

Wstępna identyfikacja i ocena parametrów wpływających na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych

Elżbieta Radziszewska-Zielina¹, Anna Sobotka², Edyta Plebankiewicz¹, Krzysztof Zima¹

¹ *Zakład Technologii i Organizacji Budownictwa, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, e-mail: eradzisz@izwbit.pk.edu.pl, eplebank@izwbit.pk.edu.pl, kzima@izwbit.pk.edu.pl*

² *Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH, e-mail: sobotka@agh.edu.pl*

Streszczenie: Bez wiarygodnych danych dotyczących czasu pracy maszyn budowlanych niemożliwe jest skalkulowanie kosztów inwestycji czy określenie terminu jej realizacji. Na wydajność maszyny wpływa wiele czynników wynikających zarówno z możliwości technicznych maszyny (np. moc silnika czy pojemność łyżki koparki) jak i środowiska pracy (np. spulchnienie gruntu czy czynniki atmosferyczne). Na wydajność dodatkowo wpływają czynniki oddziaływujące na operatora (np. stan zdrowia, stres, zmęczenie). Dlatego celowe jest posługiwanie się pojęciem układ operator-maszyna.

Obecnie istniejący system norm czasu pracy maszyn zebrany w katalogach nakładów rzeczowych jest przestarzały (brak w nim nowoczesnych materiałów, technologii i obecnie używanego sprzętu). Nie bierze on pod uwagę wszystkich mogących wystąpić czynników atmosferycznych, warunków pracy, warunków gruntowo-wodnych. Efektem takiego stanu rzeczy mogą być przeszacowania lub niedoszacowania inwestycji.

Na podstawie przeprowadzonych badań sondażowych można stwierdzić, że największy wpływ na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych mają parametry związane z kondycją psychofizyczną operatora (doświadczenie, zmęczenie, stan zdrowia i motywacja operatora) oraz parametry techniczne maszyny (stan techniczny i wydajność techniczna, teoretyczna). Z kolei warunki atmosferyczne, w szczególności wilgotność powietrza w najmniejszym stopniu wpływa na wydajność.

Słowa kluczowe: układ operator-maszyna, roboty ziemne, wydajność, czas pracy.

1. Wprowadzenie

Wydajność to wielkość produkcji przypadająca na jednostkę zużytego do jej wytworzenia czynnika produkcji. Wydajność to zatem ekonomiczna miara efektywności odnosząca wielkość produkcji do wielkości zasobów użytych do jej wytworzenia. Jeżeli czynnikiem tym jest praca, to mówimy o wydajności pracy. Wydajność charakteryzuje wartość liczbowa jednostek miary produkcji, którą maszyna wykonuje w określonym przedziale czasu, w przyjętych warunkach realizacji i jakości [1, s.34]. Wydajność techniczna maszyny podawana przez producenta to maksymalna liczba jednostek, właściwej jakościowo produkcji, jaką maszyna może wykonać w ciągu jednostki czasu, realizując określone roboty, w zbliżonych warunkach techniczno-organizacyjnych. Zakłada się tutaj najkorzystniejsze warunki np. praca nieprzerwana, stan techniczny maszyny nie wpływający ujemnie na wydajność, właściwe kwalifikacje operatora, korzystne warunki atmosferyczne i psychofizyczne. Wydajność praktyczna to średnia liczba jednostek właściwej jakościowo produkcji, jaką maszyna wykonała w jednostce czasu, realizując określone roboty w zbliżonych warunkach technologiczno-organizacyjnych, przy uwzględnieniu doświadczenia i cech osobowych operatora, warunków psychofizycznych, parametrów eksploatacyjnych, stanu technicznego i technologicznych warunków pracy [2, s.92]. Norma wydajności maszyny to przeciętna liczba produkcji, wykonanej przez maszynę w określonej jednostce czasu (którą może być maszynogodzina, zmiana robocza, dzień, tydzień), natomiast norma czasu pracy maszyny to przeciętna liczba godzin zatrudnienia maszyny (zwanym maszynogodzinami), niezbędna do wykonania jednostki

produkcji [3, s.70].

Bez wiarygodnych danych dotyczących czasu pracy maszyn budowlanych w celu wykonania konkretnych robót budowlanych, niemożliwe jest skalkulowanie kosztów inwestycji czy określenie terminu jej realizacji. Podstawą do jego zaplanowania jest znajomość wydajności maszyn budowlanych. Na wydajność maszyny wpływa wiele czynników wynikających zarówno z możliwości technicznych maszyny (np. moc silnika czy pojemność łyżki koparki) jak i środowiska pracy (np. spulchnienie gruntu czy czynniki atmosferyczne). Na wydajność maszyny dodatkowo wpływają czynniki oddziaływające na jej operatora (np. stan zdrowia, stres, zmęczenie). Dlatego celowe jest posługiwanie się pojęciem układ operator-maszyna.

Obecnie istniejący system norm czasu pracy maszyn zebrany w katalogach nakładów rzeczowych jest przestarzały (brak w nim nowoczesnych materiałów, technologii i obecnie używanego sprzętu). Nie bierze on pod uwagę mogących wystąpić czynników atmosferycznych, warunków pracy, warunków gruntowo-wodnych. Ze względu na tempo zmian w budownictwie istniejące normy wymagają aktualizacji. W praktyce przedsiębiorstwa, które nie mają umiejętności własnego opracowania norm czy korygowania norm istniejących i korzystają z nieaktualnych katalogów, mają problemy. Efektem takiego stanu rzeczy są przeszacowania lub niedoszacowania inwestycji co na etapie realizacji prowadzi m.in. do licznych opóźnień w pracach budowlanych, możliwości przedłużenia czasu trwania budowy i wzrostu kosztów budowy a w skrajnych przypadkach do wstrzymania budowy.

Celem artykułu jest identyfikacja i ocena czynników wpływających na rzeczywisty czas pracy sprzętu budowlanego przy wykonywaniu robót budowlanych (wydajność układu człowiek-maszyna) ze szczególnym uwzględnieniem cech psychofizycznych operatora. Autorzy ograniczyli rozważania do maszyn budowlanych przeznaczonych do wykonywania robót ziemnych.

2. Problematyka wydajności pracy maszyn budowlanych

Szacowanie wydajności pracy maszyn budowlanych opiera się na dostępnych w literaturze wzorach analitycznych. W przypadku maszyny budowlanej pracującej indywidualnie wyróżnia się np. wydajność: teoretyczną, techniczną, eksploatacyjną, praktyczną, roczną, normową [4, 1]. Lenkiewicz [2] podaje, że w praktyce wydajność i sposób jej obliczenia zależy od: kwalifikacji operatora, cech osobowych operatora, warunków psychofizycznych, warunków atmosferycznych, parametrów eksploatacyjnych maszyny, stanu technicznego maszyny, rzeczywistych warunków technicznych realizacji robót, warunków techniczno-organizacyjnych. Nieuniknione przerwy w pracy mogą być spowodowane względami technologicznymi, wynikać z pracy samego sprzętu lub wiązać się z odpoczynkiem obsługi. Przerwy związane z odpoczynkiem obsługi występują wtedy, gdy obsługa sprzętu jest na tyle uciążliwa, że czas na odpoczynek w czasie zmiany roboczej jest niezbędny, a jednocześnie nie zbiega się z innymi nieuniknionymi przerwami. Do kategorii tej wlicza się czas na potrzeby naturalne obsługi.

Brak jest publikacji aktualnych wyników badań, które uwzględniają nie tylko wpływ warunków wodno-gruntowych, warunków atmosferycznych czy parametrów technicznych, ale także uwzględniających wpływ kondycji psychofizycznej operatora na wydajność układu operator-maszyna. Komfort i czas pracy operatora oraz czynniki psychofizyczne i ergonomiczne warunki pracy mają zasadniczy wpływ na wydajność pracy układu operator-maszyna. Również ze względów bezpieczeństwa istotne jest, jakie czynniki w jaki sposób mogą wpłynąć na pogorszenie wydajności układu operator-maszyna. Przykładowo nadmierne zmęczenie fizyczne, a co za tym idzie spowolnienie reakcji na oddziaływanie bodźców zewnętrznych (ruch pojazdów na drodze, sygnałów dźwiękowych i świetlnych) czy też zaśnięcie podczas prowadzenia pojazdu, mogą spowodować nie tylko pogorszenie wydajności pracy układu operator-maszyna budowlana, ale również spowodować zagrożenie życia i zdrowia osób trzecich przebywających na placu budowy.

Kondycja psychofizyczna operatora wpływa na wydajność układu operator-maszyna. Z kolei na nią wpływa np. poziom hałasu (głównie generowanego przez pracującą maszynę budowlaną); komfort cieplny (temperatura i wilgotność panująca w kabinie operatora); drgania generowane podczas pracy maszyny; zmęczenie operatora i jego zdolność

koncentracji; przestrzeń do wykonywania czynności kierowania pojazdem, możliwość zajęcia wygodnej pozycji, możliwość odpoczynku; wysiłek fizyczny, łatwe i wygodne posługiwanie się urządzeniami do kierowania, hamowania; możliwości sygnalizacji i oświetlenia drogi z równoczesną jej obserwacją; zapewnienie czytelnych i jednoznacznych informacji o funkcjonowaniu mechanizmów i podzespołów, dobra widoczność operatora; przyjazne warunki środowiskowe; oświetlenie wnętrza i tablicy rozdzielczej; przyjemne materiały i kolorystyka; kwalifikacje; lata pracy w zawodzie, doświadczenie operatora; wiek; stan zdrowia; stres różnego pochodzenia; sytuacja rodzinna; dzień tygodnia; kolejna godzina i dzień pracy w podobnych warunkach; atmosfera w pracy; sytuacja na rynku pracy, czynniki ekonomiczne, system motywacyjny płacowy i pozapłacowy i wiele, wiele innych równie trudnych do zidentyfikowania, zbadania i ścisłego, matematycznego opisanie.

Kwestia literatury i przeprowadzonych badań w tym zakresie przedstawia się następująco. W praktyce obecnie oszacowanie czasu robót budowlanych opiera się głównie na osądach i doświadczeniu wykonawców budowlanych. Wiadomości na ten temat są przechowywane we własnej informacyjnej bazie danych przedsiębiorstw. Wzmianki na ten temat są również w niektórych opracowaniach producentów maszyn budowlanych, w ich katalogach i informatorach. Przykładowo w opracowaniu Caterpillar [5] są podane współczynniki wpływające na wydajność (np. umiejętności operatora, warunki pogodowe). Podano tam też trzy metody określania wydajności i przykład doboru maszyny. Jeżeli nawet w opracowaniach podane są wartości niektórych współczynników wpływających na wydajność, to brak jest omówienia metodyki ich wyznaczenia. Przeprowadzane w tym zakresie badania, także w innych krajach są tylko wybiórcze (ujmujące wybrany sprzęt i określone warunki). Przykładowo w opracowaniach [6, str. 133-137] oraz [7] podjęto temat wyznaczenia praktycznej wydajności betoniarki na budowie, opracowano graficzny model do wyznaczania wydajności w praktyce budowlanej, w którym uwzględniono parametry techniczne, technologiczne i organizacyjne mające wpływ na wydajność pracy, a wyznaczono je w sposób doświadczalny. Brak jest natomiast badań obejmujących kompleksowo czynniki mające wpływ na rzeczywisty czas realizacji robót wykonywanych za pomocą sprzętu ciężkiego jak i opracowanych modeli obliczeniowych wspomagających proces wyznaczania czasu realizacji przy uwzględnieniu wpływu zróżnicowanych czynników.

W książce pod red. Lenkiewicza [2] w jednym z podrozdziałów podjęto się próby identyfikacji współczynników uwzględniających różne wpływy przy obliczaniu wydajności praktycznej maszyn budowlanych. Podano współczynniki, wzory oraz interpretacje graficzną wpływu poszczególnych czynników na wydajność. Ze względu na liczbę omówionych czynników, jest to wyróżniające się opracowanie na tle innych pozycji. Należy jednak zauważyć, że jest to opracowanie sprzed blisko 30 lat. Przykładowo parametry techniczne maszyny i komfort pracy operatora (np. ze względu na klimatyzację) jest inny niż kilkanaście czy kilkadziesiąt lat temu. Warunki społeczne, ekonomiczne, polityczne i prawne również są inne niż w czasach sprzed transformacji ustrojowej. Lenkiewicz wymienia wartości moralne i świadomość społeczną jako cechy osobowe wpływające na wydajność. Dzisiaj w organizacji i zarządzaniu kładzie się nacisk na czynnik motywacji do pracy (funkcjonowanie systemu motywacyjnego w przedsiębiorstwie). Zatem należy zidentyfikować i ocenić wpływ aktualnie występujących czynników w aktualnych warunkach wewnętrznych układu operator-maszyna oraz w jego otoczeniu. W tabeli 1 zestawiono parametry - czynniki podane w książce Lenkiewicza oraz zaproponowane przez autorów.

Stosowane w praktyce wzory wyznaczające wydajność eksploatacyjną koparki jednonaczyniowej uwzględniają najczęściej jedynie współczynniki napełnienia naczynia roboczego, spistości gruntu oraz wykorzystania czasu roboczego. Choć liczne podręczniki i poradniki z zakresu technologii robót ziemnych, np. [1, 8], podają orientacyjne średnie wartości tych współczynników, trudno jest określić ich użyteczność dla obecnie stosowanych maszyn.

Badacze używają różnych narzędzi próbując modelować czas pracy maszyn budowlanych. Przykładowo do oszacowania czasu pracy koparek wykonujących określone roboty ziemne, Tam, Tong i Tse [9] (którzy opracowali ilościowy model określania wydajności pracy koparek) oraz Shi [10] a w Polsce Schabowicz i Hoła [11] zastosowali

sztuczne sieci neuronowe, natomiast Edwards i Holt [12] zastosowali model regresji wielorakiej. Edwards i Holt [12] opracowali model do obliczania wydajności koparek i kalkulacji kosztów przy uwzględnieniu parametrów technicznych: masa maszyny, głębokość kopania i kąt wychylenia, oparty na analizie regresji. Często w literaturze rozpatrywana jest współpraca zespołów maszyn, np. koparka i samochody samowładowcze odwożące urobek z prac ziemnych. W pracy Kirmanli i Ercelebi [13] wykorzystano system ekspertowy do modelowania prac takiego zespołu roboczego. Próby z wykorzystaniem symulacji prac również zostały zapoczątkowane, są prowadzone jednak jedynie przy pomocy symulacji komputerowych i modelowano tam wpływ systemu prowadzenia prac, czy sposobu kopania na czas robót, np. w pracy Kim i in. [14] lub Schmidt, Proetzsch i Berns [15], a nie wpływ warunków pracy na czas robót budowlanych. Literatura polska jak i zagraniczna skupia się raczej na projektowaniu i badaniu wydajności zespołów maszyn, np. [13, 16, 17], nie analizując wydajności pojedynczej maszyny.

Tab. 1 Parametry wpływające na wydajność pracy układu operator-maszyna do robót ziemnych

Identyfikacja według Lenkiewicza [2] dla koparek	Identyfikacja według autorów artykułu dla maszyn do robót ziemnych
PARAMETRY ZWIĄZANE Z MASZYNĄ	
<p>Parametry eksploatacyjne koparki pojemność naczynia roboczego, głębokość i promień skrawania, wysokość i promień wylądunku, rodzaj podwozia</p> <p>Stan techniczny czas eksploatacji, sprawność techniczna, zużycie energii, częstotliwość awarii, zmniejszenie prędkości ruchów roboczych</p>	<p>Parametry techniczne maszyny dla poszczególnych maszyn np. pojemność łyżki dla koparek</p> <p>dla wszystkich maszyn: wydajność techniczna maszyny określona przez producenta, rok produkcji maszyny, częstotliwość wykorzystania, stan techniczny</p>
PARAMETRY ZWIĄZANE Z OPERATOREM	
<p>Kwalifikacje wiedza, umiejętności, doświadczenie, cechy osobowe</p> <p>Cechy osobowe wartości moralne, wiedza ogólna, i zawodowa, warunki fizyczne, stan zdrowia, świadomość społeczna</p> <p>Warunki psychofizyczne wpływ kolejnej godziny pracy operatora w czasie jednej zmiany roboczej, wpływ kolejnego dnia tygodnia</p>	<p>Komfort pracy operatora ergonomia kabiny, klimatyzacja, hałas, drgania</p> <p>Kondycja psychofizyczna operatora stan zdrowia, stres, zmęczenie, biometr, dzień tygodnia, czas pracy (kolejna godzina), wiek, doświadczenie, motywacja</p>
PARAMETRY ZWIĄZANE Z OTOCZENIEM	
<p>Warunki atmosferyczne temperatura, opady śniegu, deszcz, wiatr, mgła</p>	<p>Warunki atmosferyczne opady deszczu/śniegu, wiatr, wilgotność powietrza, temperatura otoczenia, mgła</p>
<p>Techniczno-organizacyjne warunki pracy przerwy losowe, awarie, brak materiałów budowlanych, paliwa lub energii, zawodność systemów współpracujących, niewłaściwe działanie systemów organizacyjnych, przerwy przewidziane, bieżące naprawy i konserwacje</p>	<p>Warunki techniczno-organizacyjne parametry wykopu, metoda organizacji pracy</p>
<p>Rzeczywiste warunki techniczne realizacji robót (technologiczne warunki pracy) współczynnik napełnienia, zagęszczenia, spulchnienia</p>	<p>Warunki wodno-gruntowe właściwości gruntu, poziom wody gruntowej, pofalowanie terenu</p>

Źródło: opracowanie własne

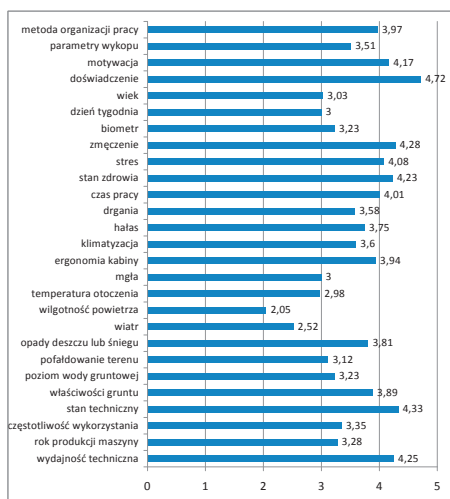
Zagadnieniami wpływu różnych czynników na układ człowiek – maszyna zajmuje się w szerokim zakresie ergonomia np. [18], która dysponuje wiedzą i narzędziami pozwalającymi na projektowanie, badanie i analizę układu, w celu m.in. uzyskiwania jak najlepszej jakości pracy i satysfakcjonującej wydajności. Złożoność problematyki ergonomii w realizacji procesów i przedsięwzięć budowlanych w podziale na ergonomiczne projektowanie stanowisk pracy podczas wykonania robót budowlanych, zespoły robocze, projektowanie ergonomiczne mieszkań i inne zagadnienia w zakresie ergonomii w budownictwie itd., mówiono w jednej z niewielu kompleksowych książek o temacie ergonomia w budownictwie autorów T. Taczanowska, P. Jaśkowski [19]. Powstało natomiast wiele mniejszych prac dotyczących badania wpływ różnego rodzaju czynników otoczenia m. in. na operatorów maszyn [20, 21]. Szczegółowo badane były m. in. takie

czynnikami jak wibracje [22-25], poziom hałasu [26, 27], stres [28, 29]. Szczególną uwagę zwraca się na wpływ czynników na ilość wypadków [30]. Publikacje te wprawdzie dotyczą maszyn budowlanych, ale badają raczej wpływ czynników (stres, wibracje, hałas) na ogólną kondycję psychofizyczną operatora czy czas jaki może pracować w takich warunkach, także na wypadkowość, bhp. W dostępnych publikacjach nie ma bezpośredniego przełożenia wyników badań w zakresie kondycji psychofizycznej operatora oraz dodatkowo parametrów technicznych związanych z maszyną i otoczeniem (warunki wodno-gruntowe i atmosferyczne) na wydajność pracy układu człowiek-maszyna.

Podsumowując, analizy czasu realizacji robót wykonywanych przy pomocy maszyn bazują na przestarzałych i niezgodnych z rzeczywistością normach. Brak jest badań obejmujących kompleksowo czynniki mające wpływ na rzeczywisty czas realizacji robót wykonywanych za pomocą maszyn budowlanych jak i modeli wspomagających proces wyznaczania czasu realizacji przy uwzględnieniu wpływu zróżnicowanych czynników.

3. Badania własne

Pierwszy etap badań, rozpoczętych w analizowanym temacie przez autorów, obejmuje wstępne badania sondażowe dotyczące oceny przez ekspertów budowlanych parametrów wpływających na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych. Na podstawie analizy dostępnych publikacji, rozmów z ekspertami i własnych doświadczeń zawodowych zdecydowano się na identyfikację 6 grup czynników. Są to: parametry techniczne maszyny, warunki wodno-gruntowe, warunki techniczno-organizacyjne, warunki atmosferyczne, komfort pracy operatora, kondycja psychofizyczna operatora (tab.1, kolumna 2).

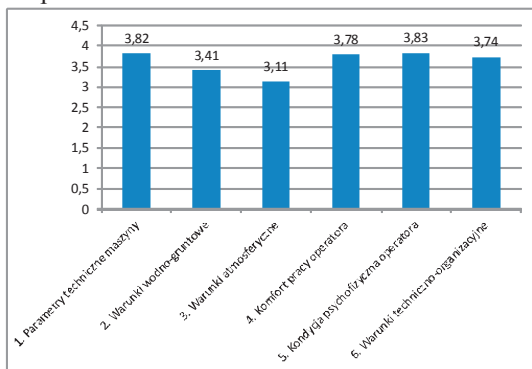


Rys.1. Rozkład częstości odpowiedzi na pytanie o ocenę w skali 5-cio stopniowej, w jakim stopniu poszczególne parametry wpływają na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych (1-oznacza bardzo mały wpływ, 5-bardzo duży wpływ) Źródło: opracowanie własne

Na początku 2013 roku przeprowadzono badania za pomocą ankiety internetowej umieszczonej na stronie <http://ztob.pk.edu.pl/>. Do przedsiębiorstw budowlanych (województwo małopolskie i mazowieckie, za pośrednictwem Izby Inżynierów Budownictwa) został wysłany list przewodni z informacją o prowadzonych badaniach i instrukcją postępowania celem zalogowania się i wypełnienia kwestionariusza ankiety. W ramach przeprowadzonych badań ankietowych, eksperci z przedsiębiorstw budowlanych mieli za zadanie ocenić w skali 5-cio stopniowej (1-bardzo mały, 2-mały, 3-średni, 4-duży, 5-bardzo duży wpływ), w jakim stopniu poszczególne parametry ogólne i szczegółowe wpływają na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych. Respondentami byli kompetentni właściciele, inżynierowie, kierownicy budów, operatorzy maszyn

budowlanych. W sumie kwestionariusz wypełniło 65 ekspertów. Badania należy traktować jako sondażowe. Uzyskano następujące wyniki.

Najsilniej na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych wpływają, w opinii ekspertów z przedsiębiorstw budowlanych, następujące parametry (rys.1.): doświadczenie operatora (średnia ocena 4,72), stan techniczny maszyny (4,33), zmęczenie operatora (4,28), wydajność techniczna, maksymalna wskazana przez producenta (4,25), stan zdrowia operatora (4,23) i jego motywacja (4,17). Parametry te uzyskały średnią ocenę pomiędzy duży a bardzo duży wpływ. Pierwsze dwa parametry zostały również wymienione w artykule [31] jako istotne czynniki wpływające na efektywność wykorzystania maszyn w procesach budowlanych. Są to: ogólna sprawność techniczna maszyn i doświadczenie operatorów.



Rys.2. Rozkład częstości odpowiedzi na pytanie o ocenę w skali 5-cio stopniowej, w jakim stopniu grupy parametrów wpływają na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych (1-oznacza bardzo mały wpływ, 5-bardzo duży wpływ) Źródło: opracowanie własne

W obrębie sześciu grup parametrów (utworzonych zgodnie z tab.1, kolumna 2), (rys.2) największy wpływ na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych mają parametry związane z kondycją psychofizyczną operatora oraz parametry techniczne maszyny.

Jak wspomniano wcześniej, sondaż stanowi pierwszy etap badań. Kolejnym będą liczne badania poszczególnych parametrów w warunkach laboratoryjnych oraz ich weryfikacja w badaniach terenowych na placu budowy. Ważne w tego typu analizach jest określenie, które czynniki są od siebie niezależne, a które są skorelowane (w takiej sytuacji część z nich można zredukować). Istotne jest również porównanie ich wpływu na wydajność pracy. Efektem końcowym będzie opracowanie matematycznego modelu wspomagającego proces wyznaczania czasu realizacji przy uwzględnieniu wpływu zróżnicowanych czynników.

4. Podsumowanie

Bez wiarygodnych danych dotyczących czasu pracy maszyn budowlanych niemożliwe jest skalkulowanie kosztów inwestycji czy określenie terminu jej realizacji. Na wydajność maszyny wpływa wiele czynników wynikających zarówno z możliwości technicznych maszyny (np. moc silnika czy pojemność łyżki koparki) jak i środowiska pracy (np. spulchnienie gruntu czy czynniki atmosferyczne). Na wydajność dodatkowo wpływają czynniki oddziaływujące na operatora (np. stan zdrowia, stres, zmęczenie). Dlatego celowe jest posługiwanie się pojęciem układ operator-maszyna.

Obecnie istniejący system norm czasu pracy maszyn zebrany w katalogach nakładów rzeczowych jest przestarzały (brak w nim nowoczesnych materiałów, technologii i obecnie używanego sprzętu). Nie bierze on pod uwagę wszystkich mogących wystąpić czynników atmosferycznych, warunków pracy, warunków gruntowo-wodnych. Efektem takiego stanu rzeczy mogą być przeszacowanie lub niedoszacowanie inwestycji.

Na podstawie przeprowadzonych badań sondażowych można stwierdzić, że największy wpływ na wydajność układu operator-maszyna do robót ziemnych mają

parametry związane z kondycją psychofizyczną operatora (doświadczenie, zmęczenie, stan zdrowia i motywacja operatora) oraz parametry techniczne maszyny (stan techniczny i wydajność techniczna, teoretyczna). Z kolei warunki atmosferyczne, w szczególności wilgotność powietrza w najmniejszym stopniu wpływa na wydajność.

Literatura

- 1 Martinek W. (red.). *Technologia robot budowlanych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2010.
- 2 Lenkiewicz W. (red.). *Technologia robót budowlanych*. PWN, Warszawa, 1985.
- 3 Zajączkowska T. *Kalkulacja kosztorysowa w budownictwie i jej komputerowe wspomaganie*. Wydawnictwo RADAMSA, Kraków, 1997.
- 4 Linczowski Cz. *Technologia robót budowlanych*. Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, 2000.
- 5 Caterpillar Performance Handbook 42, a publication by Caterpillar Inc. Peoria, Illinois, U.S.A., January 2012 www.pbcpl.com.pl/Caterpillarxx.
- 6 Bašková, R. Realizácia betonových konštrukci. BELMAS GROUP, Martin, 2008.
- 7 Bašková, R. DACHOWSKI, R. Progressive methodology for determination of concrete plants productivity. *Structure and Environment*. Kielce University of Technology 2 (2010) 18-23.
- 8 Stefański A., Walczak J. *Technologia robot budowlanych*. Arkady, Warszawa, 1983.
- 9 Tam C.M., Tong T. K.L., Tse S. L. Artificial neural networks model for predicting excavator productivity. *Engineering, Construction and Architectural Management* 9 (2002) 446 – 452.
- 10 Shi J.J. A neural network based system for predicting earthmoving production. *Construction Management & Economics* 17 (1999) 463–471.
- 11 Schabowicz K., Hoła B. Application of artificial neural networks in predicting earthmoving machinery effectiveness ratios. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 4 (2008) 73-84.
- 12 Edwards D.J., Holt G.D. ESTIVATE: a model for calculating excavator productivity and output costs. *Engineering, Construction and Architectural Management* 7 (2000) 52 – 62.
- 13 Kirmanli C., Ercelebi S.G. An expert system for hydraulic excavator and truck selection in surface mining. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy* 109 (2009) 727-731.
- 14 Kim Y. B., Kang H., Ha J. H., Kim M. S., Kim P. Y., Baek S. J., Park J. A Study on the Virtual Digging Simulation of a Hydraulic Excavator, CIB Co-sponsored: 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC (2011) 95-100.
- 15 Schmidt D., Proetzsch M., Berns K. Simulation and Control of an Autonomous Bucket Excavator for Landscaping Tasks <http://agrosy.informatik.uni-kl.de/fileadmin/Literatur/Schmidt10.pdf>.
- 16 Hoła B., Schabowicz K. Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych do predykcji wydajności układów maszyn do robot ziemnych. *Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej* Nr 87 Studia i materiały 18 (2006) 101-108.
- 17 Marcinkowski R., Koper A. Projektowanie zespołu maszyn zapewniających ciągłość betonowania konstrukcji monolitycznej. *Budownictwo i inżynieria środowiska, Politechnika Białostocka* 2 (2011) 583-587.
- 18 Wykowska M. (2010). *Ergonomia*. Wyd. AGH, Kraków (książka elektroniczna).
- 19 Taczanowska T., Jaśkowski P.: *Ergonomia w budownictwie*. Politechnika Lubelska. Lublin 1998.
- 20 B. Osafo-Yeboah, S. Jiang, R. Delpish, Z. Jiang, C. Ntuen: Empirical study to investigate the range of force feedback necessary for best operator performance in a haptic controlled excavator interface, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 43 (2013) 197-202.
- 21 Meshkati, N., Integration of workstation, job, and team structure design in complex human-machine systems: a framework. *International Journal of Industrial Ergonomics* 7 (1991) 111-122.
- 22 T. H. Langer, T. K. Iversen, N. K. Andersen, O. Ø. Mouritsen, M. R. Hansen: Reducing whole-body vibration exposure in backhoe loaders by education of operators, *International Journal of Industrial Ergonomics* 42 (2012) 304-311.
- 23 Tiemessen, I.J., Hulshof, C.T.J., Frings-Dresen, M.H.W. An overview of strategies to reduce whole-body vibration exposure on drivers: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37 (2007) 245-256.
- 24 Wikström, B., Kjellberg, A., Dallner, M. Whole-body vibration. a comparison of different

- methods for the evaluation of mechanical shocks. *International Journal of Industrial Ergonomics* 7 (1991) 41-52.
- 25 J. M. Cabeças, R. J. Milho: The efforts in the forearm during the use of anti-vibration gloves in simulated work tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics* 41 (2011) 289-297.
 - 26 Fernandez, M.D., Quintana, S., Chavarria, N., Ballesteros, J.A. Noise exposure of workers of the construction sector. *Applied Acoustics* 70 (2009) 753-760.
 - 27 P. M. Arezes, C.A. Bernardo, O. A. Mateus: Measurement strategies for occupational noise exposure assessment: A comparison study in different industrial environments *International Journal of Industrial Ergonomics* 42 (2012) 172-177.
 - 28 Gillen, M., Baltz, D., Gassel, M., Kirsch, L., Vaccaro, D., Perceived safety climate, job demands, and coworker support among union and non-union injured construction workers. *Journal of Safety Research* 33 (2002) 33-51.
 - 20 Wahlberg, A.E. Long-term effects of training in economical driving: fuelconsumption, accidents, driver acceleration behaviour and technical feedback. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37 (2007) 333-343.
 - 30 O. O. Abbe, C. M. Harvey, L. H. Ikuma, F. Aghazadeh: Modeling the relationship between occupational stressors, psychosocial/physical symptoms and injuries in the construction industry, *International Journal of Industrial Ergonomics* 41 (2011) 106-117.
 - 31 Wirkus M., Węgiński T., Chmielarz A. Marnotrawstwo pracy maszyn na placu budowy. *Budownictwo i inżynieria środowiska, Politechnika Białostocka* 2 (2011) 699-707.

Preliminary identification and evaluation of parameters affecting the capacity of the operator-earthmoving machine system

**Elżbieta Radziszewska-Zielina¹, Anna Sobotka², Edyta Plebankiewicz¹
Krzysztof Zima¹**

¹ *Section of Technology and Building Management, Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology, e-mail: eradzisz@izwbit.pk.edu.pl, eplebank@izwbit.pk.edu.pl, kzima@izwbit.pk.edu.pl*

² *Department of Geomechanics, Civil Engineering and Geotechnics, Faculty of Mining and Geoengineering, AGH University of Science and Technology, e-mail: sobotka@agh.edu.pl*

Abstract: Without reliable data on the time of work of construction machines it is impossible to calculate the cost of the investment or the time limit for its implementation. Machine capacity is affected by many factors resulting from both the technical capabilities of a machine (e.g. the engine and bucket capacity) and work environment (e.g. soil loosening and weather conditions). Capacity is also influenced by factors affecting the operator (e.g. health condition, stress, fatigue). Therefore, it is appropriate to use the concept of the operator-machine system.

The current system for the standards of machine working time collected in catalogues of capital expenditures is outdated (a lack of modern materials, technology and equipment currently used). It does not take into account all possible weather conditions, labour conditions and soil and water conditions. The result of this state of affairs may be overestimation or underestimation of an investment.

On the basis of the conducted research it may be concluded that the greatest impact on the capacity of the operator-earthmoving machine system is exerted by parameters associated with the psychophysical condition of the operator (experience, fatigue, health and motivation of the operator) and the technical parameters of the machine (technical condition and theoretical technical capacity). Weather conditions, particularly air humidity, affect the performance to the smallest extent.

Keywords: operator-machine system, earthworks, capacity, uptime.