

METODA OCENY ZASOBU EKSPLOATACYJNEGO I RYZYKA – MOZER PIERWSZE REZULTATY ZASTOSOWANIA

METHODS OF EXPLOITATION RESOURCES AND RISK ASSESSMENT- MOZER PRELIMINARY RESULTS OF APPLICATION

Hieronim Jakubczak, Artur Jankowiak, Wojciech Sobczykiewicz – Wydział SiMR, Politechnika Warszawska
Marek Kowalczyk – SKW Biuro Projektowo-Techniczne, Zgorzelec

Treścią artykułu jest zilustrowanie zastosowania Zintegrowanej Procedury – ZIP dla konkretnego obiektu, wieloczepkowej koparki kołowej KWK 910, na tle warunków określanych przez środowisko jej eksploatacji. Ilustracja dotyczy pierwszego okresu eksploatacji.

The main aim of the paper is to present application of Integrated Procedure-ZIP for KWK 910 bucket wheel excavator compared to specific conditions of its exploitation. The paper presents first stage of exploitation.

Wprowadzenie

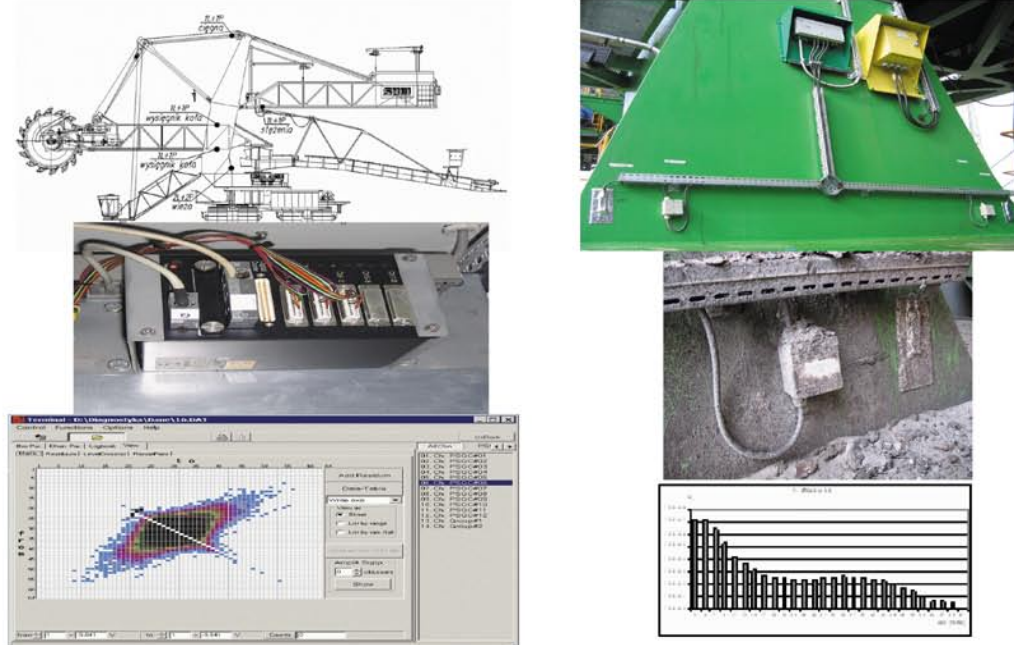
W artykule zaprezentowano przykład zastosowania przedstawionej w [1] metody oceny zagrożenia pękaniem zmęczeniowym konstrukcji nośnych maszyn roboczych, nazwanej MOZER.

Weryfikacja została przeprowadzona na przykładzie konstrukcji nośnej wieloczepkowej koparki kołowej KWK 910. To konieczne, bowiem tylko dany obiekt znajdujący się w konkretnym, typowym dla niego, środowisku eksploatacji jest w stanie określać tło i warunki brzegowe, w których przewidywane jest stosowanie proponowanej metody. Nadto, dla zilustrowania metody nieodzowne jest sięganie po dane pochodzące bezpośrednio zarówno z samego obiektu jak i procesu użytkowania.

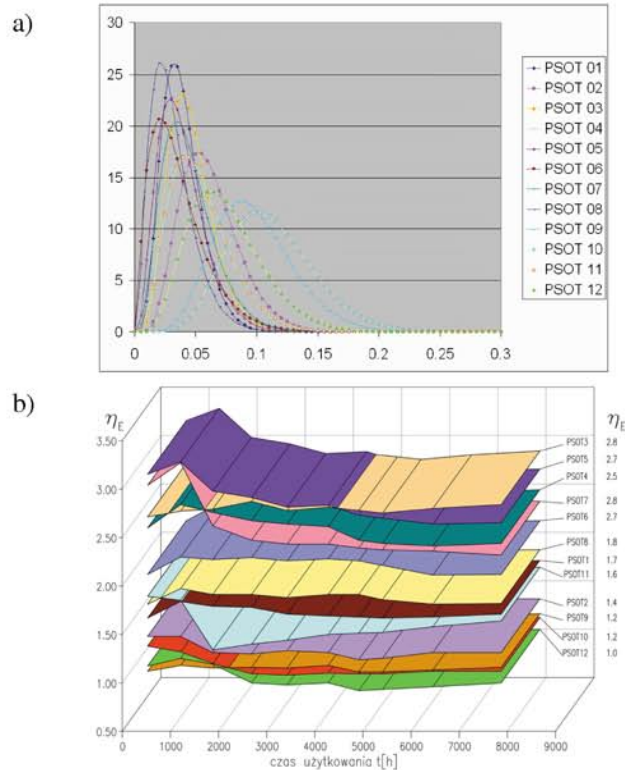
Dzięki współpracy projektanta z użytkownikiem, dzięki zainstalowaniu systemu akwizycji obciążeń, możliwe stało się zaproponowanie metody MOZER w kształcie w jakim została przedstawiona w [1].

Intensywność obciążeń

Elementem głównym, niezbędnym dla realizacji praktycznie wszystkich podstawowych czynności zawartych w metodzie MOZER (oszacowania: zasobu eksploatacyjnego – ZE, technicznego ryzyka użytkowania – R, intensywności obciążeń eksploatacyjnych – η_E), jest widmo (zespół) obciążeń (naprężeń) eksploatacyjnych. Pozyskiwane jest w poszczególnych węzłach, ich złączach spawanych, uznanych za Potencjalne Słabe Ogniwa Trwałościowe – PSOT, (na podstawie wcześniejszej analizy



Rys. 1. Elementy składowe systemu akwizycji obciążeń. Rezultaty pierwotne
Fig. 1. Elements of load data acquisition. Preliminary results



Rys. 2. Opis intensywności obciążeń eksploatacyjnych:

- a) za pomocą rozkładu statystycznego BETA,
 b) za pomocą współczynnika naprężeń eksploatacyjnych - η_E
- Fig. 2. Description of service load intensity
 a) BETA distribution
 b) exploitation stresses coefficient - η_E

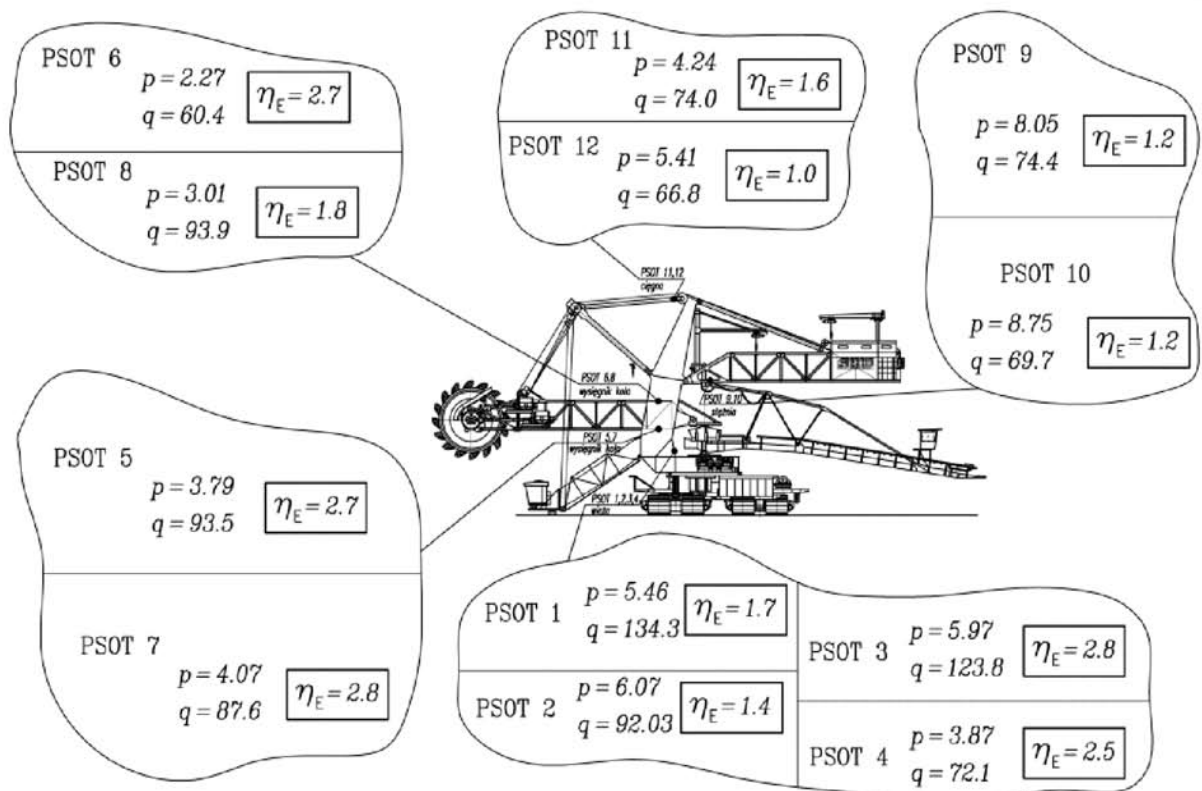
wyżenia konstrukcji, analizy lokalnej formy konstrukcyjnej węzłów, doświadczeń pozyskanych z eksploatacji obiektów podobnych itp.), za pomocą systemu akwizycji. Podstawowe elementy składowe systemu oraz forma pozyskiwanych informacji, w ujęciu pierwotnym, zostały przedstawione na rysunku 1. Na rysunku 2 ukazano te same dane uogólnione za pomocą rozkładu statystycznego BETA oraz współczynnika naprężeń eksploatacyjnych η_E . W ujęciu zbiorczym, w formie wartości liczbowych współczynnika η_E oraz parametrów p , q rozkładu BETA, zawarte zostały na rysunku 3, na tle maszyny, w odniesieniu do poszczególnych PSOT. Wszystkie informacje dotyczą pierwszego okresu eksploatacji maszyny: 7876 godzin użytkowania – około 3.5 roku eksploatacji.

Wytrzymałość zmęczeniowa

Projektant w trakcie realizacji Projektu Pierwotnego – PP założył określoną formę złączy spawanych oraz przyjął poziom jakości ich wykonania. Te czynności jednoznacznie określają charakterystyki wytrzymałości zmęczeniowej. Znaleźć je można w odpowiednich normach dotyczących wymiarowania wytrzymałościowego spawanych konstrukcji nośnych: DIN 22261, PN-G47000, DIN 15018, PN-84/M 06515, EN 13001, EN 1983, ISO 20332. Pochodzą one z obszarów maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego, dźwignic, budownictwa.

W rozpatrywanym przypadku najbardziej pomocne są normy DIN 22261, jako podstawowa norma branży MPOG oraz jej polski odpowiednik PN-G 47000.

W trakcie realizacji PP projektant przyjął generalnie klasę jakości 2, za normą DIN 22261 (także PN-G 47000) dla wszystkich złączy spawanych. Odpowiada to, według nowego systemu



Rys. 3. Zbiórca intensywności obciążeń eksploatacyjnych w PSOT 1-12. Opisany rozkładem statystycznym BETA (parametry p , q), i poprzez współczynniki naprężeń eksploatacyjnych - η_E

Fig. 3. Set of intensity of service load in PSOT 1-12. Described by BETA distribution (p , q parameters) and by coefficient of exploitation stresses - η_E

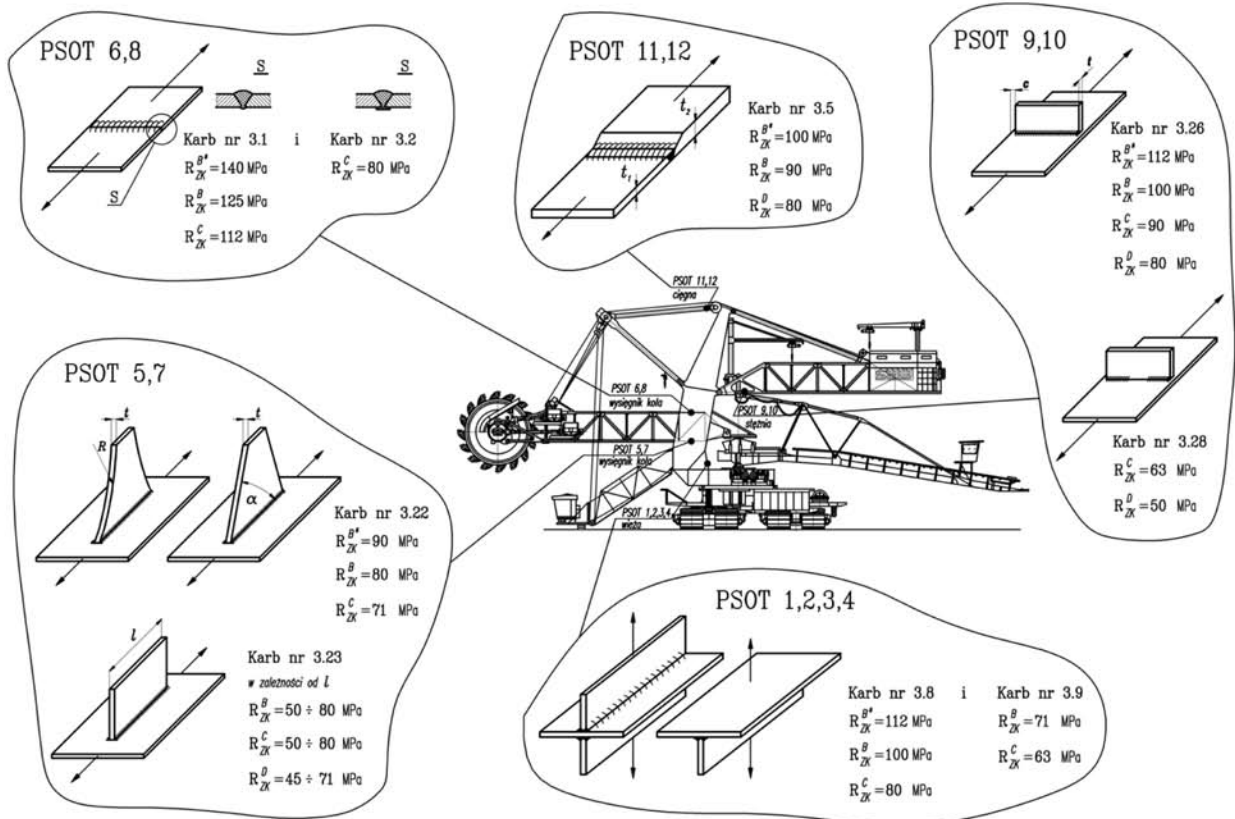
Tab.1. Identyfikacja korbów na tle PSOT
 Tab. 1. Identification of notches compared to PSOT

Potencjalne słabe ogniwa trwałościowe PSOT	Oznaczenie	Kategoria karbu - NC według			Wytrzymałość zmęczeniowa R_{ZK} ($\Delta\sigma_c$ [MPa]) Poziom jakości			
		DIN22261	PN-G 47000	ISO20332	B*	B	C	D
Połączenie wieży z platformą obrotową	PSOT1	18.4	22.4	3.8	112	100	80	71
	PSOT2	18.4	22.4	3.8				
	PSOT3	18.4	22.4	3.8				
	PSOT4	18.4	22.4	3.8				
Wysięgnik koła czerpakowego, pasy dolne	PSOT5	19.10	23.10	3.22	90	80	71	—
	PSOT7	19.10	23.10	3.22				
Wysięgnik koła czerpakowego, pasy górne	PSOT6	18.1	22.1	3.1	140	125	112	—
	PSOT8	18.1	22.1	3.1				
Wysięgnik przeciwwagi	PSOT9	18.5	22.5	3.26	112	100	90	—
	PSOT10	18.5	22.5	3.26				
Cięgno	PSOT11	18.1	22.1	3.5	100	90	80	—
	PSOT12	18.1	22.1	3.5				

klasyfikacji niezgodności spawalniczych i poziomów jakości wykonania zawartych w normach PN-EN-ISO 6520, PN-EN-ISO 25817, generalnie poziomowi jakości C, i taki został przyjęty w dalszych rozważaniach.

Charakterystyki zmęczeniowe zaczerpnięto z normy ISO-

-20332. Zawarty w niej system klasyfikacji węzłów (złączy) spawanych odpowiada ostatniej propozycji Międzynarodowego Instytutu Spawalnictwa wprowadzonej powszechnie, zarówno przez ISO jak i przez CEN. Jest on zamieszczany w coraz to większej liczbie norm (np. EN 13001). W normie ISO 20332



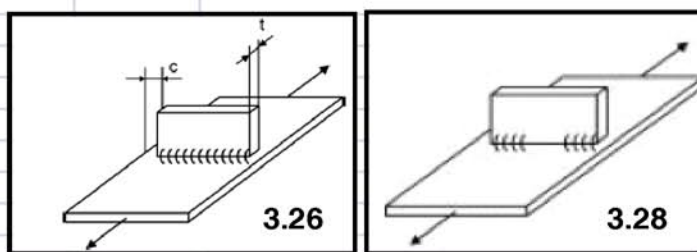
Rys. 4. Kategorie korbów wg normy ISO 20332. Ich lokalizacja w PSOT. RZKB*, RZKB, RZKC, RZKD, - wytrzymałość zmęczeniowa złącza spawanego, poziomy jakości wykonania: B*, B, C, D

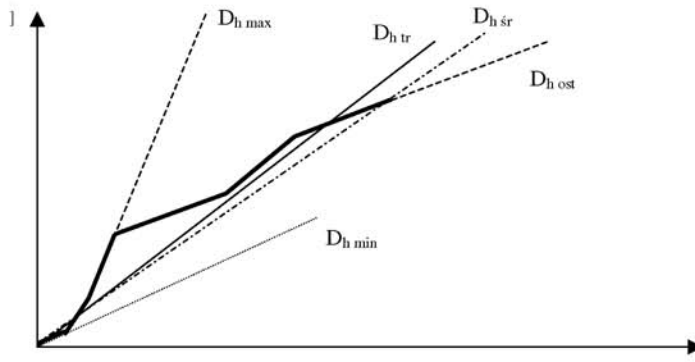
Fig. 4. Categories of notches according to ISO 20332 standard. Their localization in PSOT. RZKB*, RZKB, RZKC, RZKD, - fatigue strength

Tab. 2. Charakterystyki zmęczeniowe węzła PSOT 10. Pełny zakres

Tab. 2. Fatigue characteristics of PSOT 10 knot. Full range

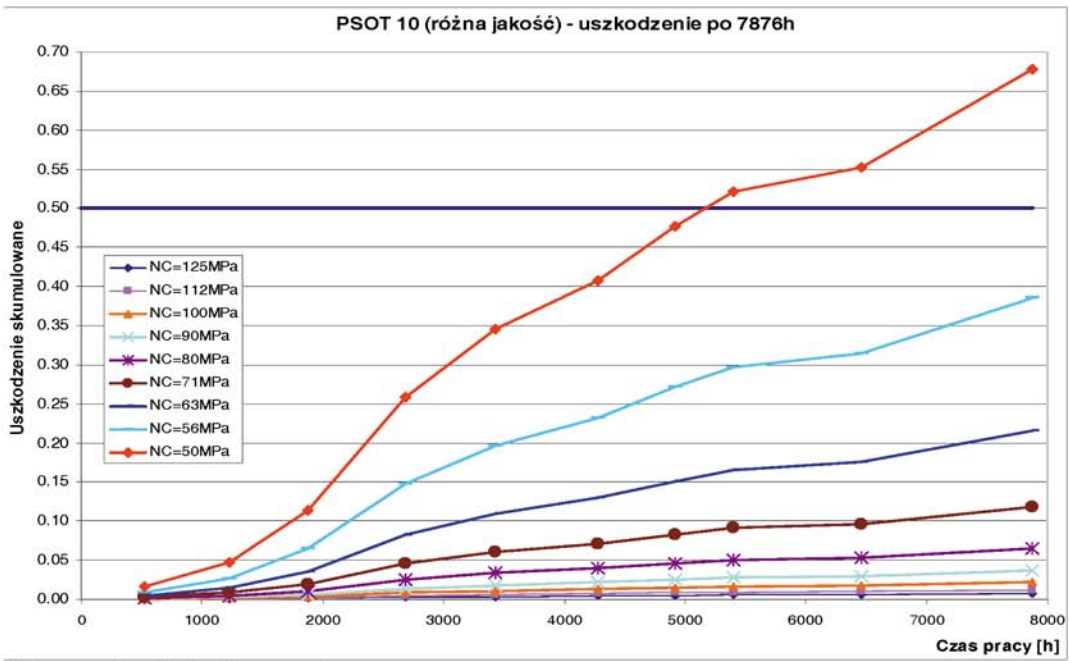
PSOT 10				
Uszkodzenie i prognozowana trwałość w funkcji jakości wykonania				
Karb 3.26 wg ISO 20332-1				
Podwójna spoina pachwinowa, żebro poprzeczne				
NC - Wytrzymałość zmęczeniowa na bazie $2 \cdot 10^6$ cykli				
L.P.	NC	Poziom	Dodatkowe uwarunkowania	Uwagi
1	125	B*	Spoina typu K zamiast podwójnej pachwinowej	
2	112	B*	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla B*
3	100	B*	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$	
4	90	B*	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$, odległość $c < 10\text{mm}$	
5	112	B	Spoina typu K zamiast podwójnej pachwinowej	
6	100	B	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla B
7	90	B	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$	
8	80	B	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$, odległość $c < 10\text{mm}$	
9	71	B	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej	
10	63	B	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej, $c < 10\text{mm}$	
11	100	C	Spoina typu K zamiast podwójnej pachwinowej	
12	90	C	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla C
13	80	C	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$	
14	71	C	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$, odległość $c < 10\text{mm}$	
15	71	C	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej	
16	63	C	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej, $c < 10\text{mm}$	
17	90	D	Spoina typu K zamiast podwójnej pachwinowej	
18	80	D	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla D
19	71	D	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$	
20	63	D	Grubość żebra $t < 12\text{mm}$, odległość $c < 10\text{mm}$	
21	63	D	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej	
22	56	D	Pojedyńcza spoina zamiast podwójnej, $c < 10\text{mm}$	
Rozpiętość NC:		56 - 125 MPa		
		56,63,71,80,90,100,112,125		
Można wykonać też jako:				
Karb 3.28 wg ISO 20332-1				
Spoina pachwinowa, żebro poprzeczne, spawanie odcinkami				
NC - Wytrzymałość zmęczeniowa na bazie $2 \cdot 10^6$ cykli				
23	63	C	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla C
24	50	D	Brak. Uwarunkowania podstawowe.	Podstawowa dla D
Rozpiętość NC (łącznie):		50 - 125 MPa		
		50,56,63,71,80,90,100,112,125		

Uwaga: $NC = R_{ZK}$



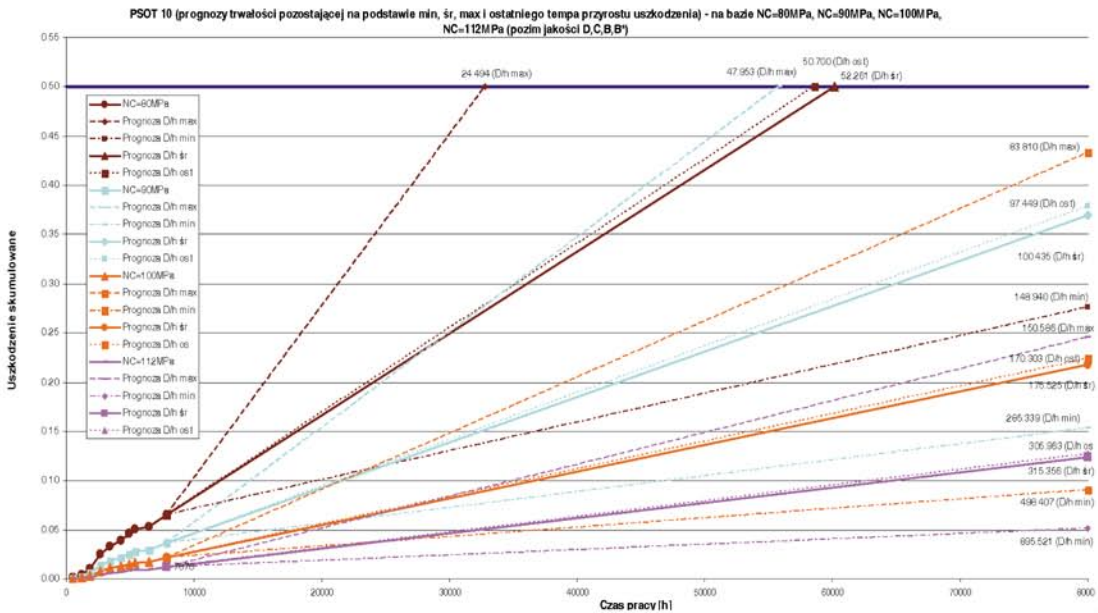
Rys. 5. Intensywności obciążeń: max – D_{hmax} , min – D_{hmin} , trendu ogólnego – D_{htr} , średnia – D_{hsr} , ostatniego okresu akwizycji – D_{host} . Oceniane poprzez gradient przyrostu uszkodzenia D

Fig. 5. Intensity of loads: max- D_{hmax} , min- D_{hmin} , main trend- D_{htr} , average- D_{hsr} , the last period of acquisition- D_{host} . Assessed with the gradient of damage incensement D



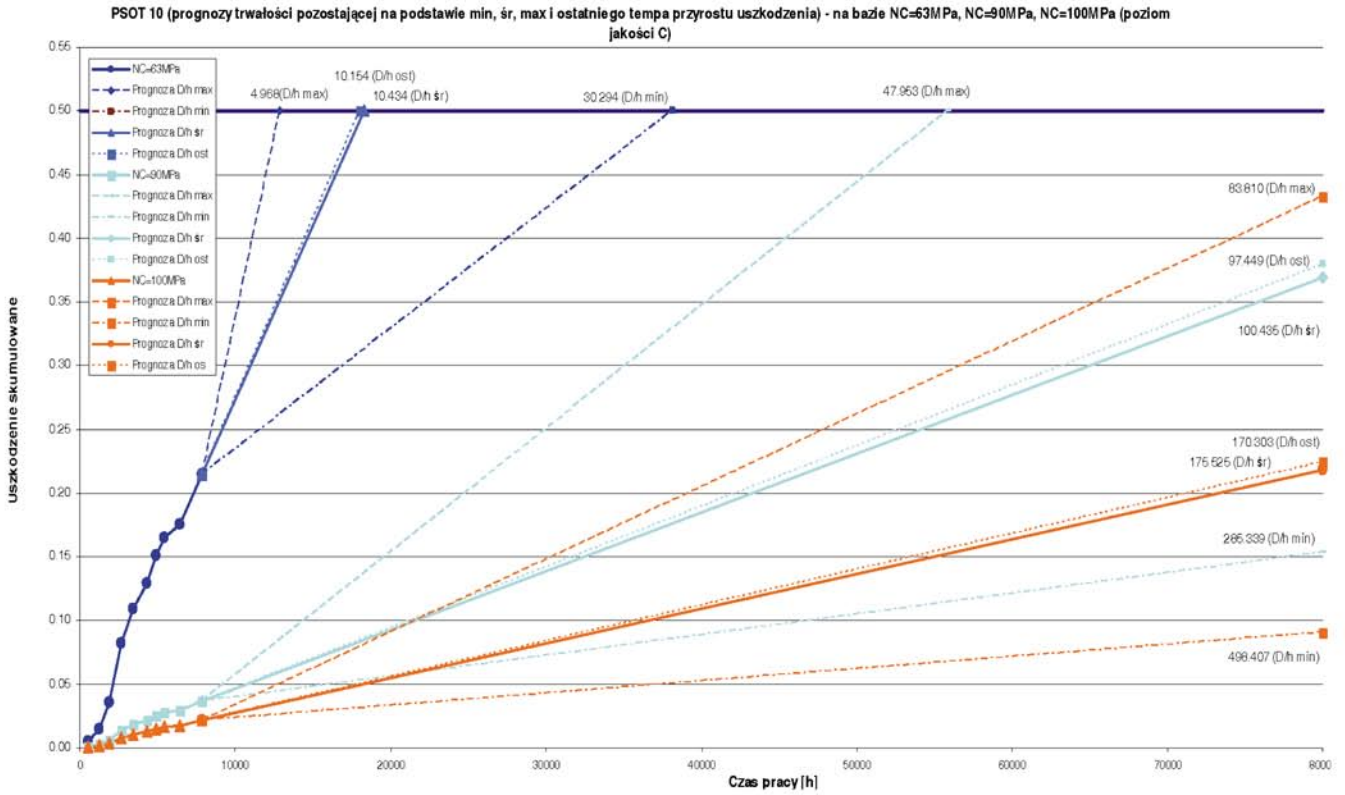
Rys. 6. PSOT10. Narastanie uszkodzenia zmęczeniowego

Fig. 6. PSOT 10. Increase of fatigue damage

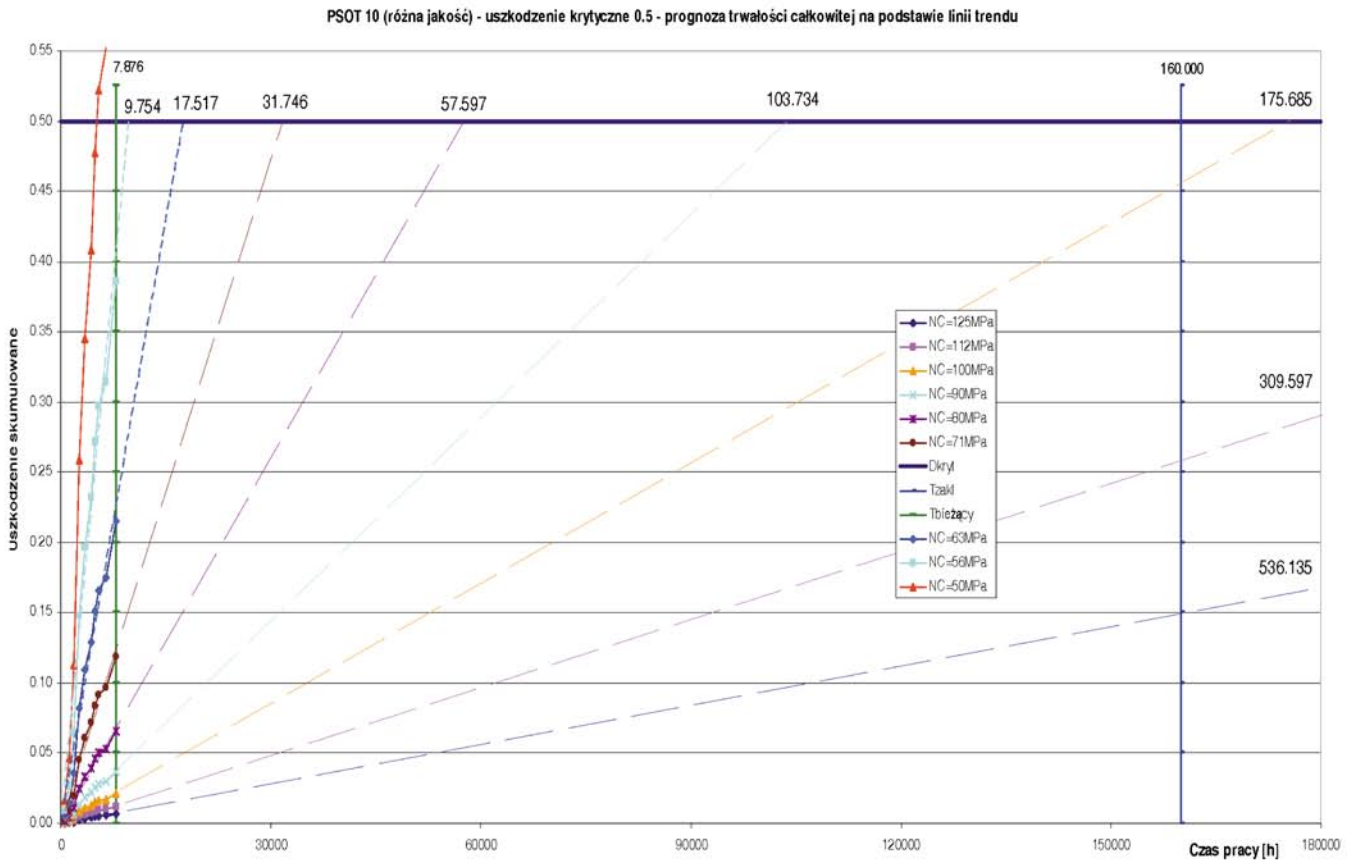


Rys. 7. PSOT10. Prognoza trwałości zmęczeniowej pozostającej (dla danych jak w nagłówku)

Fig. 7. PSOT 10. Prognosis of remaining fatigue life (for data equal as in the heading)

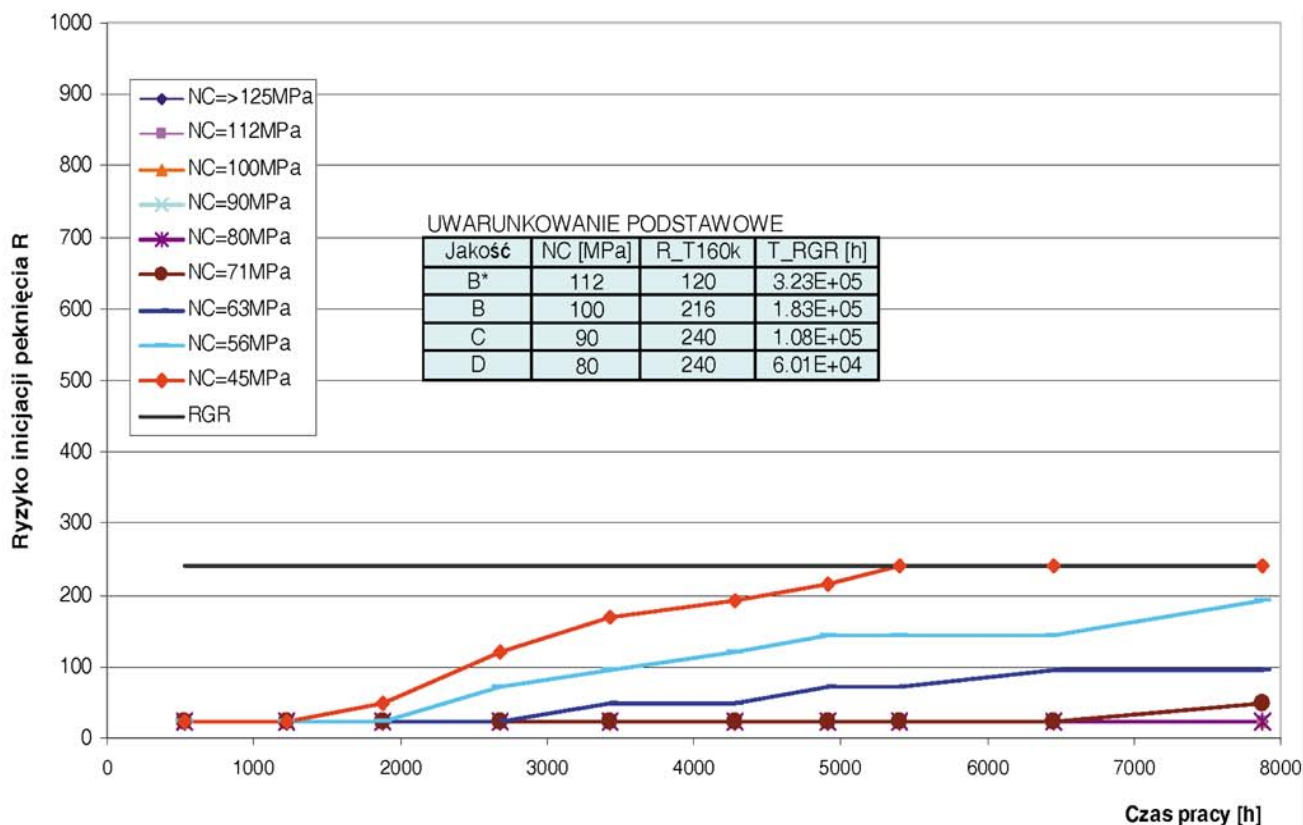


Rys. 8. PSOT10. Prognoza trwałości zmęczeniowej pozostającej (dla danych jak w nagłówku)
 Fig. 8. PSOT 10. Prognosis of remaining fatigue life (for data equal as in the heading)



Rys. 9. PSOT10. Prognoza trwałości zmęczeniowej całkowitej (dla danych jak w nagłówku)
 Fig. 9. PSOT 10. Prognosis of total fatigue life (for data equal as in the heading)

PSOT 10 (różna jakość) - ryzyko po 7876h



Rys.10. Ryzyko inicjacji pęknięcia zmęczeniowego dla uwarunkowań wytrzymałościowych podstawowych i minimalnych
 R_{T160k} – wartość ryzyka przy zasobie eksploatacyjnym 160 000 [h]

$T_{RGR}[h]$ – zasób eksploatacyjny odpowiadający granicznej wartości ryzyka - R_{GR}

Fig.10. Risk of fatigue cracking initiation for basic and minimal strength conditions

R_{T160k} - risk value for exploitation reserves of 160 000[h]

$T_{RGR}[h]$ – exploitation resources equal to risk limits - R_{GR}

zastosowano także ten system klasyfikacji jakości wykonania złączy spawanych, proponowany w normie PN-EN-ISO 25817. Z tej racji norma ISO 20332 przyjęta została jako źródło danych dotyczących wytrzymałości zmęczeniowej.

Tabela 1 zawiera lokalizację i oznaczenie PSOT, klasyfikację kategorii karbu – złącza spawane - występującego w danym PSOT, wykonaną według trzech norm oraz odpowiadające im wytrzymałości zmęczeniowe, uwzględniające poziom jakości wytwarzania, zaczerpnięte z normy ISO 20332.

Opisaną sytuację przedstawiono poglądowo na tle maszyny na rysunku 4.

Ocena zasobu i ryzyka

Zakres projektanta

Oszacowanie zasobu eksploatacyjnego oraz technicznego ryzyka użytkownika prowadzone jest w oparciu o znajomość charakterystyk wytrzymałości zmęczeniowej złączy spawanych – zaczerpniętych z normy ISO 30232 oraz opisu intensywności obciążeń, zapisanej pod postacią widm obciążeń – opisanych za pomocą rozkładu statystycznego BETA – pochodzących z rejestracji czynnej w trakcie pierwszych 7876 godzin użytkowania (tab. 1, rys. 2, 3). Oszacowania dokonano posługując się narzędziem (programem obliczenio-

wym) ZASE-WC-QW-IN uwzględniającym w ujęciu łącznym, tak jakość wytwarzania złącza spawanego jak i eksploatacyjną intensywność obciążeń.

Szacowanie wykonane dla wszystkich 12 PSOT-ów tu, przykładowo, pokazane zostało dla PSOT 10. Jest to usztywniające żebro poprzeczne przyspawane do pasa w dwuteowniku. Pełny zakres charakterystyk zmęczeniowych takiego węzła zamieszczony został w tabeli 2 w ujęciu normy ISO 20322. Przebieg charakterystyk zależy głównie od jakości wykonania złącza – poziomy jakości oznaczane: B*, B, C, D oraz czynników dodatkowych określanych w tabeli 2 opisowo. Tworzą one szerokie tło możliwości wytrzymałościowych dla rozważań prowadzonych przez projektanta. Za charakterystyczne uznane zostały te, określane jako podstawowe (reprezentacyjne dla danego poziomu jakości), oraz maksymalne i minimalne, stanowiące ograniczenia górne i dolne zakresu wytrzymałości zmęczeniowej. Zamieszczone zostały osobno w tabeli 3. Natomiast intensywność obciążeń, rozpoznawana przez 7876 godzin ciągłych pomiarów eksploatacyjnych, przyjęto na czterech poziomach określanych jako: maksymalna – D_{hmax} , minimalna – D_{hmin} , średnia – D_{hsr} , trendu ogólnego – D_{hit} , ostatniego okresu akwizycji – D_{host} , jak poglądowo przedstawiono na rysunku 5.

Tab. 3. Wytrzymałość zmęczeniowa R_{ZK}
 Tab. 3. Fatigue strength R_{ZK}

Poziom jakości	Wytrzymałość zmęczeniowa R_{ZK}		
	min	podst	max
B*	90	112	125
B	63	100	112
C	63	90	100
D	50	80	90

Posługując się programem ZASEWC w ujęciu zintegrowanym QW+IN (obejmującym łącznie jakość wytwarzania złączy spawanych i intensywność obciążeń eksploatacyjnych) projektant może otrzymać zobrazowanie udziału tych czynników w tworzeniu zmęczeniowego zasobu eksploatacyjnego, na tle przyjętej formy konstrukcyjnej węzła. Rezultaty tych analiz przedstawione zostały na rysunkach 6, 7, 8, 9. Dotyczą zawsze PSOT 10.

Na rysunku 6 ukazano narastanie uszkodzenia zmęczeniowego w zależności od jakości wytwarzania złączy spawanych w całym zakresie zmian charakterystyk zmęczeniowych według tabeli 2.

Prognozy trwałości pozostającej, dotyczące czterech intensywności obciążeń D_{hmin} , D_{hmax} , D_{hr} , D_{host} oraz czterech poziomów jakości wykonania B*, B, C, D zawiera rys. 7.

Analogiczne informacje ograniczone jedynie do zmian w zakresie poziomu C (tab. 2) zawiera rysunek 8.

Na rysunku 9 ukazano docelowy efekt prognozowania trwałości zmęczeniowej w odniesieniu do wymaganego ZE – wynoszącego 160 000 godzin, dla jednej intensywności obciążeń – D_{hr} .

Z kolei, szacując ryzyko należy określić ciężkość zagrożenia pęknięciem zmęczeniowym – C_i oraz dostępność do miejsca zainicjowania pęknięcia – D_o , podyktowaną względami diagnostycznymi. Ocena obydwu tych wielkości, poprzez PSOT 1-12, dokonana przez projektanta, przedstawiona została w tabeli 4 za pomocą liczb priorytetowych.

Tab.4. Oszacowanie C_i , D_o . Liczby priorytetowe
 Tab. 4. Assessment C_i , D_o . Priority numbers

PSOT	Ciężkość C_i	Dostępność D_o
1, 2, 3, 4	8	2
5, 7	7	5
6, 8	4	6
9, 10	8	3
11, 12	10	8

Zakres zmiany liczb priorytetowych odnośnie C_i oraz D_o przyjęty został jako 1÷10. Przyjmując ten sam zakres dla uszkodzenia zmęczeniowego D_{WC} (D_{MP}) (tabela w [1]) otrzymujemy zakres zmiany ryzyka 1÷1000, według zależności z [1]. Dla rozpatrywanego węzła – PSOT 10 ryzyko graniczne R_{GR} osiąga $10 \times 8 \times 3 = 240$.

Na rysunku 10 przedstawione zostały rezultaty szacowania ryzyka R, w zakresie fazy inicjacji pęknięcia zmęczeniowego, dotyczące PSOT 10. Na rysunku tym podano także, w tabelach:

- spodziewany poziom ryzyka R_{T160k} osiągany po 160 000 godzin użytkowania, oraz
- zasób eksploatacyjny $T_{R_{GR}}$ odpowiadający granicznej

wartości ryzyka R_{GR} , zaznaczony poziomą linią ciągłą.

Powyższe dane podawane są w funkcji poziomów jakości B*, B, C, D wykonania złączy spawanych, przy uwarunkowaniach podstawowych i minimalnych według tabeli 2.

Ilustracja oszacowania ryzyka przedstawiona została w ujęciu zbiorczym, na tle maszyny, na rysunku 11. Zawarte tam informacje dotyczą granicznego poziomu ryzyka dla założonego zasobu eksploatacyjnego $ZE=160\,000$ godzin oraz zasobu eksploatacyjnego odpowiadającego wartości ryzyka granicznego R_{GR} .

W powyższy sposób, posługując się narzędziami ZASE WC QW IN oraz ZASE WC, należącymi do metody MOZER, określone zostały zasób eksploatacyjny i ryzyko zaistnienia pęknięcia zmęczeniowego w rzeczywistym czasie, w miarę napływających z systemu akwizycji obciążeń informacji. Na ich podstawie można oceniać bieżący stan degradacji, danego indywidualnego obiektu, prowadzić jego eksploatację według strategii stanu technicznego, podejmować ustalenia o przeglądach, odnowach, modernizacjach, kasacji. A w dalszym horyzoncie czasowym budować założenia dla postaci konstrukcyjno-technologicznej nowej generacji wyrobu.

Zakres eksploatora - inicjacja

Eksploator na podstawie analizy, dokonanej za pomocą narzędzia ZASE WC IN, wykorzystując dane o intensywności wytężenia zarejestrowane w ciągu pierwszych 7867 godzin użytkowania koparki, uzyskał obraz dotyczący zmęczeniowego zasobu eksploatacyjnego w poszczególnych PSOT 1÷12 jak ukazuje tabela 5.

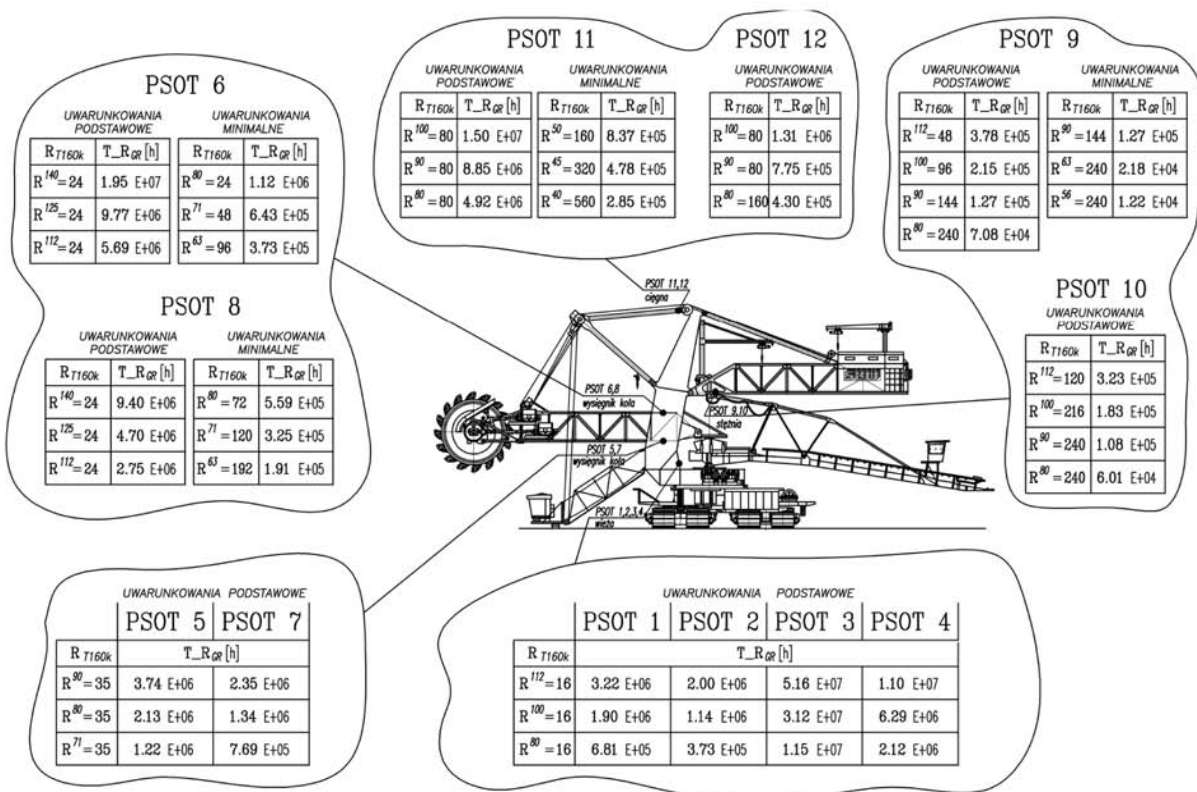
Zawarte w niej rezultaty dotyczą średniej intensywności. Zasób może być szacowany również dla intensywności max, min lub charakterystyczny dla ostatniego przedziału rejestracji. Najszybciej proces degradacji zmęczeniowej przebiega w PSOT 9 i PSOT 10. Aktualnie, po 7876 godzinach użytkowania maszyny, wyczerpano 6.2% szacowanego zasobu eksploatacyjnego w PSOT 9 i 7.2% w PSOT 10. Prognozując, według średniej intensywności obciążenia, gdy w PSOT 10 dojdzie do 100% wykorzystania zasobu, będzie to odpowiadało $7876 + 100358 = 108\,234$ godzinom użytkowania, analogicznie w PSOT 9 114 035 godzinom. W obydwu węzłach nie zostanie spełniony wymóg trwałości – wymagany zasób eksploatacyjny został określony na 160 000 godzin. W pozostałych węzłach PSOT 1÷8 oraz PSOT 11 i 12 prognozowany zasób eksploatacyjny znacznie przekracza wymagany.

Sytuacje szybkiego wyczerpywania zasobu eksploatacyjnego w PSOT 9 i 10 dobrze ilustruje rysunek 12, odniesiony do okresu rejestracji obciążenia 7876 godzin. Na kolejnym rysunku 13 ukazana jest prognoza wyczerpywania zasobu w zakresie wymaganym, aż do 160 000 godzin, dla PSOT 9 i 10 przy trzech poziomach intensywności obciążeń użytkowych maksymalnym, średnim i ostatniego przedziału czasowego rejestracji. Przebieg zmian ryzyka, tylko w okresie pomiarowym, ilustruje – poprzez PSOT 1÷12 rysunek 14.

Zakres eksploatora - propagacja

Ilustracja stosowania metody MOZER w zakresie PEXEX w fazie rozwoju pęknięcia zmęczeniowego, została jedynie zasymulowana, bowiem nie doszło jeszcze do jego zainicjowania.

Dwie sytuacje mogą powodować konieczność prognozowania czasu bezpiecznej eksploatacji, czynioną za pomocą



Rys.11. Rezultaty oszacowania ryzyka
Fig. 11. Results of risk assessment

Tab. 5. Trwałość pozostająca. Oszacowanie według ZASE WC IN
Tab. 5. Remaining life. Assessment according to ZASE WC IN

PSOT	(Dbież/Dkryt)*100%		Dbież	Dkryt	Tpoz (śr) [h]
1	1.1%	14.6%	0.00578	0.5	677 013
2	2.1%	26.9%	0.01055	0.5	365 261
3	0.07%	0.8%	0.00034	0.5	12 491 500
4	0.37%	4.6%	0.00185	0.5	2 165 869
5	0.65%	8.22%	0.00323	0.5	1 211 634
6	0.03%	1.81%	0.00068	0.5	5 547 999
7	1.0%	13.04%	0.00512	0.5	761 353
8	0.29%	3.61%	0.00144	0.5	2 769 777
9	6.2%	79.08%	0.0310	0.5	119 035
10	7.27%	100%	0.03635	0.5	100 358
11	0.11%	2.0%	0.00054	0.5	4 994 600
12	1.25%	23.2%	0.00627	0.5	425 629

■ - Dbież/Dkryt po 7876h eksploatacji

■ - Dbież/Dkryt w momencie prognozowanego osiągnięcia Dkryt przez PSOT 10

narzędzia ZASE MP:

- pęknięcie przedwczesne, zaistniałe przed upływem czasu szacowanego za pomocą narzędzia ZASE WC,
- pęknięcie nie pojawiło się nawet po upływie tak prognozowanego czasu eksploatacji.

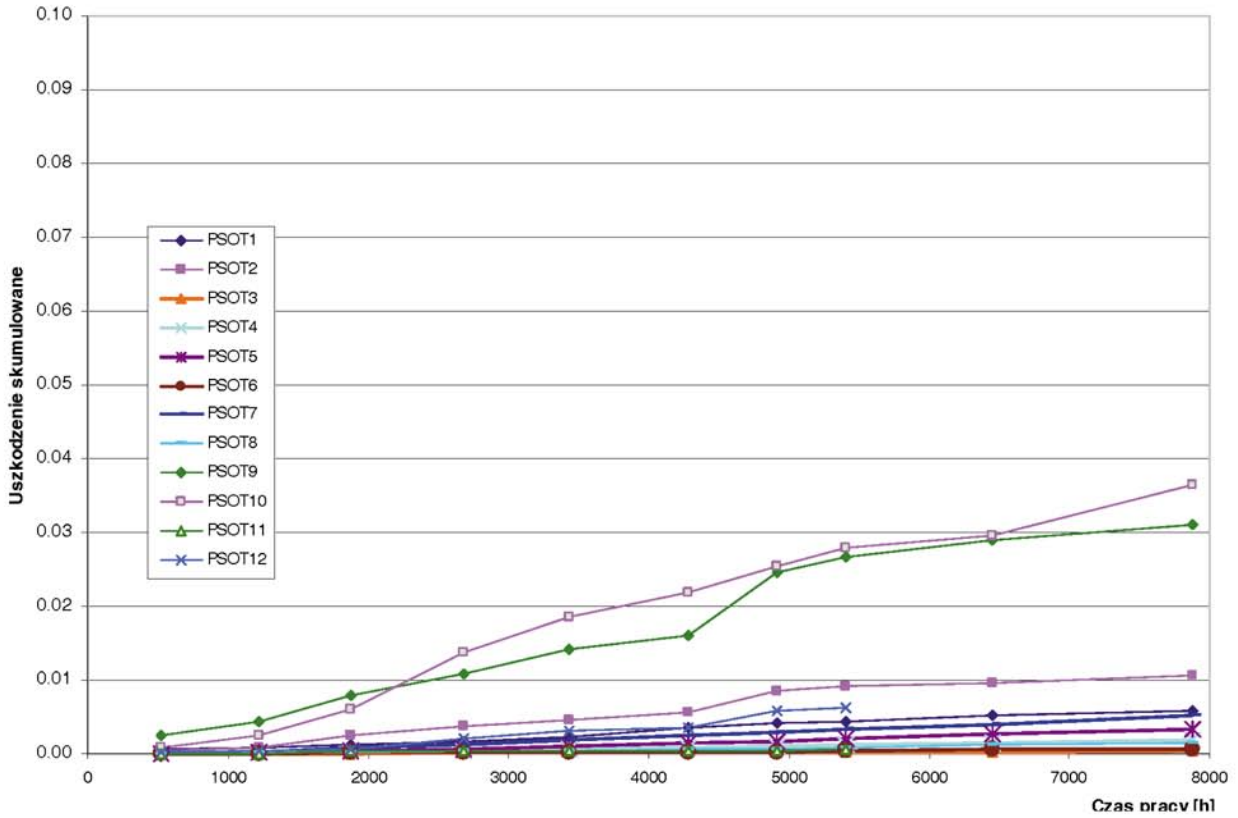
Dla celów symulacji założone zostało, że w węźle PSOT 10 (żebro poprzeczne) zainicjowało się pęknięcie zmęczeniowe. W trakcie zdiagnozowania jego obecności, długość pęknięcia wynosiła 2c=10 mm, a jego głębokość a=3 mm (półeliptyczne pęknięcie powierzchniowe) (rys. 15). Końcowy wymiar pęknięcia – a_k został określony, w tym przypadku, jako odpowiadający grubości elementu – t=12 mm. W ogólności może on być limi-

nowany zagrożeniem ze strony kruchej pęknięcia konstrukcji, będącego skutkiem przekroczenia odporności materiału na kruche pęknięcie. Przyjęcie takiego założenia, w rozpatrywanym przypadku najbardziej przystającego do analizowanej sytuacji (rodzaj obiektu, warunki jego eksploatacji) może zaowocować znacznie większymi, bezpiecznymi długościami pęknięć.

Rezultaty analiz rozwoju pęknięcia czynionych w ramach trzeciej pętli EPD za pomocą narzędzia ZASE MP przedstawione zostały w tabeli 6 i na rysunku 16.

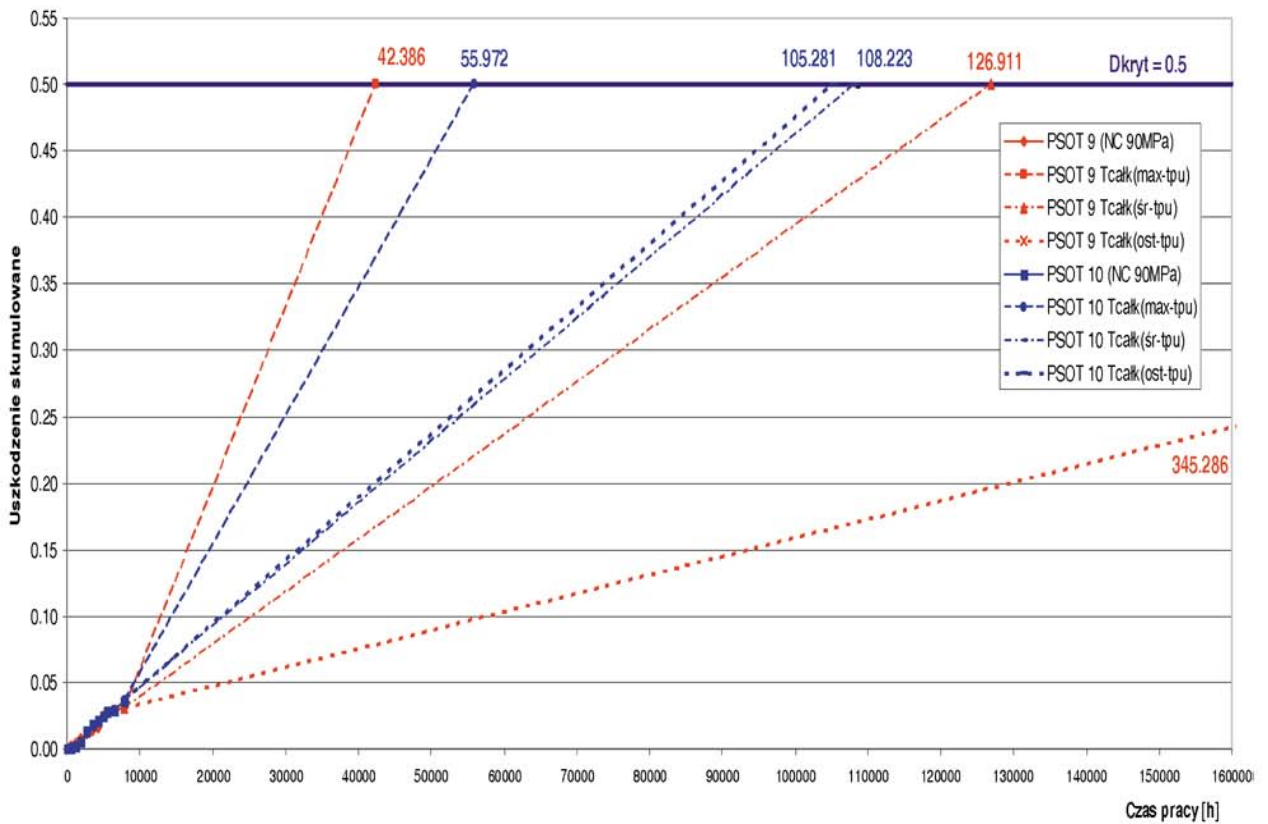
Przy powyższych założeniach prognozowany czas eksploatacji, w fazie rozwoju pęknięcia zmęczeniowego wyniósł 6 700

PSOT 1-12 - uszkodzenie po 7876 (5403) h



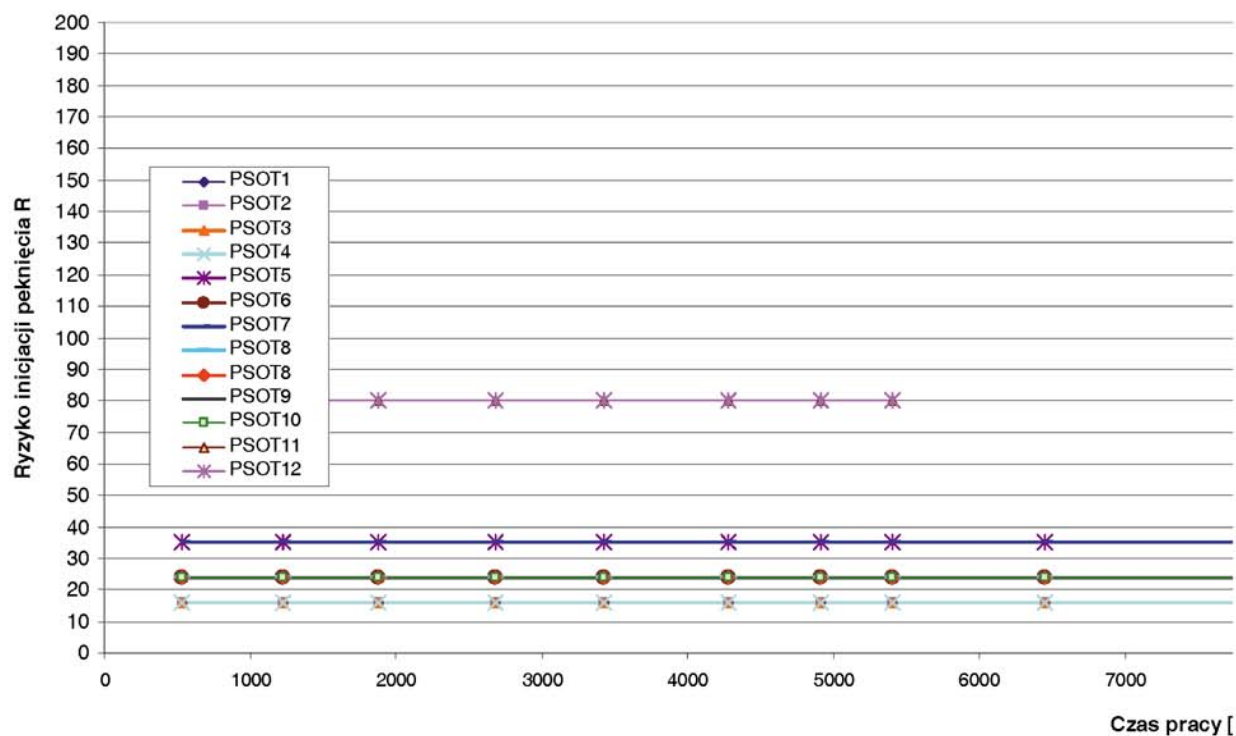
Rys. 12. Przebieg uszkodzenia zmęczeniowego dla wszystkich PSOT koparki. Wyraźnie widoczny szybki przyrost uszkodzenia w PSOT 9 i 10
 Fig. 12. Run of fatigue damage for all PSOT of an excavator. Clearly visible increase of damage in PSOT 9 and 10

PSOT 9 i 10 - Przebieg uszkodzenia zmęczeniowego



Rys. 13. Przebieg uszkodzenia zmęczeniowego dla PSOT 9 i 10 koparki
 Fig. 13. Run of fatigue damage for PSOT 9 and 10 of an excavator

PSOT 1-12 - ryzyko po 7876 (5403) h



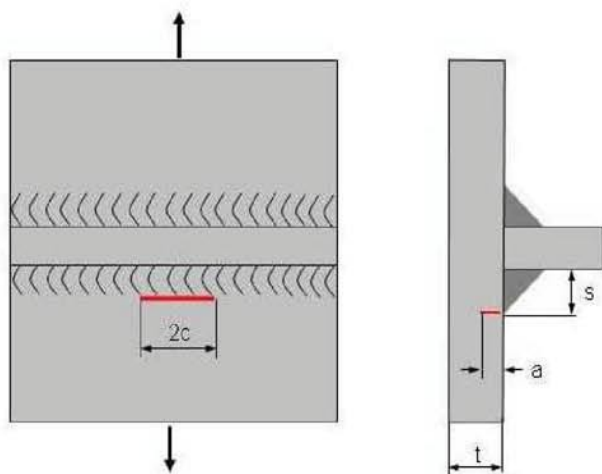
Rys.14. Przebieg ryzyka dla wszystkich PSOT koparki
Fig. 14. Run of risk for all PSOT on an excavator

Tab. 6. Rozwój pęknięcia zmęczeniowego
Tab. 6. Increase of fatigue cracking

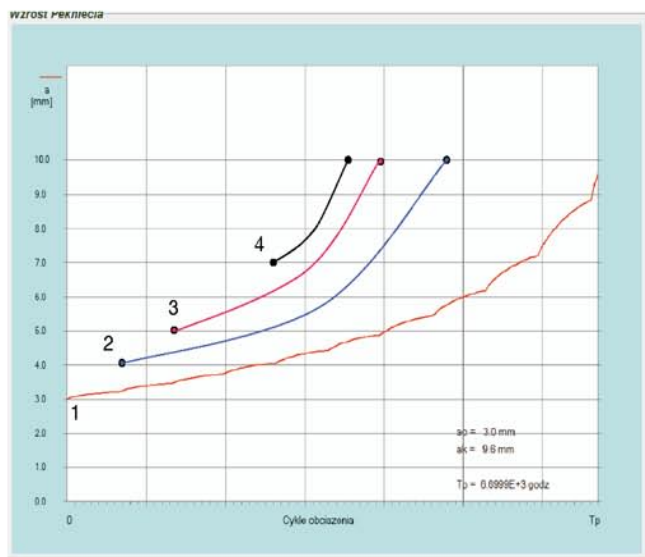
Inspekcja nr	a [mm]	c [mm]	a/c	T_p [h]	T_r [h]	Ryzyko
1	3	5	0.6	6 700	662	72
2	4	8	0.5	4 130	662	96
3	5	10	0.5	2 660	1 324	120
4	7	20	0.35	830	662	192

T_p – prognozowany czas eksploatacji

T_r – czas rewizji



Rys. 15. Lokalizacja i wymiary początkowe zasymulowanego pęknięcia zmęczeniowego
Fig. 15. Localization and initial dimensions of simulated fatigue cracking



Rys.16. Symulacja wzrostu pęknięcia dla różnych wymiarów początkowych
Fig. 16. Simulation of cracking increase for different initial values

godzin, jego wyczerpywanie, towarzyszące temu jednoczesne narastanie ryzyka, czynione w nadzorze inspekcji dokonywanych co 662 godziny ukazuje tabela 6, a przebieg wzrostu pęknięcia rysunek 16.

Podsumowanie

Prowadzenie analiz w przedstawionym ujęciu wymaga posiadania wiedzy i umiejętności z pogranicza obszarów projektowania i eksploatacji, także zrozumienia procesów wytwórczych konstrukcji nośnej.

W przedstawionej procedurze postępowania stosowane są narzędzia pochodzące ze sfery projektowania, ale wymagające dość szerokiego wsadu danych pochodzących z obszaru eksploatacji. Powoduje to, że realizacja procedury, przynajmniej w jej zakresie ocenowym, powinna być realizowana przez projektanta, jako osobę bardziej rozumiejącą specyfikę prowadzenia oszacowań dotyczących trwałości zmęczeniowej i wywołującego z niej ryzyka technicznego użytkowania, mimo że, obydwie wielkości są bardzo mocno osadzone w nurcie eksploatacji.

Ponadto, uwaga typowego eksploatatora (w dobrym tego

słowa znaczeniu) jest nakierowania, i nadmiernie obciążona, postępowaniami chwili bieżącej, dnia dzisiejszego, bardzo płytkiego horyzontu czasowego.

Osobny problem stanowi zakładana możliwość obecności pęknięcia zmęczeniowego, jako zjawiska dopuszczalnego - tolerowanego w trakcie użytkowania maszyny. Oczywiście w takiej sytuacji, rozwój pęknięcia podlega nadzorowi diagnostycznemu. Dotyczy ściśle określonych, na drodze mechaniki pękania, granic, w obawie przed jego nagłym niekontrolowanym wzrostem.

To zaaprobowanie istnienie pęknięcia wymaga jeszcze poważnych zmian w mentalności projektanta, eksploatatora, a głównie managerów.

Dalszy problem to odbudowa uszkodzonej pęknięciem konstrukcji. Współcześnie można tego dokonać nawet do poziomu przewyższającego stan pierwotny – w zakresie wytrzymałości zmęczeniowej. Tak się już postępuje na świecie w odniesieniu do tej specyficznej grupy obiektów.

Artykuł powstał w ramach Projektu Rozwojowego Nr 03 0039 06.

Literatura

- [1] Jakubczak H., Jankowiak A., Kowalczyk M., Sobczykiewicz W., Techniczne podstawy zarządzania ryzykiem zagrożenia pękaniem zmęczeniowym konstrukcji nośnych maszyn roboczych wytwarzanych jednostkowo, *Górnictwo Odkrywkowe* nr 4-5, 2011

Artykuł recenzowali prof. dr hab. inż. Dionizy Dudek

dr hab. inż. Tadeusz Nowakowski, prof. PWr

*Rękopis otrzymano 11.08.2011 r. *2230*



Cykl: prolog do konstrukcji...