [1]. Dacko M., Borkowski W., Dobrociński S., Niezgoda T., Wieczorek M.: *Metoda Elementów Skończonych w mechanice konstrukcji*, Arkady, Warszawa 1994
- [2]. Rakowski G., Kacprzyk Z.: *MES w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [3]. Rusiński E., Czmochocki J., Smolnicki T.: *Zaawansowana metoda elementów skończonych w konstrukcjach nośnych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2000
- [4]. Zienkiewicz O. C.: *Metoda elementów skończonych*, Arkady, Warszawa 1972

### Autor

mgr inż. Mariusz Śladowski  
info@komel.katowice.pl  
Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy  
Maszyn Elektrycznych „KOMEL”  
40-203 Katowice,  
al. Roździeńskiego 188.