

Typoszereg hydraulicznych młotów wolnospadowych z bezstopniową regulacją energii uderzenia¹

Series of hydraulic falling hammers with infinitely variable adjustment of strike energy

ROBERT DOROCIAK
ANDRZEJ BARSZCZ
RYSZARD NADOWSKI

Streszczenie: W artykule przedstawiono opracowanie dotyczące konstrukcji, wdrożonego do produkcji seryjnej, typoszeregu młotów wolnospadowych z napędami hydraulicznymi. Konstrukcja urządzeń pozwala na ich montaż na stosowanych w kraju wiertnicach pionowych i palownicach o określonych parametrach, oraz zasilanie z układów hydraulicznych tych maszyn lub z zewnętrznych agregatów. Nowa rodzina młotów wolnospadowych napędzanych hydraulicznie pozwoli na ograniczenie stosowania wysoce nieekologicznych młotów wolnospadowych spaliniowych, z otwartymi komorami spalania.

Słowa kluczowe: młoty wolnospadowe, napędy hydrauliczne, wbijanie pali

Abstract: The article presents a design and implementation into production series of hammers with hydraulic drives. Hammer's design allows for their installation on widely used in Poland vertical drilling rigs and piling devices with given technical specifications, as well as it allows to power them from hydraulic units of base machines, or from external units. A new family of hydraulically driven free falling hammers will limit the use of non ecological gas driven free falling hammers equipped with open combustion chambers.

Keywords: falling hammers, hydraulic drives, pile driving

Dotychczas w Polsce były stosowane młoty wolnospadowe z napędami spaliniowymi, które cechują się wysoką emisją zanieczyszczeń do środowiska naturalnego (nieoczyszczzone spaliny, wysoki poziom hałasu zespołu napędowego). Nie produkowano natomiast młotów wolnospadowych wyposażonych w dynamiczny układ hydrauliczny. Na rynku dostępne były jedynie drogie urządzenia producentów zachodnich. W odpowiedzi na sytuację rynkową pracownicy Biura Projektowo-Handlowego „BIPROMASZ” Mieczysław Gorzoch we współpracy z pracownikami Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego opracowali i wdrożyli nowy typoszereg młotów wolnospadowych. Przeprowadzone prace badawcze i rozwojowe pozwoliły na

wdrożenie do produkcji seryjnej typoszeregu młotów wolnospadowych wyposażonych w dynamiczny układ hydrauliczny, o masach bijaków 600, 1500 i 2800 kg. Młoty – jako osprzęty robocze maszyn hydraulicznych – są stosowane do prac związanych ze stabilizacją gruntu, wbijania kształtowników i rur stalowych, jak również różnego rodzaju pali betonowych, stalowych i drewnianych, a także przy pracach palowniczych nadbrzeżnych, w groblach, nasypach, szybach itd. Stanowią nowoczesny typoszereg wyrobów spełniających wymagania obowiązujące na terenie Unii Europejskiej.

Analiza pracy młota grawitacyjnego

Opadający z prędkością v_1 bijak młota o masie m_1 uderza w głowicę pala zabezpieczoną kołpakiem. Zakładając, że normalna zderzenia przechodzi przez środek masy bijaka i pala oraz że wektory prędkości punktów zetknięcia mają kierunek normalnej zderzenia, a więc rozpatrując zderzenie proste, można przyjąć, że prosta określająca kierunek wektora prędkości bijaka przechodzi przez środek masy pala i bijaka. Przypadek taki opisują powszechnie znane zależności²:

$$v_1' = \frac{(m_1 - km_2)v_1 + (1+k)m_2v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v_2' = \frac{(m_2 - km_1)v_1 + (1+k)m_1v_1}{m_1 + m_2}$$

$$u = \frac{1}{m_1 + m_2}(m_1v_1 + m_2v_2)$$

¹ Nowy typoszereg młotów wolnospadowych powstał w ramach współpracy pomiędzy Biurem Projektowo-Handlowym „BIPROMASZ” Mieczysław Gorzoch a Instytutem Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego jako wynik realizacji projektu celowego ROW-III-288/2012 dofinansowanego przez Centrum Innowacji NOT pt. „Typoszereg młotów wolnospadowych wyposażonych w dynamiczny układ hydrauliczny i zespół udarowy o bezstopniowej regulacji energii udaru”

Inż. Robert Dorociak – Zakład Mechanizacji Budownictwa, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: r.dorociak@imbigs.pl; mgr inż. Ryszard Nadowski – Zakład Mechanizacji Budownictwa, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: r.nadowski@imbigs.pl; mgr inż. Andrzej Barszcz – Zakład Mechanizacji Budownictwa, Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, ul. Racjonalizacji 6/8, 02-673 Warszawa, e-mail: a.barszcz@imbigs.pl.

² Wynikające z zasady zachowania pędu.

gdzie:

- v_1 – prędkość ciała o masie m_1 przed zderzeniem,
- v_2 – prędkość ciała o masie m_2 przed zderzeniem,
- $v_1 > v_2$,
- u – wspólna prędkość ciał w chwili wzajemnego styku,
- v'_1, v'_2 – prędkości tych ciał po zderzeniu,
- k – współczynnik restytucji.

W przypadku uderzenia bijaka o wbijany element zachodzi zależność: $v_2 = 0$, zaś relacje pomiędzy prędkościami v'_1 i v'_2 po zderzeniu zależą od stosunku m_1/m_2 oraz strat energii na odkształcenia, wyrażonej współczynnikiem restytucji. Uwzględniając fakt, że bijak powinien przekazywać wbijanemu elementowi jak największą część swojej energii, nie może po uderzeniu odbijać się od niego. W praktyce wyraża się to zaleceniem, że m_2 powinno być mniejsze od $1,5 m_1$.

Maksymalną sprawność młota, wynikającą z charakteru jego pracy (uderzenia), określić można następująco:

$$\eta_u = \frac{E_2}{E_1}$$

gdzie:

- E_1 – energia bijaka w momencie uderzenia,
- E_2 – energia nadana uderzonemu elementowi.

W celu zilustrowania zagadnienia przeanalizowany zostanie przykład dla modelu badawczego młota wolnospadowego o następujących parametrach:

- masa czynna bijaka modelu młota – $m_1 = 150$ kg,
- masa wbijanego pala – $m_2 = 225$ kg,
- wysokość podnoszenia bijaka – $h = 1,2$ m (wynika z doświadczeń konstrukcyjnych producentów młotów wolnospadowych).

Ze znanych zależności wiążących prędkość spadku swobodnego z wysokością podnoszenia wynika, że uderzenie bijaka w pal następuje (pomijając opory ruchu) z prędkością wynoszącą $v_1 = 4,9$ m/s, a w chwili kontaktu prędkość pala ma wartość $v_2 = 0$ m/s. Przyjmując, że współczynnik restytucji k ma w tym przypadku wartość równą 0,8, otrzymuje się:

$$u = \frac{1}{m_1 + m_2} (m_1 v_1 + m_2 v_2)$$

$$u = 1,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v'_1 = \frac{(m_1 - k m_2) v_1 + (1 + k) m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$v'_1 = 0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v'_2 = \frac{(m_2 - k m_1) v_2 + (1 + k) m_1 v_1}{m_1 + m_2}$$

$$v'_2 = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Bilansując energię kinetyczną poszczególnych składników układu dynamicznego bijak – wbijany pal, otrzymuje się:

$$E_1 = \frac{m_1 v_1^2}{2}$$

$$E_1 = 1800,75 \text{ J}$$

$$E_2 = \frac{m_2 v_2^2}{2}$$

$$E_2 = 1378,13 \text{ J}$$

Zatem:

$$\eta_u = \frac{E_2}{E_1}$$

$$\eta_u = 0,76$$

Z analizy (popartej obliczeniami dla różnych parametrów) wynika, że nie należy łączyć ramy młota z wbijanym elementem. W takim bowiem przypadku wzrasta masa m_2 , co obniża energię przekazywaną wbijanemu elementowi.

Ze względu na ograniczoną wytrzymałość elementu uderzanego, wartość siły chwilowej $P(t)$ nie może osiągać dowolnie dużej wartości. Wynika stąd konieczność ograniczenia prędkości bijaka w chwili uderzenia. Dodatkowo duża wysokość podrzutu i spadku bijaka wpływa na zwiększenie wysokości całego urządzenia. Na podstawie doświadczeń konstruktorów młotów przyjmuje się maksymalną wysokość podrzutu bijaka nieprzekraczającą 1,2 m. Z powszechnie znanych zależności wynika wartość maksymalnej prędkości bijaka w chwili uderzenia, wynosząca 5 m/s. Nie ma przy tym znaczenia, czy prędkość tę bijak uzyska w wyniku swobodnego spadku, czy też na skutek przyspieszenia dodatkową siłą.

Siła chwilowa $P(t)$ nadaje przyspieszenie wbijanemu elementowi, jeśli jest większa od pozostałych sił na niego działających. Na pal, czy w ogólności element wbijany, działają bowiem siły wynikające z oporu stwarzanego przez ośrodek gruntowy. Jest to siła tarcia poboczniczy pala o cząstki gruntu oraz siła oporu gruntu pod stopą pala. Zjawiska kształtujące wielkość tych sił są złożone, zależne od cech gruntu. Warto jednak przytoczyć kilka podstawowych informacji, które pozwolą lepiej zrozumieć sens stosowania młotów udarowych. Wytrzymałość gruntu określana jest przez opór ścinania. Zgodnie ze wzorem *Coulomba* opór ścinania:

$$t = \sigma_n \operatorname{tg} \phi + c$$

zależy od kąta tarcia wewnętrznego ϕ , oporu spójności c oraz od naprężenia normalnego, prostopadłego do płaszczyzny poślizgu σ_n . Opór wzdłuż poboczniczy ujawnia się dopiero przy występowaniu przemieszczeń pala w gruncie.

W gruntach sypkich wbijanie powoduje zagęszczenie gruntu w najbliższym sąsiedztwie pala, wzrost naprężeń normalnych i sił tarcia na poboczniczy. W takim wypadku nośność pala ustala się zaraz po zakończeniu wbijania i może być określona na podstawie energii wbijania i tzw. wpędu pala (zagłębienia przy jednym uderzeniu). W gruntach spoistych, np. w glinach i iłach o konsystencji plastycznej, w czasie wbijania na powierzchni bocznej pala tworzy się cienka warstwa zawilgoconego gruntu, stanowiąca warstwę smarną chwilowo zmniejszającą opór tarcia.

Założenia konstrukcyjne

Wyroby wchodzące w skład typoszeregu składają się z następujących zespołów i elementów:

- prowadnicy z elementami mocowania do maszyny, z teleskopowym siłownikiem hydraulicznym umożliwiającym ustalanie wysokości położenia zespołu udarowego,
- korpusu zespołu udarowego,

- bijaka o masie odpowiedniej do wielkości młota – 600, 1500 lub 2800 kg,
- wymiennej płyty przenoszącej energię uderzenia bijaka na wbijany pal – dostosowanej do kształtu końcówki wbijanego pala.

Podstawowe parametry techniczne młotów gravitacyjnych, stanowiących najmniejsze i największe urządzenia z typoszeregu podano w tab. I.

TABELA I. Parametry techniczne typoszeregu młotów

Lp.	Nazwa parametru	Wartość uzyskana	
1	Typ	Typ 600	Typ 2800
2	Masa bijaka, kg	600	2800
3	Masa całkowita, kg	do 1400	do 3800
4	Częstotliwość uderzeń, 1/min	0 ÷ 100	0 ÷ 100
5	Energia uderzenia, J	0 ÷ 7000	0 ÷ 33000
6	Przeliczeniowa wysokość podrzutu bijaka, m	0 ÷ 1,2	0 ÷ 1,2
7	Ciśnienie robocze, MPa	16	25
8	Zapotrzebowanie oleju hydraulicznego, dm ³ /min	80	100
9	Zapotrzebowanie mocy, kW	25	50
10	Maksymalna masa pala, kg	1000	4200

Według wstępnie przyjętych założeń zespół hydrauliczny młota miał być wyposażony w siłownik szybkiego działania, którego zadaniem było podrzucenie bijaka na określoną wysokość i następnie wycofanie się z odpowiednio dużą szybkością, zapewniającą uniknięcie kolizji ze spadającym bijakiem. Jednak po przeprowadzeniu analiz i obliczeń przyjęto koncepcję, wg której dynamiczny układ hydrauliczny ma zapewnić możliwość wyniesienia bijaka na założoną wysokość spadku oraz „dofadowanie” opadania bijaka – w celu uzyskania odpowiedniej prędkości uderzenia przy mniejszej wysokości spadku. Przyjęcie tego założenia pozwala na ograniczenie wymiarów młota, co jest istotne z uwagi na zagadnienia montażu na maszynach.

Opis przeprowadzonych badań

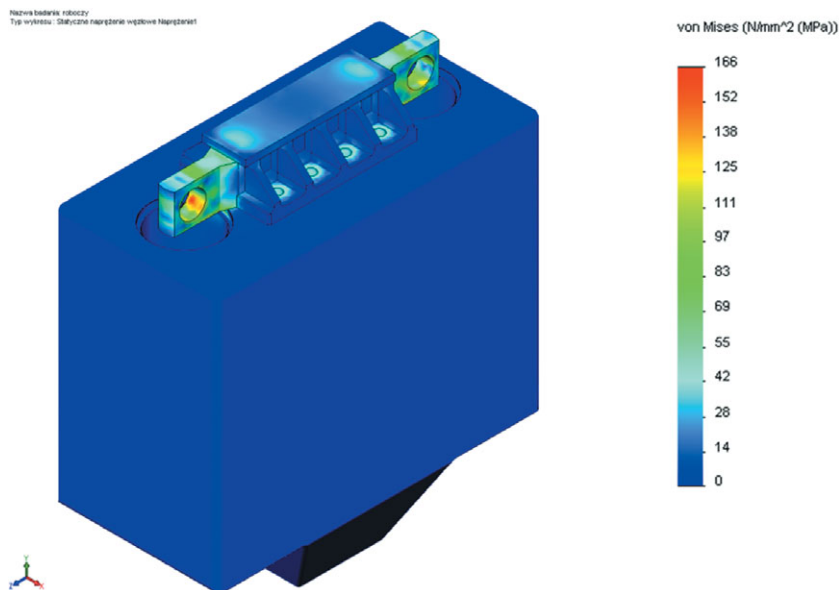
Prace badawczo-rozwojowe realizowane w ramach projektu były skoncentrowane na opracowaniu wysokoefektywnego zespołu udarowego. Podstawowe badania – dotyczące m.in. optymalizacji parametrów układu hydraulicznego w celu uzyskania wymaganych parametrów energii podrzutu bijaka – zostały przeprowadzone na modelu młota wykonanym w skali (przytoczony w obliczeniach młot o masie bijaka 150 kg).

Pozwoliło to na rozpoznanie zachodzących zjawisk przy zminimalizowaniu kosztów badań i uniknięciu znaczących błędów konstrukcyjnych na etapie projektowania prototypów „pełnowymiarowych” młotów wchodzących w skład typoszeregu. Badania obejmowały:

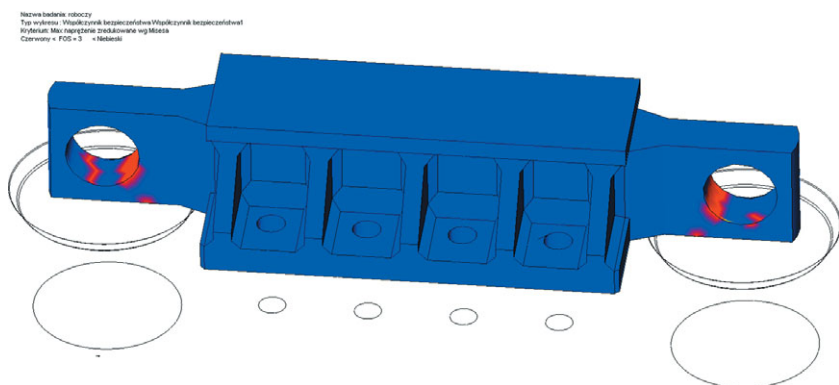
- przeprowadzenie obliczeń wyłożonych zespołów i węzłów za pomocą metody elementów skończonych MES,
- specjalistyczne badania modelowe w zakresie podstawowych zespołów konstrukcyjnych,
- badania prototypu, w tym próby trwałościowe i próby przeciążeniowe,
- badania uciążliwości dla środowiska, sprawdzenie bezpieczeństwa obsługi oraz ergonomii stanowiska roboczego.

Z przedstawionych na rys. 1 i 3 rozkładów naprężeń w konstrukcji zespołów roboczych prototypu młota wolnospadowego wynika, że jeżeli konstrukcja została zaprojektowana poprawnie, to ze względu na wysokie wartości działających sił oraz uwidocznione niewielkie obszary o podwyższonych naprężeniach należy przeprowadzić badania trwałościowe obiektów rzeczywistych na etapie badań rozwiązania prototypowego.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że nawet jeśli naprężenia

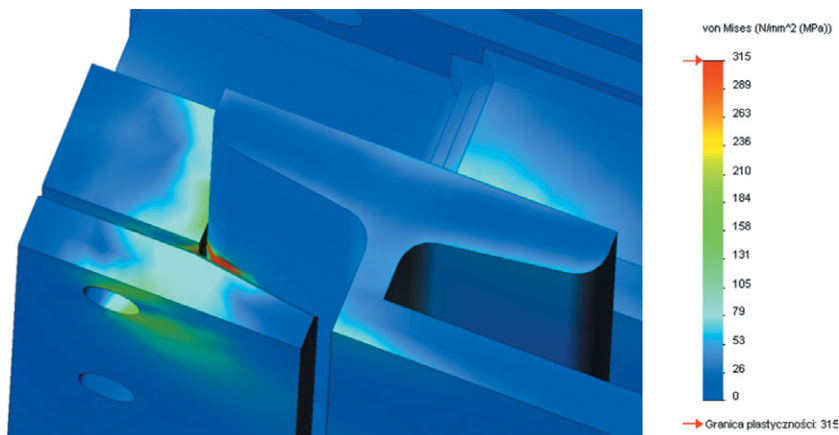


Rys. 1. Analiza wytrzymałościowa bijaka – naprężenia zredukowane

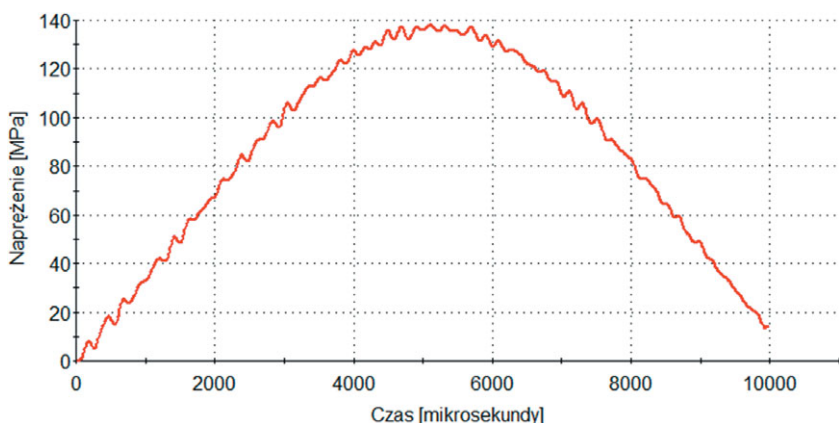


Rys. 2. Miejsca o największym narażeniu na wystąpienie uszkodzeń

w materiale bijaka młota i w materiale tzw. podbabnika, czyli nakładki, nie przekraczają wartości krytycznych, to występuje znaczne obciążenie amortyzujących przekładek teflonowych, zabezpieczających przed bezpośrednim uderzaniem bijaka w podbabnik, co wynika z wysokiej dynamiki procesu. Na wykresie przebiegu czasowego (rys. 4), który został wykonany dla jednego z węzłów elementów skończonych leżącego na styku przekładek teflonowych z bijakiem młota, widać, że maksymalne wartości naprężeń i przemieszczeń osiągane są w czasie ok. 530 mikrosekund od momentu uderzenia. Wykres przebiegu czasowego przemieszczenia jest niezgodny z rzeczywistością od momentu osiągnięcia granicy plastyczności w przekładkach teflonowych (oprogramowanie nie uwzględnia nieliniowości materiału). Z analizy wynika wysokie prawdopodobieństwo, że podczas pracy urządzenia przekładki teflonowe ulegną trwałym odkształceniom i zostaną zniszczone, a bijak młota będzie uderzać bezpośrednio w stalowe elementy konstrukcyjne podbabnika.



Rys. 3. Wykres naprężeń zredukowanych (współpraca ślizgacza z prowadnicą)



Rys. 4. Wykres przebiegu czasowego naprężenia

Wyniki analiz MES zostały poddane weryfikacji na etapie badań modelowych młota o masie bijaka 150 kg, a w dalszej kolejności na etapie badań prototypu. Model młota o masie bijaka 150 kg poddano badaniom w zakresie cech eksploatacyjnych i funkcjonalnych, z wykorzystaniem wózka widłowego jako maszyny zastępczej. Podczas badań model urządzenia został podwieszony na widłach wózka, a jako zespół odbierający energię uderzenia zastosowano płytę stalową o grubości 40 mm.

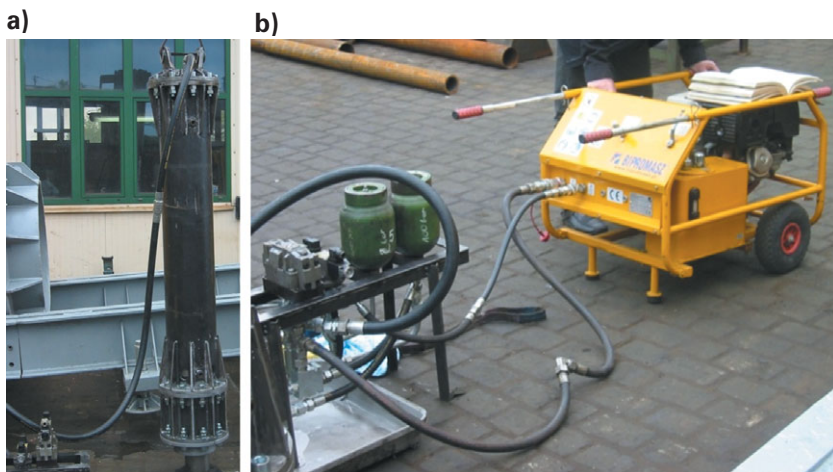
Obiekt badań był zasilany z zewnętrznego dwupompowego agregatu hydraulicznego typu HAS-9,

napędzanego silnikiem spalinowym o mocy 9,9 kW, produkowanego przez BPH „BIPROMASZ”. Parametry agregatu zostały dobrane w ten sposób, aby zapewnić 25% zapas mocy układu hydraulicznego.

Hydrauliczny układ napędowy modelu młota poddano badaniom w zakresie:

- właściwości termicznych,
- ciśnienie w układzie,
- szczelności zewnętrznej.

Zmierzone podczas pracy urządzenia maksymalne wartości ciśnienia wyniosły:

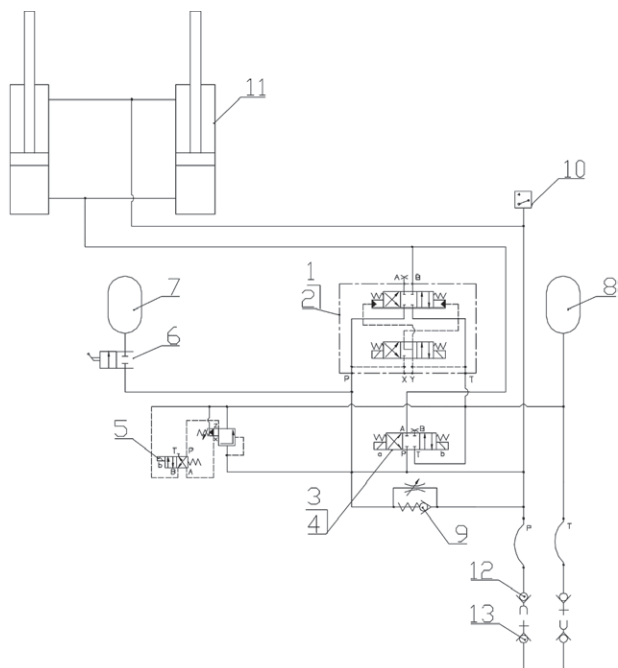


Rys. 5. Model młota o masie bijaka 150 kg (a) oraz układ zasilania (b) z pneumatycznym systemem wspomagającym oraz agregatem hydraulicznym typu HAS-9

- w obwodzie niskiego ciśnienia – 9,92 MPa,
- w obwodzie wysokiego ciśnienia – 15,44 MPa.

Zakres parametrów roboczych układu hydraulicznego okazał się wystarczający do zasilenia ruchów siłowników podczas podrzucania bijaka do góry, jak również podczas ruchu powrotnego bijaka w dół. Ruch siłownika unoszącego bijak podczas ruchu powrotnego był na tyle szybki, że nie stwierdzono występowania kolizji zespołu unoszącego z zespołem roboczym bijaka.

Przeprowadzone badania modelu młota wykazały, że – z uwagi na relatywnie małą masę bijaka – celowe będzie zmodyfikowanie zespołu hydraulicznego z uwzględnieniem zwiększenia energii kinetycznej uderzenia. Stwierdzono bowiem przypadki nadmier-



Rys. 6. Schemat układu hydraulicznego: 1 – rozdzielacz hydrauliczny sterowany elektrycznie cewkami $U=24$ VDC do pracy automatycznej, 2 – płyta pod rozdzielacz; 3 – rozdzielacz hydrauliczny elektrycznie sterowany cewkami $U=24$ VDC do wstępnego ustawienia skoku; 4 – płyta pod rozdzielacz, 5 – zawór przelewowy sterowany cewką $U=24$ VDC z funkcją otwórz-zamknij, 6 – zawór odcinający, 7 – hydroakumulator wysokociśnieniowy, 8 – hydroakumulator niskociśnieniowy, 9 – zawór zwrotnodławiaczy, 10 – przełącznik ciśnienia; 11 – siłowniki młota hydraulicznego; 12, 13 – szybkozłączce

nego wyhamowania bijaka na uszczelnieniach zespołu roboczego. Wyniki uzyskane podczas badań modelu młota miały wpływ na rozwiązania zastosowane w urządzeniach prototypowych. Przyjęto nową koncepcję układu hydraulicznego młota, przedstawioną na schemacie (rys. 6).

W rozwiązaniach prototypowych ruch bijaka na prowadnicach realizowany jest przy zastosowaniu zespołu dwóch siłowników hydraulicznych. Po osiągnięciu górnego położenia bijak opada na skutek działania siły grawitacji. Opadanie bijaka jest „doładowane” przez oddziaływanie zespołu siłowników, wywoływane ciśnieniem oleju od ich strony tłoczkowej. Takie rozwiązanie pozwala na uzyskanie założonej energii uderzenia bijaka przy ograniczonej wysokości jego podnoszenia.

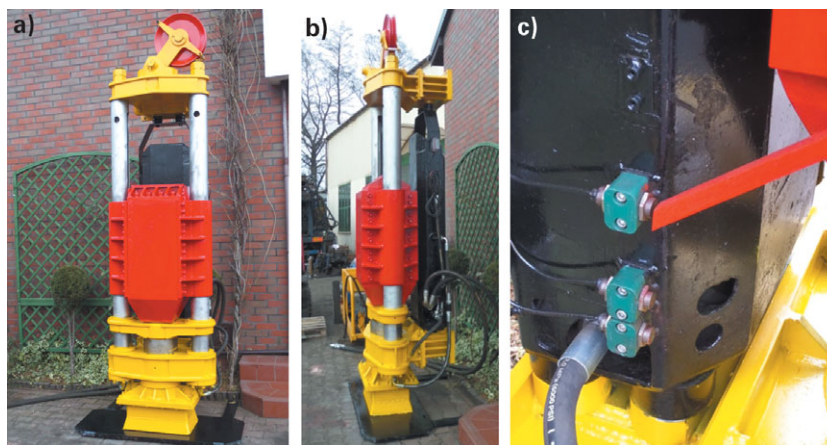
Układ hydrauliczny prototypu młota wolnospadowego (rys. 6) wyposażono w dwa rozdzielacze. Rozdzielacz 3 znajdujący się bezpośrednio za pompą służy do wykonywania początkowych powolnych ruchów bijaka, w celu ustalenia właściwej wysokości jego podnoszenia. Po ustaleniu tej wysokości może nastąpić przetęczenie na pracę automatyczną, sterowaną przez większy rozdzielacz 1 pomiędzy hydroakumulatorami a młotem hydraulicznym.

W układzie hydraulicznym zastosowano dwa hydroakumulatory. Hydroakumulator wysokociśnieniowy umożliwia zmagazynowanie oleju pod ciśnieniem w celu utrzymania odpowiedniej szybkości ruchów roboczych. Hydroakumulator niskociśnieniowy umożliwia zmagazynowanie oleju przed spływem do zbiornika.

Układ zabezpieczony jest zaworem przelewowym 5. Podczas normalnej pracy zawór jest zamknięty. Otwarcie zaworu umożliwia spływ oleju do zbiornika. Bijak uderza we wbijany pał przez nakładkę (tzw. podbabnik). W miejscu uderzenia bijaka w podbabnik zastosowano pakiet przekładek teflonowych.

Na rys. 7 pokazano prototyp młota grawitacyjnego o masie bijaka 2800 kg. Urządzenie prototypowe poddano badaniom dotyczącym:

- zakresu wysokości podrzutu bijaka,
- energii uderzenia,
- częstotliwości uderzenia,
- wydajności technicznej,
- trwałości w warunkach maksymalnych, jak również zwiększonych obciążeń pracy zespołów roboczych.



Rys. 7. Prototyp młota wolnospadowego o masie bijaka 2800 kg: a) widok czotowy, b) widok z boku, c) czujniki systemu sterowania

TABELA II. Wyniki pomiarów prędkości uderzenia bijaka i obliczone wartości energii uderzenia

Wysokość podrzutu bijaka, m	Zmierzone wartości prędkości uderzenia bijaka, m/s									Prędkość średnia, m/s	Energia uderzenia, kJ
	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0,2	2,43	2,44	2,40	2,43	2,41	2,42	2,45	2,40	2,42	8,2	
0,4	3,42	3,44	3,43	3,45	3,42	3,44	3,42	3,41	3,43	16,5	
0,8	4,87	4,83	4,85	4,86	4,85	4,84	4,86	4,84	4,85	32,9	

Na podstawie dokonanych pomiarów stwierdzono, że układ sterowania młota umożliwi regulację wysokości podrzutu bijaka od 200 do maksymalnie 800 mm. Energię uderzenia określono pośrednio przez pomiar prędkości uderzenia bijaka. W tym celu w końcowym odcinku ruchu bijaka zamontowano oddalone od siebie dwa czujniki, podłączone do układu pomiaru czasu przemieszczania się końca bijaka pomiędzy czujnikami. W tab. II zestawiono wyniki pomiarów prędkości końcowej bijaka dla różnych wysokości podrzutu oraz wartości obliczonej energii uderzenia dla poszczególnych przypadków.

Badany prototyp młota grawitacyjnego wyposażony był w układ sterowania umożliwiający bezstopniową regulację częstotliwości uderzeń bijaka. Przeprowadzono pomiary maksymalnej częstotliwości uderzenia dla różnych nastaw wysokości podrzutu, po rozgrzaniu oleju w układzie hydraulicznym do temperatury roboczej. Przeprowadzone pomiary wykazały, że maksymalne częstotliwości uderzenia wynoszą:

- 71/min dla wysokości podrzutu 0,2 m
- 58/min dla wysokości podrzutu 0,4 m
- 35/min dla wysokości podrzutu 0,8 m.

W trakcie badań dokonano określenia wydajności technicznej w zakresie wbijania pali betonowych o przekroju 0,4 x 0,4 m. Badania wykonano, zagłębiając pale w grunt na głębokość 3,0 m. Dokonano pomiarów czasów wbijania pali w gruntach o różnej kategorii (od I do IV), przy maksymalnym skoku bijaka, zależnie od częstotliwości uderzenia. Wykonane badania wykazały, że przy stosowaniu maksymalnej częstotliwości udaru 35/min i maksymalnej wysokości podrzutu 0,8 m, czas wbijania pojedynczego pala waha się od ok. 130 s dla gruntów I kategorii do ok. 340 s dla gruntów kategorii IV. Prace badawcze prowadzono przy nominalnym ciśnieniu w układzie hydraulicznym młota – nastawy zaworów przelewowych: 25,0 MPa w sekcji wysokociśnieniowej oraz 10,0 MPa w sekcji niskociśnieniowej.

Przeprowadzono również próby trwałościowe w warunkach nominalnych, jak również podwyższonych obciążeń pracy zespołów roboczych, uzyskanych przez zmianę nastaw zastosowanych systemów zabezpieczających w układzie hydraulicznym.

Przeprowadzone badania nie wykazały występowania uszkodzeń w istotnych podzespołach młota narażonych na występowanie przeciążeń długotrwałych. Zgodnie z obliczeniami wytrzymałościowymi wystąpiło natomiast uszkodzenie przekładek amortyzujących. W rozwiązaniu docelowym zostały zastąpione przekładkami wykonanymi z wytrzymałszych materiałów elastomerowych. Stwierdzono więc, że zostały osiągnięte zakładane parametry trwałościowe i wytrzymałościowe prototypu.

Podsumowanie

Wykonane prace badawcze pozwoliły na opracowanie nowoczesnego typoszeregu młotów wolnospadowych wyposażonych w dynamiczny układ hydrauliczny o bezstopniowej regulacji energii uderzenia oraz o parametrach technicznych umożliwiających konkurowanie z wiodącymi producentami w tej grupie wyrobów.

Istotnym efektem prac badawczych było opracowanie wysoko wydajnego dynamicznego układu hydraulicznego, napędzającego zespół siłowników o wysokich prędkościach ruchów roboczych.

Podstawowe badania – dotyczące m.in. określenia energii uderzenia w funkcji wysokości podrzutu bijaka, pomiarów rzeczywistej energii uderzenia przekazanej na wbijany element, w zależności od kategorii gruntu, optymalizacji parametrów układu hydraulicznego w celu uzyskania wymaganej energii podrzutu bijaka na określonej wysokości – zostały przeprowadzone na modelu młota wykonanego w skali, jak również na urządzeniu prototypowym o masie bijaka 2800 kg. Pozwoliło to na zminimalizowanie ryzyka wystąpienia znaczących błędów konstrukcyjnych na etapie wdrożenia.

Opracowane młoty wolnospadowe mają uniwersalne zastosowanie – zarówno jako zespół roboczy konkretnego kafara, jak również dodatkowo osprzęt zwiększający zakres stosowania innej maszyny hydraulicznej (koparka, ładowarka, żuraw itp.) – do prac związanych ze stabilizacją gruntu, wbijania kształtowników i rur stalowych, jak również różnego rodzaju pali betonowych, stalowych i drewnianych, także przy pracach palowniczych nadbrzeżnych, w groblach, nasypach oraz szybach.

LITERATURA PRZEDMIOTU:

1. *Jarominiak Andrzej i in.:* Pale i fundamenty palowe. Wyd. Arkady, Warszawa 1976.
2. *Leyko Jerzy:* Mechanika ogólna. T. 1 i 2. WN PWN SA, Warszawa 1996.
3. *Niezdodziński Michał, Niezdodziński Tadeusz:* Wytrzymałość materiałów. WN PWN SA, Warszawa 1998.
4. *Osiecki Andrzej:* Napęd i sterowanie hydrauliczne maszyn. Skrypt PG, Gdańsk 1995.
5. *Osiecki Andrzej:* Hydrostatyczny napęd maszyn. WNT, Warszawa 1998.
6. *Rudnik Stanisław:* Metaloznawstwo. WN PWN SA, Warszawa 1994.
7. *Stryczek Stefan:* Napęd hydrostatyczny. T. I. Elementy. WNT, Warszawa 1990.
8. *Stryczek Stefan:* Napęd hydrostatyczny. T. II. Układy. WNT, Warszawa 1995.
9. *Vademecum hydrauliki.* Tom 3. Projektowanie i konstruowanie układów hydraulicznych. Praca zbiorowa sponsorowana przez Mannesmann Rexroth GmbH 1992.
10. *Vademecum hydrauliki.* Tom 4. Logic elements. Praca zbiorowa sponsorowana przez Mannesmann Rexroth GmbH 1992.