# ANALIZA CICLURILOR DE LUCRU ALE BULDOEXCAVATOARELOR CU SUPORT UAV ȘI AI

**Conf. dr. ing. Ioan Mihail SAVANIU, Conf. dr. ing. Oana TONCIU, Ș.l. dr. ing. Cristina SESCU-GAL, Drd. ing. Claudiu ȘERBAN**

Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Inginerie Mecanică și Robotică în Construcții, București, România

**REZUMAT. Lucrarea propune un cadru de evaluare a eficienței traseelor utilajelor de terasamente prin analiza înregistrărilor UAV și reutilizează explicit două secvențe experimentale documentate anterior pentru un buldoexcavator JCB 4CX PRO. Au fost comparate două cicluri de transport al pământului, cu și fără ocolirea unui obstacol: 52 s, respectiv 44 s. Eliminarea ocolirii este asociată cu reducerea duratei ciclului cu 15,4% și cu o creștere potențială de 18,2% a numărului de cicluri pe oră, în ipoteza aceleiași încărcături utile. Pe baza acestor indicatori este formulată o metodologie de automatizare prin detecție, urmărire și clasificarea fazelor de lucru. Rezultatele reprezintă o analiză a observațiilor existente; validarea unui algoritm AI va fi realizata in etapele viitoare.**

**Cuvinte-cheie:** dronă UAV; buldoexcavator; traiectorie; ciclu de lucru; productivitate; inteligență artificială.

**ABSTRACT. This paper proposes an assessment framework for earthmoving-equipment routes using UAV recordings and explicitly reanalyses two previously documented work cycles of a JCB 4CX PRO backhoe loader. The cycles, involving obstacle avoidance and a more direct route, lasted 52 s and 44 s, respectively. Avoiding the detour corresponds to a 15.4% reduction in cycle time and a potential 18.2% increase in hourly cycle count, assuming equal payloads. The study defines a computer-vision workflow for vehicle detection, tracking and operational-state recognition. The results represent an analysis of existing observations; the validation of an AI algorithm will be carried out in future stages.**

**Keywords: UAV; backhoe loader; trajectory; work cycle; productivity; artificial intelligence.**

## 1. INTRODUCERE

Optimizarea activității echipamentelor de construcții presupune corelarea traseelor de deplasare cu durata ciclurilor tehnologice, gradul de utilizare și productivitatea operațională. Metodele clasice de observație pot furniza indicatori punctuali, dar sunt dificil de aplicat continuu la nivelul unui șantier. Înregistrările aeriene realizate cu vehicule fără pilot (UAV) oferă un punct de observație flexibil, fără intervenții asupra utilajului.

Monitorizarea ciclurilor excavatoarelor pe baza imaginilor UAV a fost investigată de Wu și colab. [7], iar un protocol multimodal de analiză a productivității lucrărilor de terasamente a fost propus de Šopić și colab. [6]. Clasificarea automată a activităților utilajelor prin rețele neuronale a fost studiată de Kim și colab. [3] și Chen și colab. [1]. Cercetarea anterioară a autorilor [4] a presupus analiza, utilizand o drona DJI Mini 3, a traseele unui incarcator frontal JCB 4CX PRO în două ipoteze de lucru, utilizând programul Tracker și măsurători de calibrare.

Prezenta lucrare definește o procedură de validare pentru automatizarea ulterioară a analizei cu ajutorul inteligență artificială. În paralel, este discutată aplicabilitatea cadrului metodologic la experimentul in care a fost analizata utilizarea buldoexcavatorului CAT 428 F documentat separat intr-o cercetare anterioara [5].

## 2. MATERIALE ȘI METODE

### 2.1. Seturile de date și configurațiile experimentale

Baza comparației o constituie cele două secvențe de lucru cu un buldoexcavator JCB 4CX PRO dotat cu o cupă de 1,3 m³, înregistrate cu DJI Mini 3 în timpul transferului de pământ între două depozite [4].

Scenariul A presupune ocolirea unui obstacol fictiv, iar scenariul B un traseu fără acea ocolire. Filmările au fost împărțite în șase faze: deplasare cu cupa goală, umplere, retragere cu cupa încărcată, deplasare cu cupa încărcată, descărcare și revenire.

În studiul inițial [4], analiza a fost efectuată cu programul Tracker, după calibrarea geometriei imaginii prin măsurarea fizică a unei deplasări-etalon cu o ruletă de 30 m și cronometrarea acesteia. Am avut in vedere erori de până la 5% asociate unghiului de filmare. Aceste valori sunt preluate ca date obținute anterior și nu reprezintă rezultate ale unui model AI realizat în lucrarea de față.

Distinct, manuscrisul experimental [5] descrie utilizarea încărcătorului frontal CAT 428 F pe platformă betonată, dotat o cupă de 1,0 m³ și un ciclu de referință de 64,6 s. Acest caz este utilizat pentru validarea utilizarii metodei la mai multe tipuri de incarcatoare frontale din aceeași categorie. Rezultatele obtinute in cazul încărcătoarelor JCB și CAT sunt prezentate în calculele comparative.



**Fig. 1.** Buldoexcavator CAT 428 F monitorizat cu ajutorul dronei.

## 2.2. Indicatori și relații de calcul

Durata ciclului este suma duratelor celor șase faze. Pentru fiecare scenariu, numărul teoretic de cicluri pe oră este n = 3600/Tc, unde Tc este exprimat în secunde. Variația relativă a duratei, raportată la scenariul cu ocolire, este ΔT = (TA − TB)/TA·100%. Potențialul relativ de creștere a productivității, în ipoteza unei cantități utile identice pe ciclu, se exprimă prin (TA/TB − 1)·100%.

$$P = 3600 \cdot qef / Tc \ [\text{m}^3/\text{h}] \qquad (1)$$

În relația (1), qef este volumul efectiv transportat și descarcat într-un ciclu, care depinde de gradul de umplere și de natura materialului. Capacitatea geometrică a cupei nu trebuie confundată cu volumul efectiv transportat. Ca urmare, fără măsurarea volumelor transferate, comparația de față susține în primul rând evaluarea timpilor și a potențialului relativ de productivitate, nu o producție orară reală verificată.

## 2.3. Arhitectura propusă de analiză AI

Pentru prelucrarea automată se propune extragerea cadrelor video, identificarea utilajului printr-un detector de obiecte (de exemplu YOLO), asocierea detecțiilor în timp printr-un tracker și transformarea pozițiilor în coordonate ale terenului. Avand in vedere cameră video a dronei ca fiind aproximativ fixă și platformă de deplasare a incarcatorului plană, transformarea poate fi o homografie estimată din puncte de referință. Dacă drona se deplasează, trebuie compensată mișcarea camerei pentru a evita interpretarea acesteia ca deplasare a utilajului.

Urmează clasificarea temporală a secventelor de lucru: cupă goală, umplere, deplasare cu încărcătură, descărcare și revenire. O evaluare corectă necesită un set de teste separat, evaluat manual cu cronometru, și raportarea erorilor de identificare, a erorii duratei ciclului, a erorii de poziționare și a deviației indicatorilor de productivitate. O captură aeriană nu furnizează singură informații despre consumul real de combustibil sau masa materialului.

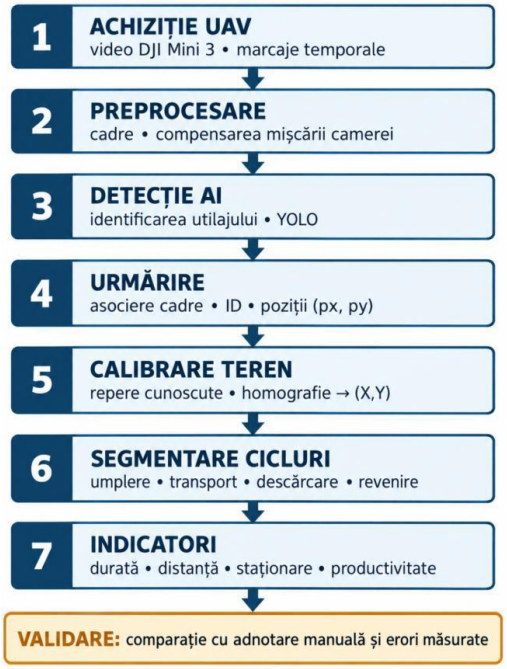



**Fig. 2.** Schema bloc a analizei UAV–AI și a validării indicatorilor.

## 3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Tabelul 1 sintetizează timpii din cele două secvențe ale cercetarilor anterioare [4,5]. Pentru a evita extrapolări nejustificate, timpii sunt considerați valori de referință ale secventei de mecanizare analizata, nu o estimare statistică a tuturor ciclurilor de șantier.

Pentru scenariul A, cu ocolirea obstacolului, durata ciclului tehnologic a fost de 52 s, iar pentru scenariul B, cu traseu direct, de 44 s, conform datelor din studiile anterioare[4,5]. Reducerea cu 8 s a duratei ciclului corespunde unei diminuări relative de 15,38%. Pentru aceeași capacitate geometrică a cupei, de 1,3 m³, și în ipoteza unor cicluri identice executate fără întreruperi, productivitatea teoretică calculată prin relația (1), considerând *qef* = 1,3 m³ doar ca ipoteză de calcul, este de 90,00 m³/h pentru scenariul A și de 106,36 m³/h pentru scenariul B. Creșterea teoretică este de 18,18%; această valoare nu echivalează cu o creștere experimental demonstrată a producției efective, deoarece umplerea cupei, natura pământului și timpii neproductivi nu au fost determinați independent. Schemele de deplasare aferente celor două scenarii sunt prezentate în figura 3. Obstacolul reprezentat grafic prin tuburi prefabricate este o exemplificare a unei situații dintr-un șantier avauta in vedere in analiza secventei de mecanizare a lucrarilor de transport a pamantului in santier.

*Tabelul 1.* **Duratele fazelor celor două cicluri**

| Fază | A: ocolire [s] | B: direct [s] |
|---|---|---|
| Cupă goală → încărcare | 11 | 7 |
| Umplere cupă | 7 | 11 |
| Retragere încărcat | 7 | 9 |
| Transport încărcat | 10 | 7 |
| Descărcare | 3 | 1 |
| Revenire | 14 | 9 |
| Ciclu complet | 52 | 44 |

Duratele individuale arată că scenariul direct nu este mai rapid în toate fazele: umplerea crește de la 7 la 11 s, iar retragerea cu cupa plină de la 7 la 9 s. Câștigul total rezultă în principal din reducerea deplasării cu cupa goală, a transportului încărcat și a revenirii. Această observație susține necesitatea clasificării distincte a fazelor, nu doar a măsurării distanței totale.

Un aspect metodologic important este verificarea consecvenței datelor: în tabelul publicat există valori ale vitezei medii care nu corespund exact raportului distanță/timp, inclusiv o valoare evident neplauzibilă de 10,92 m/s pentru 7,96 m în 9 s. Din acest motiv, în lucrarea prezentă au fost utilizați numai timpii fazelor pentru comparația cantitativă, iar vitezele necesită reverificarea înregistrărilor originale.

Experimentul in care am analizat incarcatorul frontal CAT 428 F [5] poate constitui o a doua etapă de evaluare a generalizării, însă compararea directă a productivităților buldoexcavatoarelor JCB și CAT nu este justificată fără aceeași procedură de măsurare a încărcăturii, a duratelor și a coeficienților de exploatare. Un algoritm AI antrenat cu secvențe dintr-un singur amplasament trebuie verificat și pentru alte unghiuri de filmare, alte utilaje și alte condiții de iluminare.

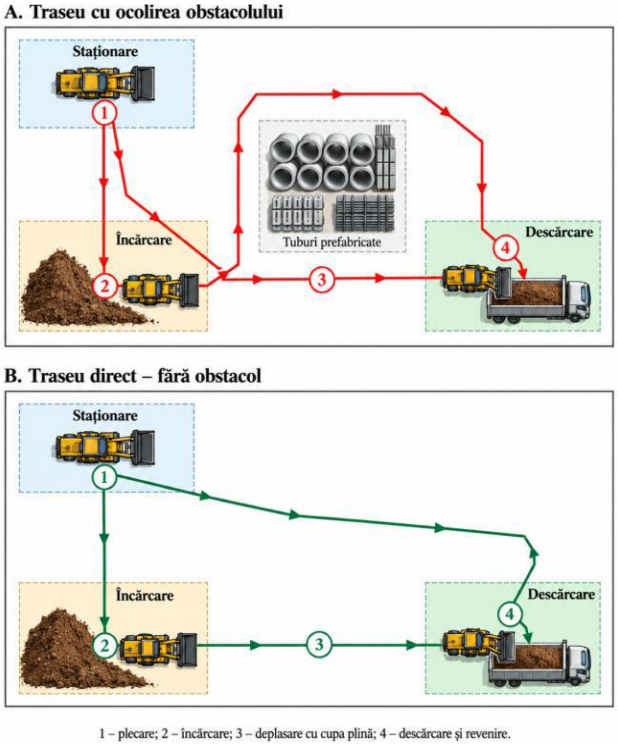



**Fig. 3.** Scheme tehnologice comparative ale deplasării buldoexcavatorului: (A) ocolirea unui obstacol format din tuburi prefabricate; (B) traseu direct. Reprezentare conceptuală, fără scară; timpii sunt analizați separat în text.

## 4. CONCLUZII

Analiza comparativă a celor două secvente de mecanizare a buldoexcavatorului JCB 4CX PRO documentate anterior relevă o reducere a duratei de la 52 la 44 s atunci când este eliminată ocolirea unui obstacol. Aceasta corespunde unei reduceri relative a timpului de 15,4% și unui potențial de creștere cu 18,2% a numărului de cicluri orare, condiționat de menținerea încărcăturii utile și a regimului de lucru.

Rezultatul metodologic al prezentei lucrări constă în integrarea analizei clasice a fazelor tehnologice cu un flux de procesare vizuală UAV–AI și cu criterii explicite de validare. Distincția între măsurare, reanaliză și prognoza algoritmică este esențială: nu se afirmă că detecția și urmărirea AI au fost deja validate in filmările utilizate. Cercetarea viitoare urmărește compararea automată a limitelor fazelor cu adnotarea umană, estimarea traiectoriilor în metri și cuantificarea incertitudinii indicatorilor de productivitate.

## BIBLIOGRAFIE


[1] Chen, C., Xiao, B., Zhang, Y., Zhu, Z., Automatic vision-based calculation of excavator earthmoving productivity using zero-shot learning activity recognition. Automation in Construction, 146, 104702, 2023. doi:10.1016/j.autcon.2022.104702.

[2] DJI, DJI Mini 3 – documentație tehnică, https://www.dji.com/mini-3.

[3] Kim, I.-S. et al., Vision-Based Activity Classification of Excavators by Bidirectional LSTM. Applied Sciences, 13(1), 272, 2023. doi:10.3390/app13010272.

[4] Savaniu, I. M. et al., Aspects of the Use of Drone Photogrammetry in Construction Equipment Management Using Artificial Intelligence AI. Romanian Journal of Transport Infrastructure, 12(2), 2023. doi:10.2478/rjti-2023-0016.

[5] Savaniu, I. M., Sescu-Gal, C., Șerban, C., Application of Artificial Intelligence in Construction Equipment Management with the Support of Autonomous Drones. In: Scutaru, M.L., Bratu, P., Öchsner, A. (eds) Computational Mechanics and Virtual Engineering. Advanced Structured Materials, vol 252. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-20761-6_4.

[6] Šopić, M., Vukomanović, M., Car-Pušić, D., Protocol Proposal for Data Collection and Processing in Productivity Assessment of Earthworks Using Audio-Visual and Location- Sensing Technology. Sustainability, 15(16), 12358, 2023. doi:10.3390/su151612358.

[7] Wu, Y. et al., Monitoring the Work Cycles of Earthmoving Excavators in Earthmoving Projects Using UAV Remote Sensing. Remote Sensing, 13(19), 3853, 2021. doi:10.3390/rs13193853.

[8] https://files.machine.market/specs/caterpillar-cat-428e-loaders-skid-steers(2).pdf

[9] https://www.jcb.com/en-AE/products/machines/backhoe-loaders/4cx/


## Despre autori


**Ioan Mihail SAVANIU**

Conferențiar universitar, UTCB; cercetări în domeniul utilajelor, roboticii și managementului tehnologiilor pentru construcții.

**Oana TONCIU**

Conferențiar universitar, UTCB; cercetări privind mașinile și procesele tehnologice din construcții.

**Cristina SESCU-GAL**

Șef lucrări, UTCB; activități didactice și cercetare în ingineria mașinilor de construcții. Claudiu Șerban – doctorand, UTCB; cercetări privind monitorizarea digitală a proceselor de lucru cu ajutorul dronelor.