

Błędne wyniki obliczeń z powodu pominięcia warunków budowy

Dr inż. Andrzej Więckowski, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Przy budowaniu bez składowania przyobiekтового nie musi być realizowany, co najmniej jeden rozładunek i jeden załadunek każdej jednostki dostarczanego lub wywożonego materiału oraz nie występują nakłady na tworzenie, utrzymanie i likwidację tymczasowych składowisk. Równocześnie, jednak brak bufora w postaci zapasu przyobiekтового powoduje zwiększone wzajemne oddziaływanie współpracujących jednostek. Wówczas, nawet niewielkie spóźnienia dostaw lub odwozu materiałów powodują zazwyczaj konieczność oczekiwania brygad na budowie, zmniejszając ich wydajność. Również opóźnienia przy rozładunkach lub załadunkach bezpośrednio wydłużają czasy przestojów i powodują występowanie kolejek oczekujących samochodów. Stąd istotnym zagadnieniem jest zastosowanie prawidłowego rozwiązania, a wcześniej modelu dobrze interpretującego realizację procesów.

Modele teorii kolejek (*tk*) umożliwiają badanie prawdopodobieństw przestojów aparatu obsługi i zgłoszeń, czasów oczekiwania, długości kolejek oraz prowadzą do otrzymania dokładnych wyników, ale przy spełnieniu przyjętych w nich założeń [1–5]. W typowych modelach *tk* zakłada się m.in., że: w chwili rozpoczęcia badania systemu obsługi procesy są ustabilizowane, gdyż ich realizacja już trwa wystarczająco długo oraz w przypadku analizy stanu ustalonego badanie

obejmuje duży przedział czasu, z zakończeniem w chwili zmierzającej do nieskończoności.

Natomiast w budownictwie warunki są zasadniczo inne. Praca jest wykonywana okresowo, podczas ograniczonych 8. lub 10. godzinnych zmian roboczych, z rozpoczęciem i kończeniem realizacji robót na każdej. Na budowach już przy rozpoczęciach zmian, zazwyczaj występują kolejki oczekujących samochodów. Natomiast przy zakończeniach pracy, ze względu na ograniczony czas trwania zmiany roboczej nie zostają załadowane lub rozładowywane jednostki transportowe, których obsługa trwałaby dłużej, niż do końca zmiany. Ponadto w przedziałach czasu trwania zmian roboczych poza pracą operacyjną są wykonywane obsługi techniczne sprzętu i występują przerwy konieczne oraz straty czasu [7]. Nieuwzględnienie powyższych warunków realizacji robót na budowie przy stosowaniu modeli *tk* z założeniami, j.w. powoduje znaczne rozbieżności wyników obliczeń względem wykonawstwa [6]. Analiza poziomu tych rozbieżności i błędów obliczeń przy nieuwzględnieniu poszczególnych warunków wykonawczych została przedstawiona poniżej.

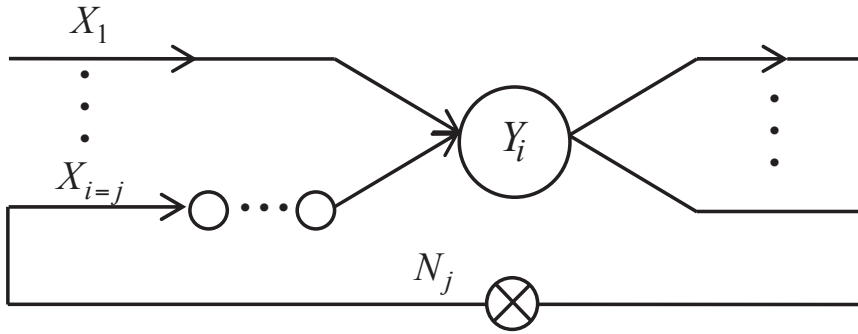
W celu odwzorowania realizacji procesów w warunkach zbliżonych do rzeczywistych autor opracował tzw. metodę reprezentacji modelu obsługi (*rmo*). Metoda umożliwia opis funkcjonowania systemu, m.in. w ograniczonym okresie czasu, z rozpoczęciem pracy

na początku zmiany i kończeniem w chwili jej ukończenia, jak również przy uwzględnieniu składowych czasu dysponowanego.

2. Metoda reprezentacji modelu obsługi

W analizach pracy jednostek budowy i transportu funkcjonujących przy pominięciu składowania przyobiekтового materiałów oraz przy uwzględnieniu wielu równocześnie przebiegających procesów towarzyszących wykonawstwu budowlanemu można wykorzystać autorską tzw. metodę reprezentacji modelu obsługi (*rmo*). Metoda *rmo* służy do badania systemów obsługi, które zgodnie z notacją D. G. Kendalla [3, 4] można scharakteryzować zapisem $X_i/Y_i/1/d(p,k)/N_j/T$, o schemacie wg rysunku 1.

Model $X_i/Y_i/1/d(p,k)/N_j/T$, $i \in I$, $j \in J$, $J \subset I$, opisuje strumienie wejść zgłoszeń o rozkładach X_i i odpowiadające im procesy czasu obsługi o rozkładach Y_i – w systemie 1 – z jednym kanałem. Procesy X_i i Y_i są scharakteryzowane typowymi lub dowolnymi rozkładami zmiennych losowych. Wszystkie badane strumienie zgłoszeń $i = 1, \dots, n$, zawiera zbiór $i \in I$. Zasada obsługi d zakłada, że każdy proces i ma przypisany priorytet p , gdzie $p \in P$. Priorytet pierwszeństwa jest zgodny z przewidzianą kolejnością obsługi poszczególnych procesów w zakresie zbioru P . Przyjęta dyscyplina k – określa sposób wyboru zgłoszenia do obsługi w zakresie danego strumienia o priorytecie p . Procesy $i = j$, gdzie $j \in J$, $J \subset I$,



Rys. 1. Schemat modelu $X_j/Y_i | 1/d(p,k)/N_j | T$

reprezentują funkcjonowanie N_j jednostek cyrkulujących w cyklu zamkniętym. Pozostałe zgłoszenia, opisane procesami $i \neq j$ przybywają ze źródła otwartego. Badanie funkcjonowania systemu występuje w ograniczonym przedziale czasu $T, T < \infty$.

Zaproponowany sposób obliczeń w metodzie *rmo* jest zgodny z następującą zasadą. Najpierw określone są chwile, w których mogą zaistnieć zdarzenia, czyli chwile potencjalne. Zaś faktyczne zajście zdarzeń następuje dopiero wtedy, kiedy pozwalają na to przyjęte ograniczenia realizacyjne. Na przykład, już od chwili przybycia zgłoszenia z najniższym priorytetem, potencjalnie może być realizowana jego obsługa. Jednak faktycznie, rozpocznie się dopiero po spełnieniu wymaganych warunków realizacyjnych, m.in. po ukończeniu obsługi wszystkich zgłoszeń, które przybyły wcześniej. Podobnie, licząc od chwili faktycznego rozpoczęcia, po czasie trwania obsługi zgłoszenia następuje jej zakończenie. Albowiem, obsługa musi zostać przerwana, w chwili przybycia zgłoszenia z priorytetem absolutnym. Dopiero po zakończeniu obsługi tego zgłoszenia z priorytetem absolutnym zależnie od przyjętych założeń, nastąpi dokończenie lub wykonanie od nowa obsługi zgłoszenia o priorytecie najniższym.

2.1. Algorytm obliczeniowy

W algorytmie obliczeniowym metody reprezentacji modelu obsługi

można wyróżnić następujące fazy:

- warunki rozpoczęcia (obejmują dane i przyjęte wartości początkowe, m.in. dla czasu zegarowego t i okresu τ^m funkcjonowania systemu oraz zbioru analizowanych procesów $i \in I$, w tym procesów $j \in J, J \subset I$ reprezentujących zgłoszenia cyrkulujące w obiegu zamkniętym, ponadto następuje przypisanie priorytetów pierwszeństwa obsługi dla strumieni $p \in P$ oraz wyzerowanie wskaźników),
- krok powtarzalny (obejmuje badanie warunków i realizację obsług zgłoszeń, odpowiednio do przypisanych im priorytetów oraz analizy oczekiwań aparatu obsługi i poszczególnych klientów; realizacja ma miejsce od chwili t_0 – rozpoczęcia działania systemu do chwili t_{zm} zakończenia, np. zmiany roboczej),
- wartości charakterystyk (zostają obliczone przy $t > t_{zm}$, tj. po zakończeniu funkcjonowania systemu obsługi; określają one między innymi częstości przestojów aparatu obsługi i zgłoszeń oraz średnie liczby jednostek i czasy ich oczekiwań w systemie oraz w kolejce).

2.2. Krok powtarzalny

Po sprecyzowaniu warunków początkowych, obliczenia kroku powtarzalnego są każdorazowo kontynuowane w 6 kolejnych podprogramach i zgodnie ze wszystkimi punktami A ÷ F są powtarzane dopóki chwila t – czasu zegarowego symulacji jest mniejsza od chwili t_{zm} (np. zakończenia zmiany roboczej):

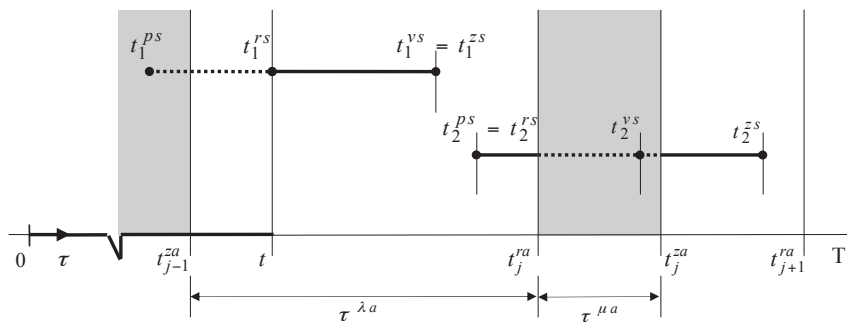
$$\bigwedge_{t < t_{zm}} \{A, B, C, D, E, F\} \quad (1)$$

A. Procesy z priorytetem absolutnym

Występowanie awarii sprzętu, wypadków przy pracy, pożarów, nagłych opadów atmosferycznych lub wichur można odwzorować procesami o priorytecie absolutnym (w modelu przybycie zgłoszenia z tym priorytetem powoduje, np. natychmiastowe przerwanie obsługi zgłoszeń bez priorytetu). Chwila przybycia zgłoszenia z priorytetem absolutnym, która wystąpi najwcześniej jest określona w kroku obliczeniowym, bezpośrednio po zakończeniu obsługi zgłoszenia poprzedniego z tym priorytetem. Stąd obliczenie następuje dla t – chwili czasu zegarowego, równej lub większej od t^{za} – ukończenia obsługi, to jest dla $t \geq t^{za}$.

$$\bigwedge_{t \geq t^{za}} \left\{ \begin{aligned} \tau^{\lambda a} &= F_{\lambda a}^{-1}(los : \langle 0, 1 \rangle), & (2) \\ t^{ra} &= t^{za} + \tau^{\lambda a}, & (2a) \\ \tau^{\mu a} &= F_{\mu a}^{-1}(los : \langle 0, 1 \rangle), & (2b) \\ t^{za} &= t^{ra} + \tau^{\mu a}. & (2c) \end{aligned} \right.$$

Długość przedziału czasu $\tau^{\lambda a}$ – interwał, od chwili zakończenia obsługi zgłoszenia z priorytetem absolutnym do chwili przybycia zgłoszenia następnego jest określona, jw. jako $F_{\lambda a}^{-1}(los : \langle 0, 1 \rangle)$ – wartość zmiennej pseudolosowej (funkcji odwrotnej dystrybuanty rozkładu czasu trwania interwału dla zgłoszeń z priorytetem absolutnym). Ponieważ, w tym przypadku, chwila przybycia zgłoszenia odpowiada chwili t^{ra} – rozpoczęcia obsługi, stąd $t^{za} = t^{ra} + \tau^{\lambda a}$ (rys. 2). Podobnie czas trwania obsługi zgłoszenia z priorytetem absolutnym – $\tau^{\mu a}$ jest określony, jako wartość zmiennej pseudolosowej (tu: na podstawie $F_{\mu a}^{-1}$ rozkładu czasu trwania obsługi zgłoszeń z priorytetem absolutnym). Zatem chwila zakończenia obsługi $t^{za} = t^{ra} + \tau^{\mu a}$.



Rys. 2. Odzworowanie obsługi zgłoszeń z priorytetem absolutnym i zwyczajnym, opis w tekście

B. Procesy z priorytetem względnym

Obsługę stanowiska roboczego obejmującą odprawy i szkolenia stanowiskowe oraz prace przygotowawcze, bieżące i zakończeniowe, jak również przerwy konieczne, na potrzeby naturalne, odpoczynek i posiłek można odwzorować procesami z priorytetem względnym (w modelu obsługa zgłoszenia z tym priorytetem rozpoczyna się, np. dopiero po ukończeniu ewentualnej obsługi zgłoszenia bez priorytetu, tj. do kilku minut później względem chwili przybycia zgłoszenia z priorytetem względnym).

Zgłoszenia wywodzące się z tych procesów przybywają zarówno w chwilach losowych, jak i ustalonych w przedziale zmiany roboczej. Zgłoszenia losowe odwzorowują, np. interwencyjne prace dodatkowe, tankowanie paliwa, potrzeby naturalne pracownika. Natomiast zgłoszenia o ustalonych chwilach występowania podczas zmiany roboczej to – np. przy rozpoczęciu pracy – między innymi: sprawdzenia, uruchomienie, przyjazd na stanowisko i ustawienie maszyny oraz od 9³⁰ przerwa śniadaniowa i na odpoczynek, jak również na zakończenie zmiany uporządkowanie i zabezpieczenie miejsca robót.

C. Parametry procesu bez priorytetu

Procesem bez priorytetu, z jednostkami zwykłymi, odwzorowuje się np. pracę środków transporto-

wych (w modelu obsługa zgłoszeń następuje wg kolejności przybyć oraz j.w. jest przerywana w przypadku przybycia zgłoszenia z priorytetem absolutnym, zaś rozpoczynana dopiero po zakończeniu obsługi wszystkich zgłoszeń z priorytetami wyższymi).

D. Obsługa zgłoszeń

Ustalane są chwile przybyć zgłoszeń z priorytetem absolutnym, względnym i bez priorytetu, następnie chwile rozpoczęć obsługi zgłoszeń z priorytetem absolutnym i potencjalne zgłoszeń z priorytetem względnym oraz bez priorytetu. Po sprawdzeniu warunków obsługi następuje jej realizacja.

E. Charakterystyka obsługi

Po zrealizowaniu obsługi każdego zgłoszenia gromadzone są dane do określania charakterystyk funkcjonowania systemu.

F. Parametry procesu obiegu

Po zakończeniu obsługi zgłoszenia bez priorytetu np. jednostki transportowej jest określany czas trwania obiegu – $\tau^{\lambda s}$ jako wartość zmiennej pseudolosowej funkcji odwrotnej F_{λ}^{-1} rozkładu czasu obiegu. Chwila potencjalna ponownego przybycia tego zgłoszenia – t_i^{ps} nastąpi po czasie obiegu – $\tau^{\lambda s}$ licząc od chwili zakończenia obsługi – t^s . Stąd chwila potencjalna przybycia $t_i^{ps} = t^s + \tau^{\lambda s}$ oraz t_i^{ps} zostaje włączona do zbioru T^{ps} – zgłoszeń potencjalnych.

3. Warunki brzegowe okresu zmiany roboczej i błędy ich pominięcia

W przypadku typowych modeli kolejkowych, zgodnie z [1–4], analizowane procesy są stacjonarne, pojedyncze i niezależne, a ich realizacja trwa już wystarczająco długo i kiedy są ustabilizowane, wtedy rozpoczyna się badanie systemu obsługi trwające przez duży okres czasu, teoretycznie do nieskończoności.

W wykonawstwie przy zwyczajowym rozpoczynaniu pracy o ustalonej godzinie, w chwili $t_0=0$ rozpoczęcia zmiany np. o godz. 7⁰⁰ wszystkie jednostki transportowe znajdują się na budowie. Od chwili $t_0=0$ ma miejsce ciągła obsługa wszystkich N – czekających jednostek. Ta ciągła obsługa, bez przerw, zachodzi na początku zmiany i trwa przez okres czasu $\tau_c = N\mu$ (μ – czas trwania obsługi). Część pozostająca zmiany roboczej, stanowi

$$\eta = \frac{\tau_{zm} - \tau_c}{\tau_{zm}}$$

W tej pozostającej części zmiany, w jej okresie początkowym, do chwili ustabilizowania się procesów, występują skutki tej ciągłej obsługi. Większa intensywność opuszczania stanowiska, przy N – obsługach bez przerw, szczególnie po pierwszym obiegu powoduje większą intensywność przybyć jednostek niż w systemie ustabilizowanym. Ta większa intensywność przybyć w tym okresie prowadzi do zmniejszenia przestoju aparatu obsługi i zwiększenia czasu czekania jednostek w kolejce.

Również w okresie przed zakończeniem zmiany roboczej obsługa zgłoszeń przebiega inaczej niż w systemie funkcjonującym w nieskończonym przedziale czasu. Na budowie występują sytuacje, że w chwili $t^{ps} < t^{zm}$ przybywa zgłoszenie, którego zakończenie obsługi następuje w chwili t^{vs} , która występuje po zakończeniu zmiany roboczej $t^{vs} > t^{zm}$. Wówczas fak-

Tabela 1. Względne błędy brzegowe przy pominięciu warunków rozpoczęcia i zakończenia zmian roboczych dla rozkładów wykładniczych procesów obsługi i obiegu (opracowanie własne)

| Okres funkcjonowania systemu $\tau^{zm} h$ | Błędy względne | | |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| | częstości przestojów aparatu obsługi δ_{po}^E | częstości przestojów zgłoszeń w kolejce δ_{ps}^E | średniej liczby zgłoszeń w kolejce δ_q^E |
| 8 | -0,1126 | 0,2205 | 0,4988 |
| 10 | -0,0931 | 0,1745 | 0,3945 |
| 20 | -0,0461 | 0,0851 | 0,1845 |
| 30 | -0,0272 | 0,0536 | 0,111 |
| 40 | -0,0189 | 0,0391 | 0,0809 |
| 50 | -0,0138 | 0,0298 | 0,0587 |
| 60 | -0,013 | 0,0261 | 0,049 |
| 70 | -0,0127 | 0,023 | 0,0408 |
| 80 | -0,0107 | 0,021 | 0,0336 |
| 90 | -0,0105 | 0,0187 | 0,0294 |
| 100 | -0,0097 | 0,0174 | 0,0259 |

tyczna obsługa nie zostaje podjęta i ma miejsce strata zgłoszenia (oczywiście, jeśli w przedziale czasu do zakończenia zmiany roboczej nie występują przybycia zgłoszeń, nie ma również strat). Straty zgłoszeń przy zakończeniach zmian roboczych podobnie, jak kolejka oczekujących jednostek przy rozpoczęciu pracy prowadzi do rozbieżności wyników względem standardowych założeń modeli teorii kolejek.

W tabeli 1 przedstawiono obliczone na podstawie *rmo* wartości błędów brzegowych nie uwzględnienia warunków rozpoczęcia i zakończenia zmian roboczych. Są to względne

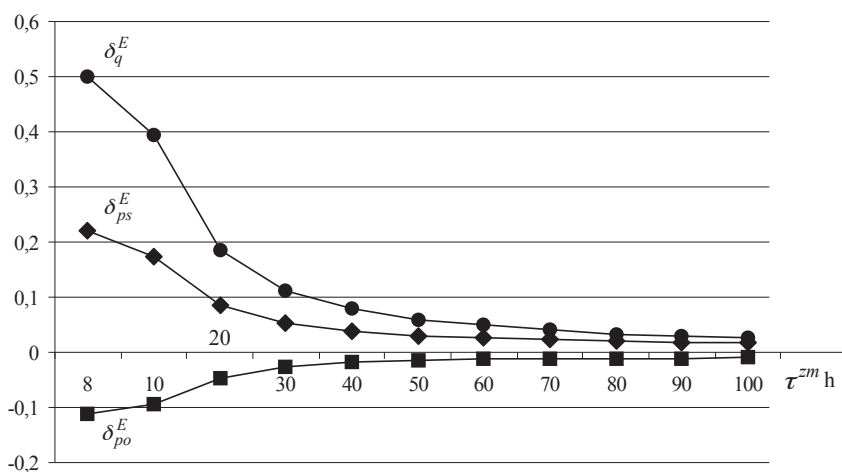
błędy brzegowe: częstości przestojów aparatu obsługi – δ_{po}^E i δ_{ps}^E – zgłoszeń oraz δ_q^E – błędy średniej liczby jednostek w kolejce [8].

Względny błąd brzegowy okresu zmiany roboczej odpowiada sumie błędów występujących przy pominięciu zarówno warunków rozpoczęcia, jak i zakończenia pracy. Stąd w modelu *rmo* odwzorowującym warunki wykonawstwa przyjęto, że w chwili t_0 – rozpoczęcia zmiany wszystkie zgłoszenia są w systemie. Okres funkcjonowania jest ograniczony do chwili t_{zm} – zakończenia pracy. Analizowane okresy funkcjonowania systemu charakteryzują się przedziałami

czasu od 8 do 100 godzin. Zgodnie ze szczegółowymi analizami [10] poszczególne błędy pominięcia warunków rozpoczęcia i zakończenia są dodatnie albo ujemne. Stąd błąd brzegowy przy jednakowych znakach jest ich sumą oraz różnicą o mniejszej wielkości bezwzględnej w przypadku znaków różnych. Porównując błędy względne rozpoczęcia i osobno zakończenia, zauważa się od kilku- do kilkusetkrotnych różnic w odpowiednich wartościach. Z uwagi na względnie małe błędy zakończenia wartości błędów brzegowych są zbliżone do błędów rozpoczęcia [6].

Względne błędy brzegowe częstości czekania aparatu obsługi – δ_{po}^E są ujemne, z tendencją zbieżności do zera (rys. 3). Błędy te charakteryzują się dużymi wartościami: -11,26% i -9,31% przy najczęstszych zmianach, odpowiednio ośmio i dziesięciogodzinnych oraz, jeszcze wartością -0,97% przy czasie 100-godzinnym.

Wartości względnych błędów brzegowych częstości czekania zgłoszeń w kolejce – δ_{ps}^E są natomiast dodatnie i podobnie mają tendencję zbieżności do zera. Szczególnie przy występujących w wykonawstwie zmianach ośmio i dziesięciogodzinnych są one bardzo wyraźne i wynoszą odpowiednio 22,05% i 17,45%. Przy przedziale czasu 100-godzinnym błąd wynosi 1,74%. Największe względne błędy brzegowe występują w przypadku średnich liczb jednostek czekających w kolejce – δ_q^E . Dla zmiany 8-godzinnej bez mała połowę wartości stanowi błąd, który wynosi 49,88%. Przy 10 godzinach błąd wynosi 39,45%, a przy stu jeszcze 2,59%. Te dodatnie wartości błędów również mają tendencję malejącą wskazującą na zbieżność do zera.



Rys. 3. Względne błędy brzegowe: δ_{po}^E i δ_{ps}^E – częstości przestojów, odpowiednio aparatu obsługi i zgłoszeń oraz δ_q^E – średniej długości kolejki, gdzie $\tau^{zm} h$ – czas trwania zmiany roboczej, w godzinach

4. Błędy nieuwzględnienia składowych czasu dysponowanego

Faktyczny, stwierdzony w badaniach [7], czas dysponowany

zmiany roboczej na budowie ($t^D = 10,21$ h) nietypowo był większy od zaplanowanego ($t^P = 10$ h). Praca operacyjna (wynosiła $p^{Pr} = 83,05\%$) i przerwy technologiczne ($p^{Pt} = 6,55\%$) nie stanowiły całego czasu dysponowanego zmiany. Występowały także okresy, w których była wykonywana obsługa stanowiska roboczego ($p^{St} = 5,45\%$) oraz miały miejsce przerwy konieczne ($p^{Pk} = 4,66\%$) i straty czasu ($p^S = 0,29\%$). Również średni czas trwania obiegu samochodów nie był jednakowy w kolejnych przedziałach czasu zmiany roboczej, czyli nie był spełniony warunek stacjonarności procesu. Poniżej przedstawiono błędy obliczeń z przyczyny pominięcia tych rzeczywistych uwarunkowań realizacyjnych.

4.1. Błędy częstości przestoju aparatu obsługi

W tabeli 2 i na rysunku 4 przedstawiono wyniki obliczeń błędów częstości przestoju aparatu obsługi z powodu pominięcia poszczególnych elementów składowych okresu zmiany roboczej oraz niestacjonarności procesu obiegu. Są to następujące błędy względne z powodu nieuwzględnienia: δ_{po}^D – różnicy między czasem dysponowanym (faktycznym) zmiany i planowanym, δ_{po}^{St} – obsługi stanowiska, δ_{po}^{Pk} – przerw koniecznych oraz δ_{po}^S – strat czasu. W ostatniej kolumnie tabeli ujęto δ_{po}^λ – błędy nieuwzględnienia różnego czasu trwania obiegu jednostek w kolejnych przedziałach okresu zmiany roboczej.

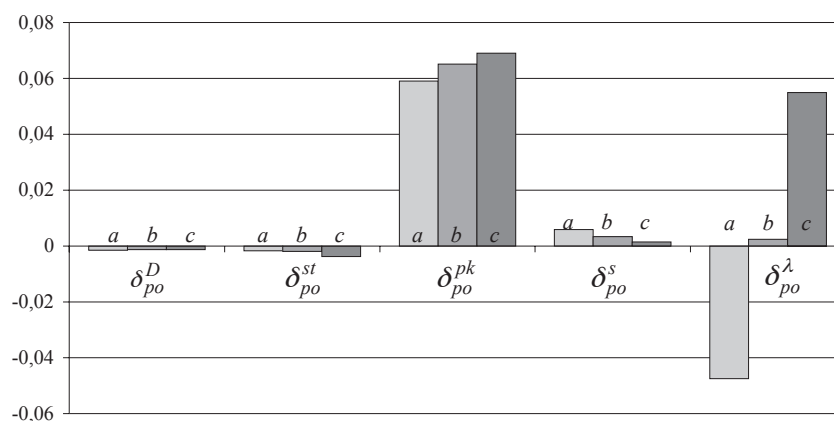
Wszystkie powyższe błędy względne obliczeń częstości przestoju aparatu obsługi $\delta_{po}^D, \delta_{po}^{St}, \delta_{po}^{Pk}, \delta_{po}^S, \delta_{po}^\lambda$ są bardzo małe, w granicach „szumu numerycznego”, jednakże nie w każdym przypadku wielkości błędów powstają w takiej samej proporcji względem wywołujących je przyczyn.

A. Czas zmiany roboczej

W badanym przypadku, przy pominięciu większego czasu faktyczne-

Tabela 2. Błędy względne częstości przestoju aparatu obsługi z powodu pominięcia wybranych składowych zmiany roboczej oraz niestacjonarności procesu obiegu, opis w tekście

| Czas zmiany τ^m h | Błędy względne | | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| | δ_{po}^D | δ_{po}^{St} | δ_{po}^{Pk} | δ_{po}^S | δ_{po}^λ |
| 8 | -0,001441 | -0,001663 | 0,059096 | 0,005846 | -0,047509 |
| 10 | -0,001306 | -0,001910 | 0,065124 | 0,003411 | 0,002380 |
| 12 | -0,001223 | -0,003825 | 0,069020 | 0,001517 | 0,054964 |



Rys. 4. Błędy względne częstości przestoju aparatu obsługi z przyczyny pominięcia: δ_{po}^D – większego czasu zmiany niż zaplanowano, δ_{po}^{St} – obsługi stanowiska roboczego, δ_{po}^{Pk} – przerw koniecznych, δ_{po}^S – strat czasu i δ_{po}^λ – niestacjonarności procesu obiegu, gdzie a, b, c – są odpowiednio, dla zmian 8, 10 i 12-godzinnych

go zmiany niż przyjęty, δ_{po}^D – błędy częstości przestoju aparatu obsługi, są ujemne, o wartościach bezwzględnych mniejszych dla zmian dłuższych. Oddziaływanie wydłużenia zmian jest niewielkie, mniejsze nawet 14-krotnie, niż p^D – względne zwiększenie faktycznego czasu zmiany.

B. Obsługa stanowiska roboczego

Stwierdza się, że δ_{po}^{St} – błędy częstości przestoju aparatu, z uwagi na pominięcie czasów trwania obsługi technicznych są ujemne, o wartościach bezwzględnych mniejszych dla zmian krótszych. Charakteryzują się małymi wielkościami, ponad 14-krotnie mniejszymi, w porównaniu z p^{St} , tj. z udziałem tych obsług w okresie czasu dysponowanego zmiany.

C. Przerwy konieczne

Błędy względne częstości przestoju aparatu obsługi – δ_{po}^{Pk} z powodu

pominięcia przerw koniecznych są dodatnie, mniejsze dla zmian krótszych oraz charakteryzują się znaczącymi wartościami, większymi niż p^{Pk} – udział czasu trwania tych przerw względem okresu zmiany.

D. Straty czasu

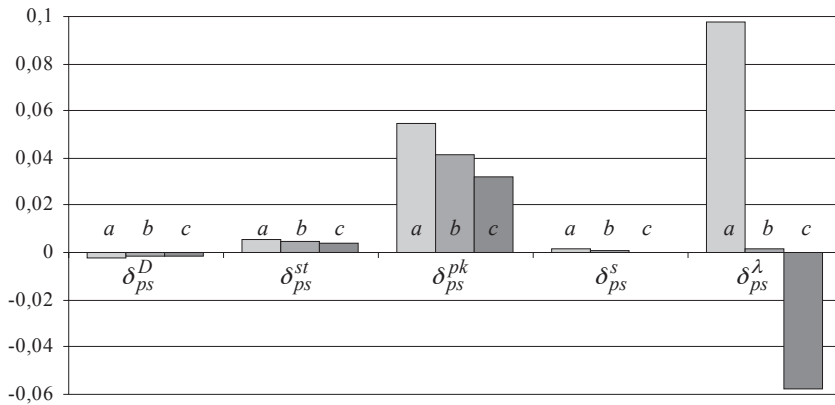
Stwierdza się, że błędy względne częstości przestoju aparatu obsługi – δ_{po}^S z powodu strat czasu są dodatnie, mniejsze przy zmianach dłuższych i charakteryzują się dużymi wartościami, zbliżonymi i większymi, niż p^S – udział czasu trwania tych strat względem okresu zmiany.

E. Niestacjonarny proces obiegu

Przy niestacjonarności czasów obiegu w poszczególnych przedziałach okresu zmiany, lecz przy takiej samej wartości średniej (czasów obiegu dla całej zmiany roboczej) błąd częstości przestoju aparatu obsługi δ_{po}^λ jest niewielki, dodatni i w przypadku zmia-

Tabela 3. Błędy względne częstości przestoju jednostek w kolejce z powodu pominięcia wybranych składowych zmiany roboczej oraz niestacjonarności procesu obiegu, opis w tekście

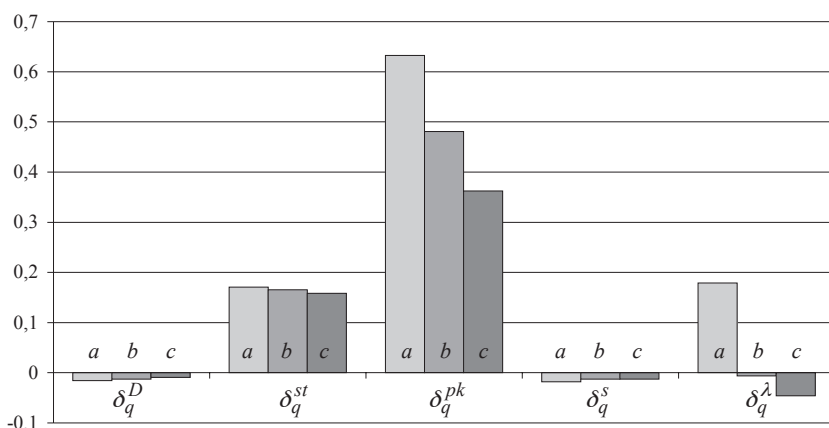
| Czas zmiany $\tau^{zm} h$ | Błędy względne | | | | |
|------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|
| | δ_{ps}^D | δ_{ps}^{st} | δ_{ps}^{pk} | δ_{ps}^s | δ_{ps}^λ |
| 8 | -0,002099 | 0,005628 | 0,055068 | 0,001420 | 0,097411 |
| 10 | -0,001597 | 0,004712 | 0,041673 | 0,000604 | 0,001936 |
| 12 | -0,001253 | 0,003731 | 0,031810 | 0,000352 | -0,057767 |



Rys. 5. Błędy względne częstości przestoju jednostek w kolejce z przyczyny pominięcia: δ_{ps}^D – większego czasu faktycznego zmiany niż zaplanowano, δ_{ps}^{st} – obsługi stanowiska roboczego, δ_{ps}^{pk} – przerw koniecznych, δ_{ps}^s – strat czasu i δ_{ps}^λ – niestacjonarności procesu obiegu, gdzie a, b, c – są odpowiednio, dla zmian 8, 10 i 12-godzinnych

Tabela 4. Błędy względne średniej liczby zgłoszeń w kolejce z racji pominięcia wybranych składowych zmiany roboczej oraz niestacjonarności procesu obiegu

| Czas zmiany $\tau^{zm} h$ | Błędy względne | | | | |
|------------------------------|----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------------|
| | δ_q^D | δ_q^{st} | δ_q^{pk} | δ_q^s | δ_q^λ |
| 8 | -0,015802 | 0,170897 | 0,632356 | -0,018237 | 0,179193 |
| 10 | -0,012630 | 0,165407 | 0,481061 | -0,012896 | -0,006385 |
| 12 | -0,009112 | 0,158723 | 0,362127 | -0,012548 | -0,046342 |



Rys. 6. Błędy względne średniej długości kolejki z przyczyny pominięcia: δ_q^D – większego czasu zmiany niż zaplanowano, δ_q^{st} – obsługi stanowiska roboczego, δ_q^{pk} – przerw koniecznych, δ_q^s – strat czasu i δ_q^λ – niestacjonarności procesu obiegu, gdzie a, b, c – są odpowiednio, dla zmian 8, 10 i 12-godzinnych

ny 10-godzinnej wynosi mniej niż ćwierć procenta. Natomiast przy średnich, mniejszej – m_8 i większej – m_{12} błędy są odpowiednio, ujemny i dodatni. Wówczas błędy δ_{ps}^λ mają duże wartości. Zatem zauważa się, że bardzo istotne oddziaływanie mają wartości średnich m_8 i m_{12} silnie wpływające na rozbieżności wyników obliczeń. Stąd należy zwrócić uwagę, aby wartości średnie m_x dokładnie opisywały badany proces, a przy zmiennych czasach obiegu w różnych porach dnia, odnosiły się do właściwych przedziałów okresu zmiany roboczej.

4.2. Błędy częstości przestoju zgłoszeń w kolejce

Błędy względne częstości przestoju zgłoszeń w kolejce z powodu pominięcia poszczególnych elementów składowych okresu zmiany roboczej oraz różnego czasu obiegu w przedziałach okresu zmiany, przedstawiono w tabeli 3 i na rysunku 5. Obliczone wartości błędów wynikają odpowiednio, z racji pominięcia: δ_{ps}^D – różnicy między czasem faktycznym zmiany i planowanym, δ_{ps}^{st} – obsługi stanowiska, δ_{ps}^{pk} – przerw koniecznych, δ_{ps}^s – strat czasu oraz różnego czasu obiegu w przedziałach okresu zmiany – δ_{ps}^λ .

4.3. Błędy średniej liczby zgłoszeń w kolejce

Wyniki obliczeń błędów średniej liczby zgłoszeń w kolejce z powodu pominięcia poszczególnych składowych zmiany roboczej oraz różnego czasu obiegu w przedziałach okresu zmiany, przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 6. W tym przypadku q oznacza, że wielkości dotyczą średniej liczby zgłoszeń, natomiast pozostałe indeksy mają znaczenie, jak wyżej.

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy założeń typowych modeli teorii kolejek i warunków budów oraz korzystając z obliczeń przy zastosowaniu metody rmo stwierdza się, że:

- bezwzględne wartości błędów obliczeń z przyczyny pominięcia ograniczonego okresu zmiany roboczej, monotonicznie zmniejszają się odpowiednio dla coraz większych przedziałów czasu od 8 do 100 godzin,
- względne błędy częstości przestojów aparatu obsługi – δ_{po} są ujemne i wynoszą od $-11,26\%$ do $-0,97\%$, natomiast dodatnie są błędy δ_{ps} – częstości przestojów zgłoszeń i mają wartości od $22,05\%$ do $1,74\%$, zaś δ_q – błędy średniej liczby jednostek w kolejce wynoszą, aż od $49,88\%$ do $2,59\%$, odpowiednio dla coraz większych przedziałów czasu j.w.,
- należy zauważyć bardzo niekorzystne duże wartości każdego rodzaju błędów względnych, od ponad 10% do około 50% , które mają miejsce szczególnie przy ośmio i dziesięciogodzinnych zmianach roboczych występujących w wykonawstwie.

Ponadto stwierdzono, że:

- nieuwzględnienie przerw na odpoczynek i spożycie posiłku przy ośmio i dziesięciogodzinnych zmianach roboczych generuje błędy obliczeń częstości przestojów aparatu obsługi wynoszące $\delta_{po}^{pk} < 5,9\%$ i częstości przestojów zgłoszeń $\delta_{ps}^{pk} < 5,5\%$ oraz bardzo duże błędy średniej liczby zgłoszeń w kolejce, które są $\delta_q^{pk} < 63\%$, zaś pominięcie pozostałych, poszczególnych składowych, tj. wykonywania obsługi technicznych stanowiska roboczego i strat czasu oraz niestacjonarności procesu obiegu jest związane z mniejszymi błędami. Zatem, ze względu na duże rozbieżności wyników obliczeń przy modelowaniu bezmagazynowej pracy na budowie, konieczne winny być uwzględnione występujące przerwy normowe oraz okresowe wykonywanie pracy na zmianach roboczych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Baccelli F., Bremaud P., Elements of Queueing Theory, Springer – Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 2003
- [2] Breuer L., Baum D., An Introduction to Queueing Theory: and Matrix-Analytic Methods, Springer, Dordrecht, The Netherlands 2005
- [3] Filipowicz B., Modele stochastyczne w badaniach operacyjnych, WNT, Warszawa 1996
- [4] Gross D., Harris C. M., Fundamentals of Queueing Theory, John Wiley & Sons Inc., New York 1998
- [5] Więckowski A., Zastosowania modeli kolejkowych do opisu bezmagazynowej pracy na budowie, Warsztaty Inżynierów Budownictwa: Problemy przygotowania i realizacji inwestycji budowlanych, Puławy 2009
- [6] Więckowski A., Błędy obliczeń w analizach systemów obsługi funkcjonujących na budowie, Przegląd Budowlany, 3/2008, 47–54
- [7] Więckowski A., Analiza czasu dysponowanego zmiany roboczej, Przegląd Budowlany, 1/2007, 39–42
- [8] Więckowski A., Skibniewski M., Errors of calculations in M/M/1/FIFO/N/F model with limited duration of shift, 25-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Vilnius 2008, 708–715

Kosmiczna promocja automatyki do bram

Katarzyna Wójcik, Nice Polska

Firma Nice Polska przekracza ziemskie granice i zabiera swoich partnerów handlowych, a także jednego użytkownika swoich produktów... na podbój kosmosu.

Kosmiczna przygoda z Nice to szansa dla Partnerów Handlowych firmy, którzy w czasie trwania programu Odyseja Kosmiczna 2010 zakupią największą ilość produktów Nice z określonych grup produktowych. Organizatorzy przewidzieli również nagrodę specjalną za największy obrót. Szansę na niezapomniane wrażenia będą mieli również użytkownicy automatyki Nice, którzy w czasie trwania programu nabędą produkt Nice objęty promocją. Nagrodą w Odysei Kosmicznej jest wyjazd na Florydę do Aurora

Aerospace Training Centre, gdzie do lotów w kosmos przygotowują się astronauta z całego świata. Tam również zwycięzcy konkursu będą mogli na własnej skórze przekonać się jak to jest znaleźć się w stanie nieważkości, co czują piloci pikujący samolotami, a także wybrać się

na misję na księżyc w Symulatorze Statku Kosmicznego.

To nie pierwszy program motywacyjny, z którym Nice Polska wychodzi do swoich Partnerów Handlowych i użytkowników automatyki. Więcej na ten temat na www.nice.pl

