mgr inż. Łukasz Majkowski

Usprawnienie procesu montażu/demontażu i przygotowanie deskowania do betonowania na bazie innowacji technologicznych, organizacyjnych i procesowych w oparciu o SSN

STRESZCZENIE

Wprowadzenie i problem. Koszt robocizny przy robotach deskowaniowych systematycznie rośnie: w latach 2015–2025 przeciętne wynagrodzenie wzrosło o 128,3%, a ceny deskowań – o ok. 3–4% rocznie. Przy deficycie cieśli (76% wykonawców ocenia ich dostępność jako słabą lub krytyczną) i ekspansji prefabrykacji kluczowe dla budów staje się stosowanie systemów i rozwiązań ograniczających pracochłonność. W PERI Polska problemem była niska rotacja parku dzierżawnego: przed wdrożeniem (do lat 2024/2025) średnie wykorzystanie sprzętu wynosiło 52–54% w zależności od systemu, a odchyleń terminów zwrotów nie rejestrowano. Odpowiedzią jest oryginalna metoda FFF – Flexible Formwork Flow.

Cel i tezy. Celem jest sformułowanie, uzasadnienie i wdrożenie metody FFF, łączącej LEAN Management, Agile i Construction 5.0, z warstwą uczącą opartą docelowo na sztucznych sieciach neuronowych (SSN). Teza główna: przewaga dostawcy wynikająca z szybkości montażu jego systemów przekłada się na ekonomiczniejszą, szybszą i bezpieczniejszą pracę na budowie oraz na efektywność przedsiębiorstwa dopiero przy ciągłym i elastycznym przepływie w łańcuchu dostawca–budowa–dostawca. Tezy szczegółowe dotyczą synchronizacji materiału, ludzi i logistyki wokół zasobu krytycznego (TS1), organizacji i wsparcia pracy ludzi (TS2) oraz przepływu zamiast wolumenu wydań (TS3). Hipoteza: wykorzystanie parku można podnieść dalej – w kierunku 75% – bez zwiększania majątku.

Metodologia. Analiza literatury i normatywów, ankieta CAWI (n = 50), modelowanie BPMN, studium przypadku budowy INDUSTRIAL w Poznaniu, analiza statystyczna danych operacyjnych dostawcy, symulacja kontrfaktyczna oraz analiza danych z czujników betonu.

Wyniki naukowe. Oryginalnym wynikiem jest model przepływu FFF w trzech krokach – taktycznym (projekt technologiczny i logistyka dostawcy), operacyjnym (operacje na budowie) i strategicznym (pełny cykl dzierżawy zestawu) – którego efektem końcowym jest korzyść obustronna (win-win): krótszy cykl i niższy koszt dla wykonawcy, więcej obrotów kompletu bez inwestycji dla dostawcy. Na budowie INDUSTRIAL cykl 28 dni wyznaczał jeden żuraw (TS1); 68% wykonawców lokalizuje straty czasu wokół deskowania, a nie w montażu (TS2); cel 75% wymaga skrócenia czasu elementu poza dzierżawą o ok. 38% (TS3).

Wdrożenie i osiągnięte efekty. Wdrożono m.in. macierz odpowiedzialności (189 kroków w 21 procesach), raportowanie wykorzystania i analizę odchyleń wydań, metodykę analizy budowy, pomiary PERI InSite oraz egzoszkielety i dźwig obsługi ręcznej. Najważniejsze dotychczasowe efekty: **po wprowadzeniu analizy odchyleń i rozwiązań FFF średnie wykorzystanie sprzętu wzrosło w ciągu roku z 52–54% do 59% – bez zwiększania majątku**; w centrach logistycznych wydajność prac wspieranych wzrosła o 45% i 30%, co pozwoliło w latach 2023–2026 utrzymać przeładunki przy załodze mniejszej o ok. 27% niż w wariancie bez urządzeń (o ok. 23% w CL Koninko i ok. 31% w CL Kąty Wrocławskie) oraz obniżyć koszty pracy fizycznej co najmniej w tej samej proporcji; wykonano pierwszy w Polsce pomiar parcia mieszanki betonowej, a monitoring dojrzewania pozwala rozdeskowywać według pomiaru (wytrzymałość in situ po 2 dobach o ok. 40% wyższa od laboratoryjnej).

Wnioski. Cele osiągnięto: tezy TS1–TS3 potwierdzono, a dla dalszej weryfikacji hipotezy ustanowiono linię bazową i system pomiaru. Warunkiem sukcesu jest partnerstwo wykonawcy z dostawcą oparte na zaufaniu (Deming), a przy deficycie pracy wiodące będą systemy o niskiej pracochłonności. Praca łączy naukę z biznesem w pętli: problem firmy – badania – wdrożenia – dane dla SSN.

Słowa kluczowe: deskowania systemowe, Flexible Formwork Flow, LEAN Management, Construction 5.0, sztuczne sieci neuronowe, doktorat wdrożeniowy.

Łukasz Majkowski, MSc Eng.

Improving the formwork assembly/disassembly process and the preparation of formwork for concreting based on technological, organisational and process innovations using ANN

ABSTRACT

Introduction and problem. Labour costs in formwork operations are rising steadily: in 2015–2025 the average wage increased by 128.3%, while formwork prices rose by about 3–4% per year. With a shortage of carpenters (76% of contractors rate their availability as poor or critical) and the expansion of precast concrete, the use of systems and solutions that reduce labour input is becoming crucial for construction sites. At PERI Polska the problem was low rotation of the rental fleet: before the implementation (until 2024/2025) average equipment utilisation was 52–54%, depending on the system, and return-date deviations were not recorded. The response is the original FFF – Flexible Formwork Flow method.

Objective and theses. The objective is to formulate,

substantiate and implement the FFF method, combining LEAN Management, Agile and Construction 5.0, with a learning layer ultimately based on artificial neural networks (ANN). Main thesis: the supplier's advantage arising from the fast assembly of its formwork systems translates into more economical, faster and safer site work and into company efficiency only when flow across the supplier–site–supplier chain is continuous and flexible. The detailed theses concern the synchronisation of material, labour and logistics around the critical resource (TS1), the organisation and support of human work (TS2), and flow rather than volume issued (TS3). Hypothesis: fleet utilisation can be raised further – towards 75% – without increasing assets.

Methodology. Literature and labour-standard analysis, a CAWI survey (n = 50), BPMN modelling, a case study of the INDUSTRIAL building in Poznań, statistical analysis of the supplier's operational data, a counterfactual simulation and analysis of concrete sensor data.

Scientific results. The key original result is the FFF flow model in three steps – tactical (technological design and supplier logistics), operational (site operations) and strategic (full rental cycle of a formwork set) – whose final effect is a mutual benefit (win-win): a shorter cycle and lower cost for the contractor, more set rotations without investment for the supplier. On the INDUSTRIAL site the 28-day cycle was set by a single crane (TS1); 68% of contractors locate time losses around the formwork rather than in assembly (TS2); the 75% target requires cutting the off-rent time of a component by about 38% (TS3).

Implementation and results achieved. Implemented solutions include a responsibility matrix (189 steps in 21 processes), utilisation reporting and delivery-deviation analysis, a site analysis methodology, PERI InSite measurements, and exoskeletons and a manual-handling crane. Key results to date: **after introducing deviation analysis and FFF solutions, average equipment utilisation rose within one year from 52–54% to 59% – without increasing assets**; in the logistics centres productivity of supported work rose by 45% and 30%, which made it possible to maintain throughput in 2023–2026 with a workforce about 27% smaller than in the variant without these devices (approx. 23% at the Koninko and 31% at the Kąty Wrocławskie logistics centre), and to reduce physical labour costs by at least the same proportion; the first fresh-concrete pressure measurement in Poland was carried out, and maturity monitoring showed in-place concrete strength about 40% higher than laboratory strength after 2 days, which allows stripping to be based on measurement.

Conclusions. The objectives were achieved: TS1–TS3 were confirmed, and a baseline and measurement system were established for further verification of the hypothesis. Success requires a contractor–supplier partnership based on trust (Deming), and under labour shortages low-labour systems will lead the market. The work links science and business in a loop: company problem – research – implementation – data for ANN.

Keywords: system formwork, Flexible Formwork Flow, LEAN Management, Construction 5.0, artificial neural networks, implementation doctorate.