

PIOTR CHELUSZKA
PIOTR SOBOTA
GRZEGORZ GŁUSZEK

Doświadczalne badania oddziaływania dynamicznego kombajnu chodnikowego na podłoże

W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań eksperymentalnych zrealizowanych na stanowisku badawczym w Hali Technologicznej Wydziału Górnictwa i Geologii, na którym zainstalowany jest kombajn chodnikowy R-130 (prod. Famur S.A.). W trakcie tych badań wyznaczone zostały przebiegi obciążenia dynamicznego w punktach podparcia wysięgnikowego kombajnu chodnikowego podczas realizacji przezeń procesu roboczego. W celu określenia wpływu procesu urabiania na siły przenoszone na podłoże wyznaczono rozkład obciążenia statycznego podpór kombajnu od ciężaru własnego przy zmieniającym się położeniu jego środka ciężkości spowodowanym wychyleniem wysięgnika. W trakcie badań wyznaczono doświadczalnie wielkość oraz charakter oddziaływania dynamicznego kombajnu na podłoże w punktach jego podparcia podczas urabiania powierzchni bloku wykonanego z materiałów ekwiwalentnych (mas cementowo-piaskowych) o różnej wytrzymałości na ściskanie. Charakter wymuszenia drgań nadwozia kombajnu od urabiania oraz zmienność położenia jego punktu zaczepienia w miarę przemieszczania głowic urabiających po urabianej powierzchni skutkują dużą nierównomiernością obciążenia w punktach podparcia kombajnu. Oddziaływanie dynamiczne kombajnu na podłoże ma przy tym silnie dynamiczny charakter.

Słowa kluczowe: kombajn chodnikowy, urabianie, obciążenie dynamiczne, reakcja podłoża, badania doświadczalne

1. WPROWADZENIE

Liczne obserwacje pracy wysięgnikowych kombajnów chodnikowych prowadzone w warunkach eksploatacyjnych oraz realizowane w różnych ośrodkach naukowych badania symulacyjne wskazują na to, iż proces urabiania w szczególności skał trudno urabialnych jest źródłem silnych drgań wymuszonych oraz obciążeń dynamicznych [1–5]. Podlegają im główne podzespoły kombajnu, w tym przede wszystkim układ urabiania w postaci wysięgnika z zainstalowanym w nim napędem głowic urabiających. Przez więzy konstrukcyjne przenoszone są one jednak dalej na obrotnicę, ramę główną kombajnu oraz pozostałe, związane z nią podzespoły kombajnu. Drgania powstałe w wyniku urabiania przekazywane są przez podpory kombajnu na spąg drążonego wyrobiska korytarzowego lub tunelu. Szczególnie istotne znaczenie, ze względu na oddziaływanie dynamiczne kom-

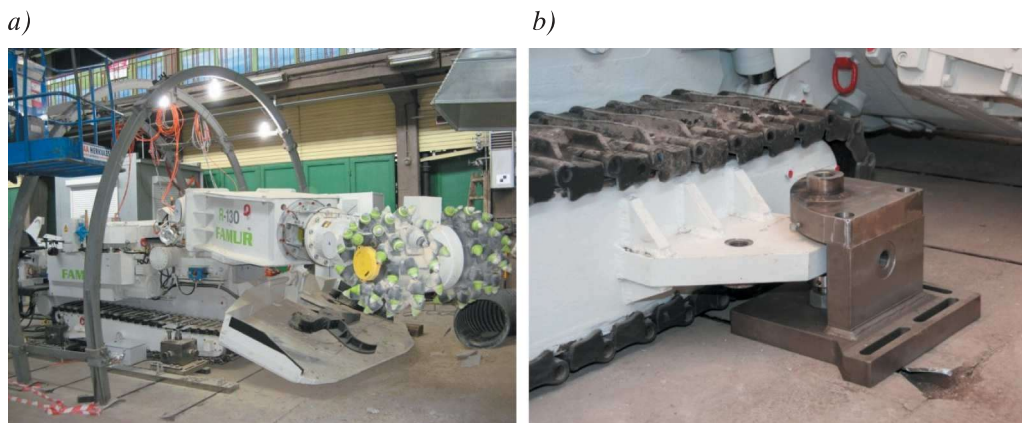
bajnu na górotwór otaczający drążone wyrobisko, ma składowa drgań kadłuba kombajnu prostopadła do podłoża. Duża intensywność tych drgań, które mogą prowadzić nawet do chwilowej utraty przez kombajn kontaktu z podłożem, jest bowiem źródłem silnych obciążeń o charakterze udarowym. Mogą one być przyczyną wstrząsów o charakterze parasejsmicznym. Wstrząsy tego rodzaju wywołane działalnością człowieka (w tym na przykład eksploatacją górniczą czy też pochodzenia komunikacyjnego) mają negatywny wpływ na środowisko i ludzi [6–8]. Siły dynamicznego oddziaływania kombajnu na spąg mogą więc być przyczyną jego degradacji na skutek przekroczenia wytrzymałości na ściskanie czy wytrzymałości na naciski powierzchniowe. Jest to niepożądane, szczególnie w przypadku wyrobisk i tuneli o długim okresie eksploatacji, gdyż pociąga za sobą konieczność rekonstrukcji spągu w celu dostosowania jego stanu do wymagań wynikających z funkcji (np. komunikacyjnych) tych wyrobisk.

Kombajn chodnikowy w drążonym przezeń wyrobisku nie jest w żaden sposób sztywno utwierdzony, zatem o zachowaniu stateczności decyduje w dużej mierze sprzężenie cierne pomiędzy jego podporami i spągami. Sprzężenie to wynika z kolei z wartości współczynnika tarcia pomiędzy stykającymi się ze sobą powierzchniami oraz siły docisku kombajnu do spągu w miejscu jego podparcia. Podparcie wysięgnikowego kombajnu chodnikowego na spągu podczas urabiania powierzchni czoła przodku odbywa się z wykorzystaniem stołu ładowarki – z przodu oraz stopy stabilizującej (jednej bądź dwóch) – z tyłu kombajnu. Teoretycznie zatem mamy do czynienia z podparciem liniowym wzdłuż przedniej krawędzi stołu ładowarki oraz podparciem punktowym na stopie stabilizującej. W rzeczywistości jednak, na skutek nierówności spągu czy zalegających na nim ziaren urobku, stół ładowarki może mieć również punktowy styk ze spągami. Drgania kadłuba kombajnu w kierunku prostopadłym do powierzchni spągu mogą być przyczyną znacznego spadku wartości sił sprzężenia ciernego, a nawet utraty przez kombajn przyczepności do podłoża w punktach jego podparcia. Prowadzić to będzie w konsekwencji do spadku, czy wręcz utraty możliwości zrównoważenia sił działających na kadłub kombajnu w płaszczyźnie równoległej do spągu od urabiania oraz utraty stateczności przez kombajn (niekontrolowanego jego przemieszczania się po powierzchni spągu). Skuteczna realizacja procesu urabiania nie będzie w takim przypadku możliwa.

Ze względu na możliwość efektywnego i bezpiecznego urabiania skał (zwłaszcza trudno urabialnych) wysięgnikowym kombajnem chodnikowym, określenie wielkości i charakteru oddziaływania dynamicznego tego rodzaju maszyn na spąg jest zagadnieniem niezmiernie istotnym. Jedną z dróg identyfikacji tego

oddziaływania jest pomiar sił reakcji działających na podłoże w trakcie realizacji przezeń procesu roboczego. Z technicznego punktu widzenia nie jest to zadanie łatwe do wykonania, zwłaszcza gdy pomiar ten miałby się odbywać w warunkach eksploatacyjnych (w wyrobisku podziemnym kopalni lub podczas drążenia tunelu). Znane są wprawdzie proste w użyciu układy pomiarowe pozwalające na pomiar zredukowanej do siły skupionej reakcji normalnej podłoża oraz czujniki matrycowe (maty pomiarowe). Pierwsze z wymienionych rozwiązań są powszechnie stosowane do kontroli obciążenia pojazdów w transporcie drogowym i kolejowym [9, 10]. Maty pomiarowe umożliwiają z kolei pomiar nacisków [11]. W badaniach maszyn samojezdnych mogą być one wykorzystane do wyznaczenia rzeczywistego rozkładu nacisków podwozia maszyny na podłoże. Rozwiązania te nie nadają się jednak do badań oddziaływania dynamicznego kombajnu chodnikowego na podłoże, gdyż nie pozwalają na pomiar reakcji w przypadku utraty kontaktu maszyny z tym podłożem.

Pomiary sił oddziaływania dynamicznego wysięgnikowego kombajnu chodnikowego na podłoże przeprowadzone zostały na stanowisku badawczym w Hali Technologicznej Wydziału Górniczego i Geologii Politechniki Śląskiej. Dokonane one zostały w trakcie urabiania bloku wykonanego z materiałów ekwiwalentnych (mas cementowo-piaskowych o różnej wytrzymałości na ściskanie) kombajnem chodnikowym R-130 (prod. Famur SA). W tym celu kombajn posadowiony został na czterech specjalnie skonstruowanych podporach [12] – rysunek 1. W każdej z tych podpór zabudowane zostały cztery tensometryczne jednoosiowe czujniki siły (nacisku) – dwa do pomiaru sił w płaszczyźnie równoległej do podłoża (reakcji wzdłużnej i poprzecznej) oraz dwa do pomiaru reakcji



Rys. 1. Sposób posadowienia kombajnu chodnikowego R-130 na stanowisku badawczym na czterech podporach (a) oraz widok jednej z podpór wyposażonej w cztery tensometryczne czujniki siły (b) [12]

w kierunku prostopadłym do podłoża. Zastosowanie dwóch czujników siły na kierunku prostopadłym do podłoża wynika z możliwego zwrotu tej składowej reakcji w trakcie realizacji procesu urabiania. W zależności bowiem od układu sił działających na kombajn może on być dociskany w danym punkcie podparcia do podłoża bądź podnoszony w górę. Wykorzystany w trakcie badań doświadczalnych układ pomiarowy pozwala zatem na określenie w każdym z punktów podparcia kombajnu wartości siły niezbędnej do zapewnienia stanu równowagi, nawet w przypadku gdy w warunkach rzeczywistych kombajn może stracić kontakt z podłożem.

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane wyniki badań doświadczalnych. Analizie poddano składowe reakcje w punktach podparcia kombajnu działające w kierunkach prostopadłych do podłoża.

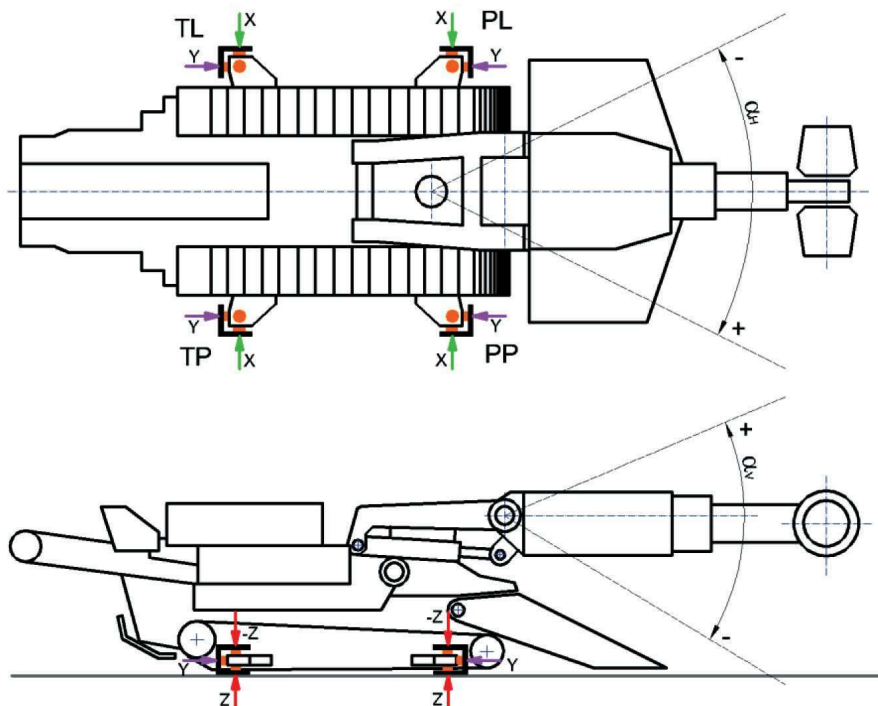
2. ANALIZA OBCIĄŻENIA CIĘŻAREM KOMBAJNU

W celu identyfikacji rozkładu reakcji przenoszonych na podłoże kombajn został posadowiony na zespole podpór rozmieszczonych po dwie na każdej stronie kombajnu (rys. 2).

Analiza oddziaływania dynamicznego nadwozia kombajnu chodnikowego na podłoże w punktach pod-

parcia została przeprowadzona na podstawie serii pomiarów przy różnych ustawieniach wysięgnika, w trakcie urabiania bloku cementowo-piaskowego. Ze względu na zmianę położenia wysięgnika w trakcie urabiania, na wstępie przeprowadzono analizę wpływu ustawienia wysięgnika na rozkład obciążenia podpór w kierunku prostopadłym do podłoża (oś Z) od ciężaru kombajnu. Analizę oparto na pomiarach wartości nacisku na poszczególne podpory, przy różnych ustawieniach kąta wychylenia wysięgnika kombajnu w płaszczyźnie pionowej α_V (prostopadłej do podłoża) i w pełnym zakresie kąta wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża α_H .

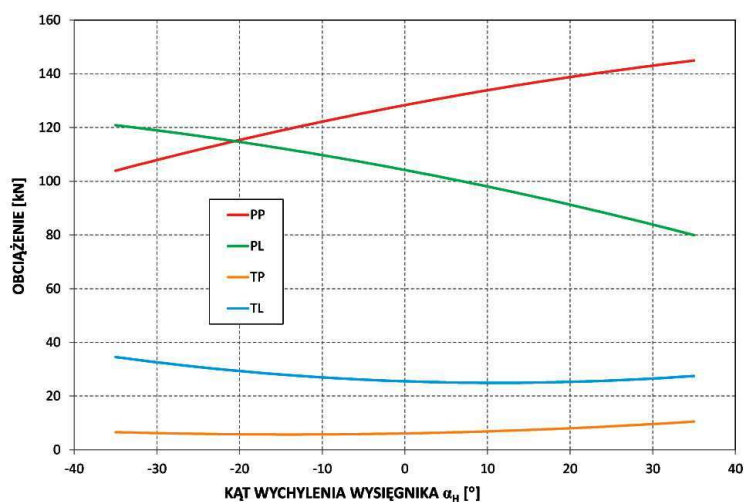
W celu ustalenia poziomu odniesienia zarejestrowano przebiegi sił w podporach bez urabiania (od ciężaru kombajnu). Wyznaczono przebiegi obciążeń w podporach w kierunku osi Z w zależności od położenia wysięgnika, które wpływa na położenie środka ciężkości kombajnu. Podczas wychylania wysięgnika środek ciężkości kombajnu zmienia swoje położenie ze względu na przemieszczanie masy wysięgnika i części ruchomej obrotnicy kombajnu. Zmieniają się więc wartości sił działających na poszczególne podpory w miarę wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża (rys. 3). Najbardziej obciążone są podpory przednie (PP i PL). Ze względu na położenie środka ciężkości kombajnu ich wartości zmieniają się w największym stopniu podczas wychylania wysięgnika.



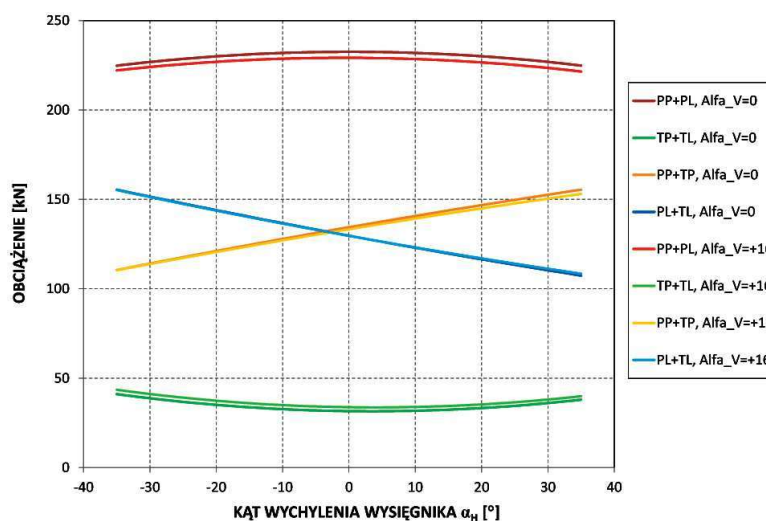
Rys. 2. Schemat rozmieszczenia zespołów podpór i kierunki reakcji na czujnikach siły: PL – podpora przednia lewa, PP – podpora przednia prawa, TL – podpora tylna lewa, TP – podpora tylna prawa

Podparcie badanego kombajnu chodnikowego na czterech podporach tworzy układ statycznie niewyznaczalny i dlatego rozkład obciążeń prostopadłych do podłoża na poszczególne podpory zależy od dokładności wykonania podpór, płaskości podłoża, dokładności ustawienia czujników nacisku i sztywności układu podparcia kombajnu. Aby zniwelować wpływ wszystkich tych czynników, wyznaczono sumę obciążeń w podporach przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL), co pozwala określić położenie środka ciężkości kombajnu względem podpór przednich. Wyznaczono również sumę obciążeń w podporach prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL), co pozwala określić odległość środka ciężkości od osi wzdłużnej kombajnu (rys. 4).

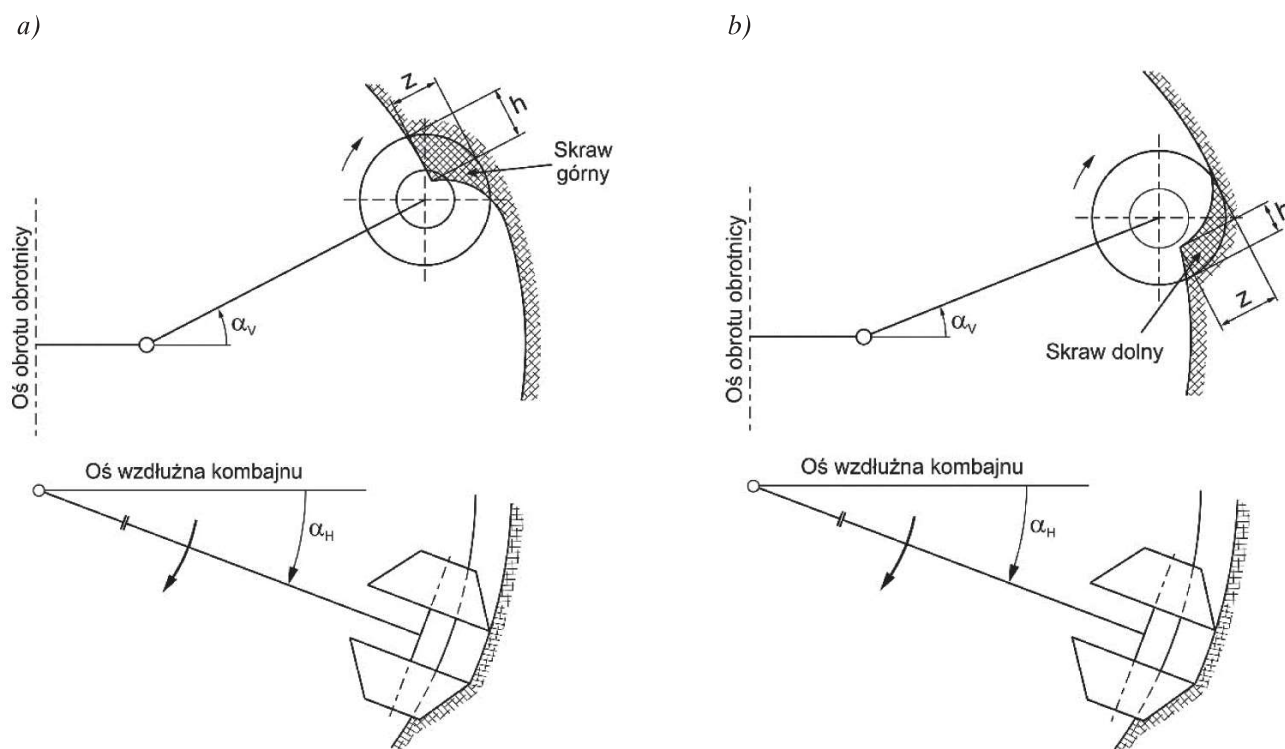
Sumę obciążeń zarejestrowanych w podporach przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) oraz sumę obciążeń zarejestrowanych w podporach prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL), w całym zakresie wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża: $-35^\circ \leq \alpha_H \leq +35^\circ$ (rys. 5), dla dwóch położen wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża $\alpha_V = 0^\circ$ (wysięgnik ustawiony poziomo) i $\alpha_V = +16^\circ$ (wysięgnik podniesiony w górę) pokazano na rysunku 4. Dla wysięgnika ustawionego poziomo wzdłuż osi kombajnu ($\alpha_V = 0^\circ, \alpha_H = 0^\circ$) sumaryczne obciążenie podpór przednich kombajnu (PP+PL) wynosi 232 kN, co stanowi 88% całego ciężaru kombajnu. Środek ciężkości kombajnu wyznaczony w sposób opisany w pracy [13] znajduje się w tym przypadku



Rys. 3. Obciążenia podpór od ciężaru kombajnu w kierunku prostopadłym do podłoża (w kierunku osi Z)



Rys. 4. Suma zarejestrowanych obciążeń podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) oraz prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) od ciężaru kombajnu dla dwóch wartości kąta wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża α_V



Rys. 5. Przekroje poprzeczne skrawów górnych (a) oraz dolnych (b) wykonywanych poprzecznymi głowicami urabiającymi podczas ich przemieszczania równoległe do spągu (podłoża)

w odległości 224 mm za przednimi podporami oraz 116 mm przed osią obrotu obrótnicy kombajnu. Środek ciężkości jest przesunięty o 22 mm w prawo od osi wzdłużnej kombajnu, gdyż dla analizowanego położenia wysięgnika sumaryczne obciążenie podpór prawych (PP+TP) wynoszące 134 kN stanowi 51% ciężaru kombajnu. Wychylanie wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża od osi wzdłużnej kombajnu w lewo i w prawo powoduje zmniejszanie obciążenia podpór przednich i wzrost obciążenia podpór tylnych, co jest wynikiem przesuwania się środka ciężkości kombajnu w stronę tylnych podpór. Przy wychylaniu wysięgnika w lewo znacznie wzrasta obciążenie podpór lewych i zmniejsza się obciążenie podpór prawych. I tak, dla $\alpha_H = -30^\circ$ i $\alpha_V = 0^\circ$ obciążenie podpór przednich (PP+PL) zmniejsza się o około 6 kN, co odpowiada przesunięciu środka ciężkości kombajnu ku tyłowi o 50 mm. Obciążenie podpór lewych (PL+TL) zwiększa się przy tym o 22 kN skutkiem przemieszczenia środka ciężkości w lewo o 194 mm.

Podniesienie wysięgnika w górę o kąt $\alpha_V = +16^\circ$ przesuwa środek ciężkości ku tyłowi kombajnu, co powoduje niewielkie odciążenie podpór przednich i dociążenie podpór tylnych kombajnu. Nie ma to natomiast widocznego wpływu na sumaryczne obciążenie podpór prawych i lewych (rys. 4).

3. ANALIZA OBCIĄŻENIA DYNAMICZNEGO OD URABIANIA W KIERUNKU PROSTOPADŁYM DO PODŁOŻA

W trakcie badań eksperymentalnych zrealizowanych na stanowisku badawczym zarejestrowano przebiegi obciążenia dynamicznego w punktach podparcia wysięgnikowego kombajnu chodnikowego podczas jego procesu roboczego. Przeanalizowano oddziaływanie dynamiczne kombajnu chodnikowego na podłożę generowane procesem urabiania podczas wykonywania skrawu górnego i dolnego. Kombajn chodnikowy urabia caliznę skrawami równoległymi do podłoża przez manewrowanie wysięgnikiem bez zmiany położenia podwozia kombajnu. Podniesienie lub opuszczenie wysięgnika po wykonaniu skrawu determinuje przy tym wysokość kolejnego skrawu. Jeżeli wysięgnik jest podnoszony, to kolejny skraw jest skrawem górnym, a jeżeli wysięgnik jest opuszczany, to kolejny skraw jest skrawem dolnym. W przypadku głowic poprzecznych urabiających podsiębiernie przy realizacji skrawu górnego noże skrawają degresywnie (ze zmniejszającą się głębokością skrawania) (rys. 5a), zaś przy realizacji skrawu dolnego progresywnie (ze zwiększającą się głębokością skrawania) (rys. 5b). Odmienny jest w obydwóch

przypadkach sposób obciążenia głowic poprzecznych siłami urabiania, co wpływa na sposób obciążenia podwozia kombajnu w kierunku prostopadłym do podłoża.

Proces urabiania jest źródłem silnych drgań wymuszonych oraz obciążeń dynamicznych, które poprzez więzy konstrukcyjne przenoszone są dalej na obrotnicę, ramę główną kombajnu oraz pozostałe, związane z nią podzespoły kombajnu. Drgania generowane procesem urabiania przez podpory kombajnu przekazywane są na spąg drążonego wyrobiska. Podczas badań stanowiskowych urabiania bloku cementowo-piaskowego kombajnem chodnikowym R-130 mierzono i rejestrowano, mające szczególnie istotne znaczenie, siły przenoszone na podpory kombajnu prostopadle do podłoża. Analizie poddano dwa skrawy zrealizowane podczas wychylania wysięgnika od lewej strony w prawo, przy czym pierwszy skraw był skrawem górnym, a drugi – skrawem dolnym.

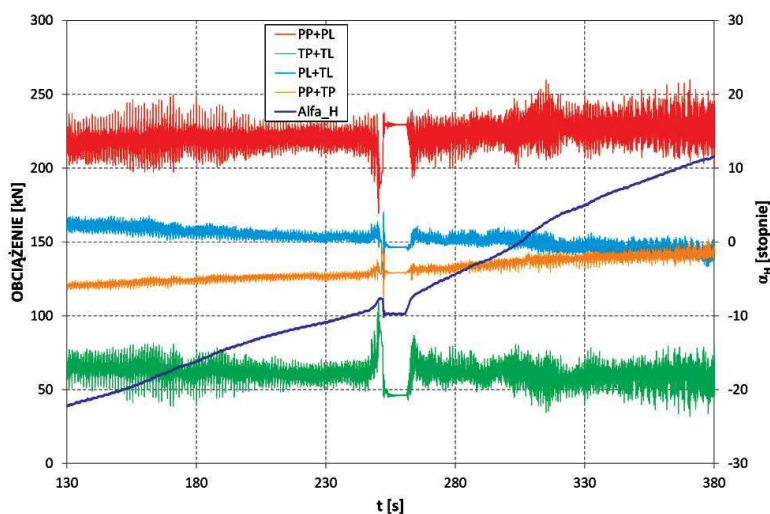
Skraw górny o wysokości 107 mm był wykonany przy ustawieniu wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża $\alpha_V = +7^\circ$ podczas wychylania wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża w zakresie kąta α_H od -22° do $+12^\circ$ w czasie 250 sekund z 10-sekundową przerwą (rys. 6).

Skrawanie bloku przez poprzeczne głowice urabiające kombajnu istotnie wpływa na wartości i charakter sił prostopadłych do podłoża przenoszonych w punktach podparcia kombajnu. Średnie wartości sumarycznych obciążeń podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) zmieniają się w niewielkim stopniu w odróżnieniu od sumarycznych średnich obciążeń podpór prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL), na

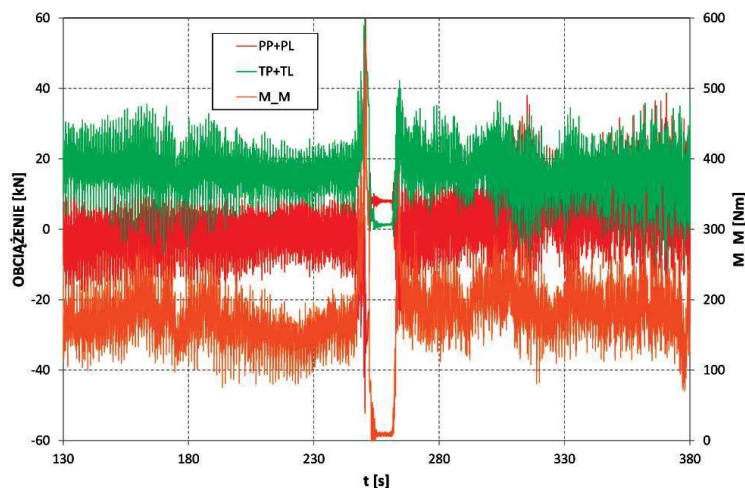
których przebiegach wyraźnie zaznacza się zmiana położenia środka ciężkości kombajnu w miarę wychylania wysięgnika (rys. 6).

W celu określenia wpływu procesu urabiania na siły przenoszone na podłoże od wartości zmierzonych obciążeń w podporach w trakcie urabiania odejto wartości obciążeń wywołanych ciężarem kombajnu. Wykorzystując zarejestrowany przebieg czasowy zmiany wartości kąta wychylania wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do spągu i wyznaczone wcześniej zależności sumarycznych obciążeń podpór przednich i tylnych kombajnu w funkcji tego kąta, uzyskano przebiegi czasowe obciążeń podpór wynikające tylko z procesu urabiania (rys. 7). Siły urabiania działające na noże skrawające rozmieszczone na głowicach poprzecznych podczas wykonywania skrawu górnego wpływają na istotne zwiększenie sumarycznego obciążenia podpór tylnych i nieznaczne odciążenie podpór przednich. Średnia wartość obciążenia podpór tylnych i odciążenia podpór przednich zależna jest przy tym od wartości momentu obrotowego M_M silnika układu urabiania (przebieg w kolorze brązowym na rysunku 7). Przebiegi sumarycznego obciążenia zarówno podpór przednich, jak i tylnych charakteryzują się dużą zmiennością, a ich amplituda (rozumiana jako różnica wartości maksymalnej i minimalnej) przekracza 40 kN.

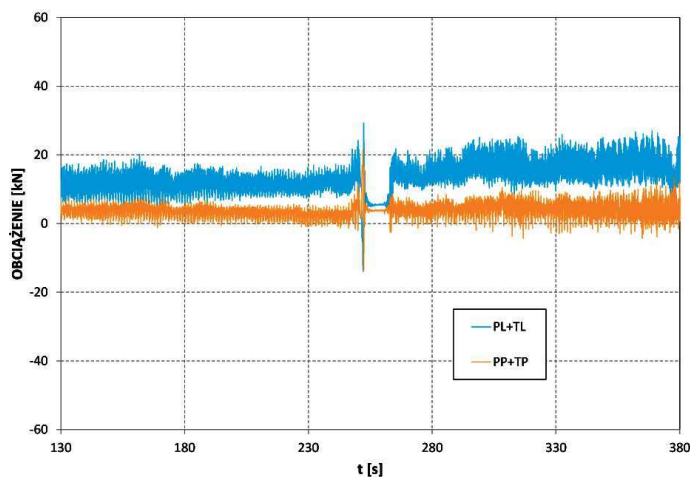
Urabianie powoduje znaczne zwiększenie wartości obciążenia działającego prostopadle do podłoża w podporach z lewej strony kombajnu (PL+TL) w porównaniu z podporami po stronie prawej (PP+TP), co jest wynikiem działania momentu obrotu wysięgnika podczas wychylania wysięgnika od lewej strony w prawo (rys. 8). Przebiegi sumarycznych sił obciążających



Rys. 6. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) oraz prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) podczas wykonywania skrawu górnego



Rys. 7. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) wynikające z procesu urabiania dla skrawu górnego

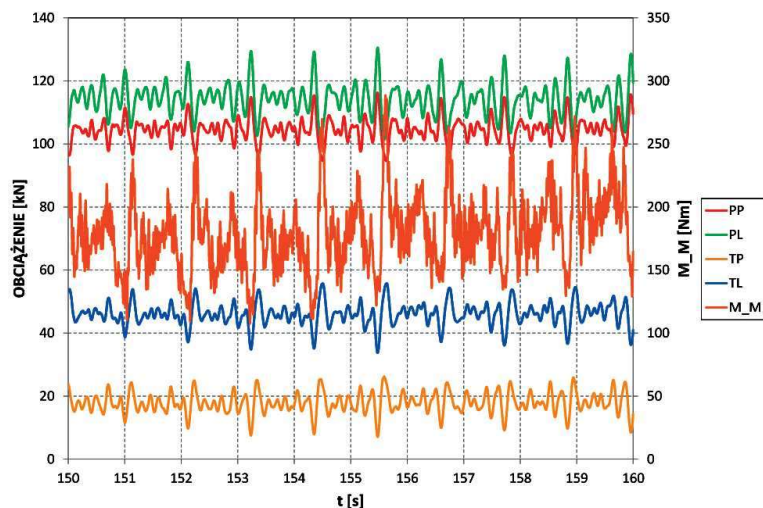


Rys. 8. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) wynikające z procesu urabiania dla skrawu górnego

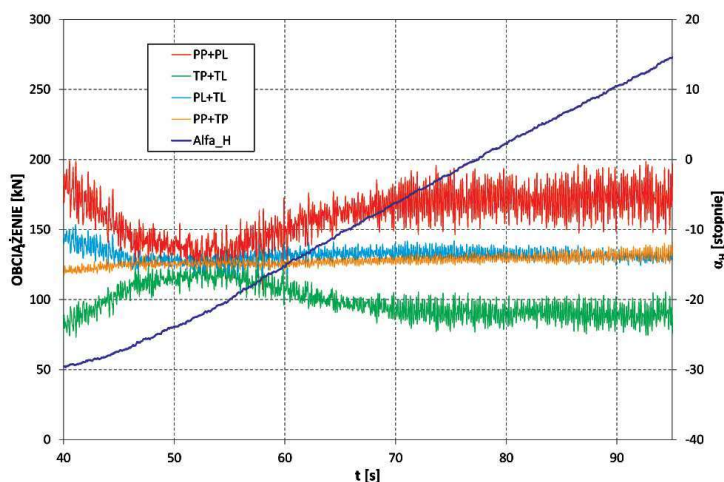
podpory lewe i prawe charakteryzują się mniejszą zmiennością niż w przypadku podpór przednich i tylnych. Powodem zróżnicowania amplitud drgań sił pomiędzy podporami przednimi i tylnymi (PP+PL i TP+TL na rys. 7) a podporami prawymi i lewymi (PP+TP i PL+TL na rysunku 8) jest sumowanie sił w poszczególnych podporach. Dla fragmentu pomiaru pomiędzy 150 a 160 sekundą pomiaru przedstawiono przebiegi czasowe obciążeń prostopadłych do podłoża, oddzielnie dla wszystkich podpór (rys. 9). Charakteryzują się one wyraźną powtarzalnością o okresie równym czasowi obrotu głowicy i zbliżonym zakresem zmienności. Siły w podporze przedniej prawej (PP) i podporze przedniej lewej (PL) zmieniają się w taki sam sposób. Przebiegi te są w przybliżeniu lustrzanym odbiciem przebiegu momentu obrotowego silnika napędu głowicy (chwilowy wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe odciążenie podpór przednich).

Natomiast drgania sił w podporze tylnej prawej (TP) i podporze tylnej lewej (TL) mają ten sam charakter co przebieg momentu obrotowego silnika napędu głowicy (chwilowy wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe dociążenie podpór tylnych). Oznacza to, że drgania sił w podporach przednich i tylnych są lustrzanym odbiciem, co powoduje przy sumowaniu obciążeń w podporach przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) zwiększenie amplitud drgań, zaś przy sumowaniu obciążeń w podporach prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) zmniejszanie amplitud drgań.

Skraw dolny o wysokości 121 mm był wykonany przy ustawieniu wysięgnika w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża $\alpha_V = -15^\circ$ podczas wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do podłoża w zakresie kątów α_H od -30° do $+14^\circ$ w czasie 55 s (rys. 10). Wykonanie skrawu dolnego poprzecznymi głowicami urabiającymi kombajnu istotnie wpływa na wartości



Rys. 9. Dziesięciosekundowy fragment przebiegów czasowych obciążeń dynamicznych podpór kombajnu wynikających z ciężaru kombajnu i procesu urabiania dla skrawu górnego

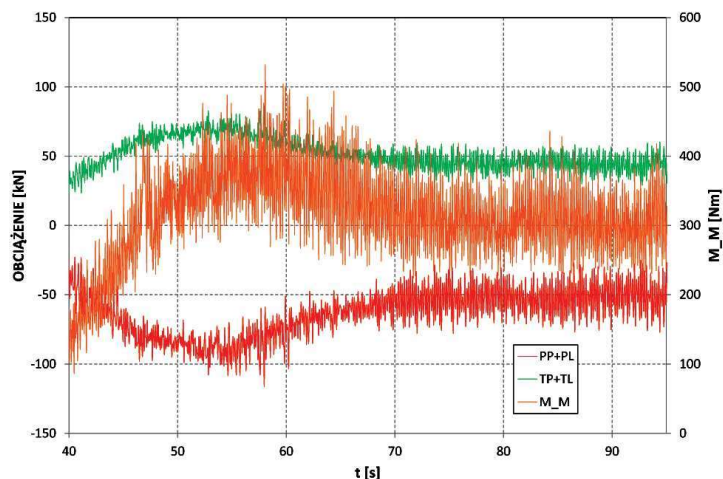


Rys. 10. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) oraz prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) podczas wykonywania skrawu dolnego

i charakter sił prostopadłych do podłoża przenoszonych w punktach podparcia kombajnu. Średnie wartości sumarycznych obciążeń podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) zmieniają się w dużym stopniu ze względu na zróżnicowane obciążenie układu urabiania. Istotnie wzrasta przy tym wartość sumarycznych obciążeń podpór tylnych (TP+TL), która w 55 sekundzie pomiaru niemal zrównuje się z wartością sumarycznych obciążeń podpór przednich (PP+PL).

Odejmując wartości obciążeń wywołanych ciężarem kombajnu od wartości zmierzonych obciążeń w podporach w trakcie urabiania, wyznaczono siły przenoszone na podłoże wywołane procesem urabiania. Wykorzystując zarejestrowany przebieg czasowy zmiany wartości kąta wychylenia wysięgnika w płaszczyźnie równoległej do spągu i wyznaczone wcześniej zależności sumarycznych obciążeń podpór przednich

i tylnych kombajnu w funkcji tego kąta, uzyskano przebiegi czasowe obciążeń podpór wynikające tylko z procesu urabiania podczas wykonywania skrawu dolnego (rys. 11). Podobnie, jak to miało miejsce w przypadku skrawu górnego siły oporu urabiania, działające na noże skrawające podczas wykonywania skrawu dolnego, wpływają na zwiększenie sumarycznego obciążenia podpór tylnych i odciążenie podpór przednich. Efekt ten jest jednak większy niż podczas realizacji skrawu górnego. Sumaryczne odciążenie podpór przednich wynikające z procesu urabiania osiąga w tym przypadku wartość -100 kN (jest zwrócona pionowo w górę), zaś dla podpór tylnych dochodzi do $+75$ kN. Średnie wartości obciążenia podpór tylnych i odciążenia podpór przednich są przy tym proporcjonalne do wartości momentu obrotowego M_M silnika układu urabiania (przebieg w kolorze brązowym na rysunku 11).



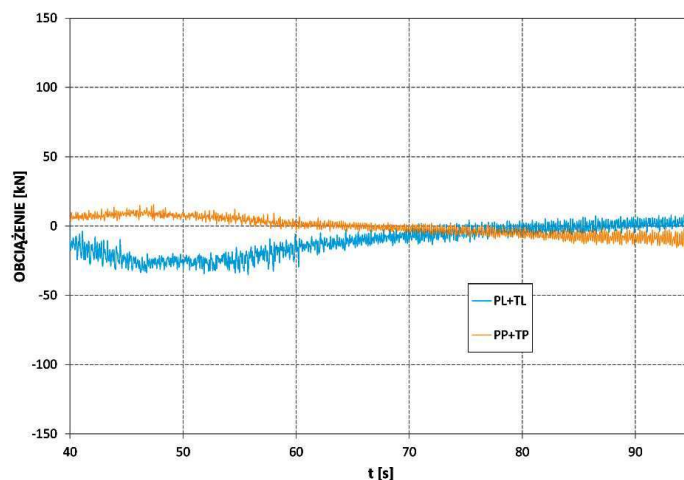
Rys. 11. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL) wynikające z procesu urabiania dla skrawu dolnego

Ze względu na niskie położenie wysięgnika przy wykonywaniu skrawu dolnego ($\alpha_V = -15^\circ$) wpływ momentu obrotu wysięgnika na rozkład reakcji prostopadłych do podłoża po lewej i prawej stronie kombajnu (PL+TL oraz PP+TP) jest mały. W rezultacie o przebiegu tych reakcji decyduje składowa pionowa wypadkowej reakcji od urabiania (rys. 12).

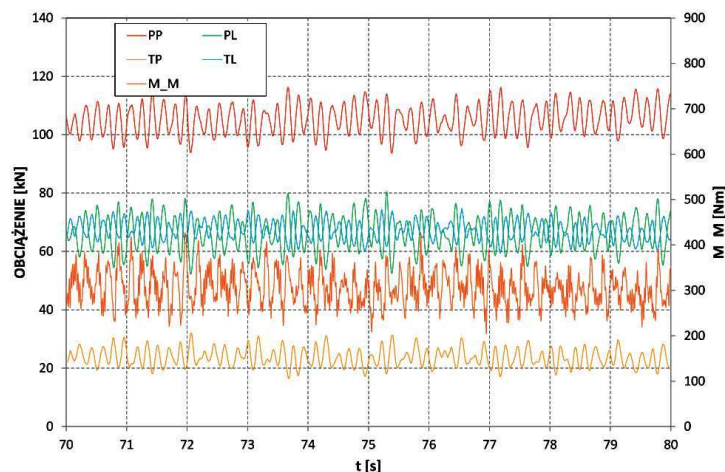
Drgania sumarycznych sił obciążających podpory lewe i prawe charakteryzują się mniejszą zmiennością niż obciążenia podpór przednich i tylnych. Wynika to z sumowania się sił reakcji z poszczególnych podpór.

Dla 10-sekundowego fragmentu pomiaru przedstawiono przebiegi czasowe obciążeń prostopadłych do podłoża oddzielnie dla wszystkich podpór (rys. 13). Podobnie jak w przypadku skrawu górnego również w przypadku skrawu dolnego drgania sił obciążających podpory w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża

charakteryzują się wyraźną powtarzalnością o okresie równym czasowi obrotu głowicy i zbliżonym zakresem zmienności. Drgania sił w podporze przedniej prawej (PP) i podporze przedniej lewej (PL) mają ten sam charakter i są lustrzanym odbiciem przebiegu momentu obrotowego silnika napędu (wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe odciążenie podpór przednich). Drgania sił w podporze tylnej prawej (TP) i podporze tylnej lewej (TL) zmieniają się również w jednakowy sposób. Przebiegi te mają jednak taki sam charakter jak przebieg momentu obrotowego silnika napędu głowic (wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe dociążenie podpór tylnych). Lustrzane odbicie przebiegów sił w podporach przednich i tylnych powoduje zwiększenie amplitud drgań w podporach przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL), zaś zmniejszanie amplitud drgań w podporach prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL).



Rys. 12. Przebiegi czasowe obciążeń dynamicznych podpór prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL) wynikające z procesu urabiania dla skrawu dolnego



Rys. 13. Dziesięciosekundowy fragment przebiegów czasowych obciążeń dynamicznych podparć kombajnu wynikających z ciężaru kombajnu i procesu urabiania dla skrawu dolnego

4. PODSUMOWANIE

Pomiary sił oddziaływania dynamicznego wysięgnikowego kombajnu chodnikowego na podłoże zostały przeprowadzone na stanowisku badawczym w Hali Technologicznej Wydziału Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Dokonano ich w trakcie urabiania bloku wykonanego z materiałów ekwiwalentnych (mas cementowo-piaskowych o różnej wytrzymałości na ściskanie) kombajnem chodnikowym R-130 (prod. Famur S.A.).

W celu identyfikacji rozkładu reakcji przenoszonych na podłoże kombajn został posadowiony na zespole podparć rozmieszczonych po dwie na każdej stronie kombajnu. Wyznaczono sumę obciążeń w podporach przednich (PP+PL) i tylnych (TP+TL), co pozwala wyznaczyć położenie środka ciężkości kombajnu względem podparć przednich oraz sumę obciążeń w podporach prawych (PP+TP) i lewych (PL+TL), co pozwala wyznaczyć odległość środka ciężkości od osi wzdłużnej kombajnu.

Proces urabiania jest źródłem silnych drgań wymuszonych oraz obciążeń dynamicznych, które poprzez więzy konstrukcyjne przenoszone są dalej na obrotnicę, ramę główną kombajnu oraz pozostałe, związane z nią podzespoły kombajnu. Drgania generowane procesem urabiania przez podpory kombajnu przekazywane są na spąg drążonego wyrobiska. Analizie poddano drgania przenoszone na podpory kombajnu prostopadle do podłoża dla dwóch skrawów zrealizowanych w wyniku wychylenia wysięgnika od lewej strony w prawo, przy czym pierwszy skraw był skrawem górnym a drugi skrawem dolnym.

Siły od urabiania działające na noże skrawające rozmieszczone na głowicach poprzecznych podczas wykonywania skrawu górnego wpływają na zwiększenie sumarycznego obciążenia podparć tylnych i odciążenie podparć przednich. Średnia wartość obciążenia podparć tylnych i odciążenia podparć przednich jest proporcjonalna do wartości momentu obrotowego silnika układu urabiania. W celu określenia wpływu procesu urabiania na siły przenoszone na podłoże od wartości zmierzonych obciążeń w podporach w trakcie urabiania odseparowano obciążenie wywołane ciężarem kombajnu. Siły urabiania działające na noże skrawające rozmieszczone na głowicach poprzecznych podczas wykonywania skrawu dolnego wpływają na zwiększenie sumarycznego obciążenia podparć tylnych i odciążenie podparć przednich w znacznie większym stopniu niż podczas realizacji skrawu górnego.

Zarówno dla skrawu górnego, jak i dla skrawu dolnego drgania sił obciążających podpory w płaszczyźnie prostopadłej do podłoża charakteryzują się zbliżonym zakresem zmienności i wyraźną powtarzalnością o okresie równym czasowi obrotu głowicy urabiającej. Drgania sił w podporze przedniej, prawej i lewej, mają ten sam charakter i są lustrzanym odbiciem przebiegu momentu obrotowego silnika napędu głowic (wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe odciążenie podparć przednich). Natomiast drgania sił w podporze tylnej, prawej i lewej, mają taki sam charakter, jak przebieg momentu obrotowego silnika napędu głowic (chwilowy wzrost momentu obrotowego powoduje chwilowe dociążenie podparć tylnych).

Podziękowania

Praca zrealizowana w ramach projektu pt. „Sterowanie ruchem głowic urabiających kombajnu chodnikowego dla potrzeb obniżenia energochłonności urabiania i obciążeń dynamicznych” dofinansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu Badań Stosowanych (umowa nr PBS3/B2/15/2015).

Literatura

- [1] Dolipski M., Cheluszka P.: *Dynamika układu urabiania kombajnu chodnikowego*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [2] Lansheng Zhang, Yuanyu Zhao, XiushanTang, Qiang Liu, Miao Cao, Miao Wu.: *Load Spectrum Research of Roadheader Cutting Header based on Rain Flow Method*, w: *Proceedings of 2016 International Congress on Computation Algorithms in Engineering (ICCAE 2016), June 25–26 2016, Bangkok, Thailand*, 401–406.
- [3] Wei Wang, Lin Yan, Tianzheng Wang, Shaoping Guan, Chao Zhang, Ying Zhang, Dawei Wang: *Dynamic load identification method of rock roadheader using multi neural network and evidence theory*, w: *Proceedings on 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, August 7–10 2016, Harbin, China*, 1238–1243.
- [4] Yi Liu, Yang Gao, Yingying Zhang, Jiaying Fu, Chuanhui Huang: *Working Vibration Analysis of the Bearing Plate on Roadheader Test Bed*, „MATEC Web of Conferences” 2015, 25, 03019: 6.
- [5] Zhao Xuelei, Liu He, Li Weitao: *Load Torque Observer for Cutting Motor of Roadheader Based on PLL*, w: *Proceedings of Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, January 6–7 2011, Shanghai, China*, 476–480.
- [6] Kogut J.: *Analiza spektrum odpowiedzi drgań drogowych*, Politechnika Krakowska, Kraków 1999 [praca doktorska].
- [7] Mrozek D.: *Nieliniowa analiza numeryczna dynamicznej odpowiedzi uszkodzonych budynków*, Politechnika Śląska, Gliwice 2010 [praca doktorska].
- [8] Nader M.: *Oddziaływania dynamiczne wybranych środków transportu na budynki i ludzi, na przykładzie badań węzła komunikacyjnego*, w: *Proceeding of International Scientific Conference „Transport of the 21st century”, 18–21.09.2007, Stare Jabłonki, Poland*, 2007.
- [9] Burnos P.: *Autokalibracja systemów ważących pojazdy samochodowe w ruchu oraz analiza i korekcja wpływu temperatury na wynik ważenia*, AGH, Kraków 2009 [praca doktorska].
- [10] Wiśnicki B., Wolnowska A.: *The systems of automatic weight control of vehicles in the road and rail transport in Poland*, „LogForum” 2011, 7, 3, 3: 25–33. <http://www.logforum.net/vol7/issue3/no3>.
- [11] Postolache O., Girão P.S.: *Calibration and application of a pressure mapping sensor*, w: *Proceedings of IMEKO 2010 TC3, TC5 and TC22 Conferences „Metrology in Modern Context”, November 22–25 2010, Pattaya, Chonburi, Thailand*, 329–332.
- [12] Cheluszka P., Remiorz E.: *Test stand for determining dynamic loads transmitted to the floor while roadheader operation*, „Technicka Diagnostyka” 2016, 25, 1: 62–70.
- [13] Dolipski M., Sobota P.: *Badania zmiany położenia środka ciężkości kombajnu chodnikowego*, „Maszyny Górnicze” 1998, 72: 23–29.

dr hab. inż. PIOTR CHELUSZKA, prof. PŚ

dr inż. PIOTR SOBOTA

mgr inż. GRZEGORZ GŁUSZEK

Katedra Mechanizacji i Robotyzacji Górnictwa

Wydział Górnictwa i Geologii

Politechnika Śląska

ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

{Piotr.Cheluszka, Piotr.Sobota,

Grzegorz.Gluszek}@polsl.pl