

Niestandardowe podejście do testowania działań operatora systemu automatyki

Marcin Bednarek

Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Informatyki i Automatyki, al. Powstańców Warszawy 12, 35-029 Rzeszów

Streszczenie: W artykule opisano niestandardowe podejście do diagnozowania preferencji i sposobu użytkowania ekranów synoptycznych interfejsu wizualizacji przez operatora w rozproszonym systemie sterowania. Do przedstawienia sposobu testowania działań operatora systemu automatyki wykorzystano system analizy zachowań użytkowników Microsoft Clarity, zazwyczaj stosowany do badania sposobu poruszania się na stronie internetowej użytkowników korzystających z serwisów internetowych. Pokazano przykład użycia platformy do znalezienia elementów ekranów synoptycznych interfejsu operatorskiego wymagających ulepszenia.

Słowa kluczowe: systemy analizy zachowań użytkowników, system wizualizacji, testowanie działań operatora

1. Wprowadzenie

W rozproszonych systemach sterowania DCS (ang. *Distributed Control System*) można wyróżnić kilka kategorii urządzeń [1, 2]. Są nimi: stacje procesowe PS (ang. *Process Station*) – czyli sterowniki przemysłowe realizujące proces sterowania, stacje inżynierskie ES (ang. *Engineering Station*) – odpowiedzialne za konfigurację systemu oraz uruchomienie i przesył programów sterowania do PS, stacje diagnostyczne DS (ang. *Diagnostic Station*) prowadzące dozоровanie zarówno procesu sterowania, jaki i komunikacji [3], a także stacje operatorskie OS (ang. *Operator Station*). Właśnie za ich pomocą realizowana jest wizualizacja przebiegu procesu sterowania w stacji PS. Służą one także do oddziaływania i kontroli operatorskiej. Działają zwykle w oparciu o dedykowane oprogramowanie firmowe danego producenta sprzętu [4]. Wizualizacja i interakcja z operatorem także odbywa się z poziomu stacji operatorskich wyposażonych w oprogramowanie SCADA (ang. *Supervisory Control And Data Acquisition*). Stosując podział systemów informatycznych (składających się na DCS) na warstwę produkcyjną i warstwę zarządzania, systemy SCADA można usytuować na ich styku [5]. Na rys. 1 przedstawiono schematyczny szkic przykładowego mini-DCS. Zaznaczono na nim obszary, za które odpowiedzialne są poszczególne urządzenia. Górny prostokąt, wyróżniony szarym tłem, zawiera stacje, których dotyczy rozważane w artykule testowanie zachowań operatora systemu automatyki.

Jak wspomniano, główną rolę stacji operatorskich jest wizualizacja procesu oraz umożliwienie oddziaływania operatorskiego. Za pomocą obrazów (ekranów) synoptycznych prezentowany jest bieżący stan dozоровanego procesu [6]. Do dyspozycji operatora są różne rodzaje obrazów (tab. 1). Część z nich może być predefiniowana przez producenta, co oznacza możliwość skorzystania z ustandaryzowanych elementów lub form graficznych oraz z góry narzuconych miejsc ich umieszczenia [A1]. Takimi przykładami są cztery pierwsze kategorie obrazów. Na obrazie przeglądowym użytkownik może wybrać inny obraz, np. za pomocą kliknięcia w wybraną ikonę. Z poziomu obrazu grupowego oraz trendu można zaobserwować działanie procesu, odpowiednio, na standardowych stacyjkach (ang. *facelates*) o minimalistycznym wykonaniu graficznym lub oknie wykresu przebiegu wartości. Natomiast obraz alarmowy prezentuje informacje dotyczące aktualnego stanu systemu w postaci kolorowanej listy komunikatów.

Tabela 1. Kategorie obrazów synoptycznych
Table 1. Types of HMI Displays

Obraz	Opis
Przeglądowy	OVWD (ang. <i>Overview Display</i>)
Trendu	TRD (ang. <i>TRend Display</i>)
Grupowy	GRPD (ang. <i>GRouP Display</i>)
Alarmowy	ALD (ang. <i>ALarm Display</i>)
Graficzny	GRD (ang. <i>GRaphic Display</i>)

Największą dowolnością ekspresji charakteryzuje się obraz graficzny. Przedstawia widok sterowanego systemu (instalacji), z naniesionymi elementami graficznymi ilustrującymi elementy wykonawcze, często z animowanymi fragmentami (słupki – ang. *bargraph*, obszary wypełniane itp.). Zawiera także wiele dynamicznych obiektów umożliwiających oddziaływanie operatorskie, np. poprzez kliknięcie odpowiedniego przycisku, przesunięcie

Autor korespondujący:

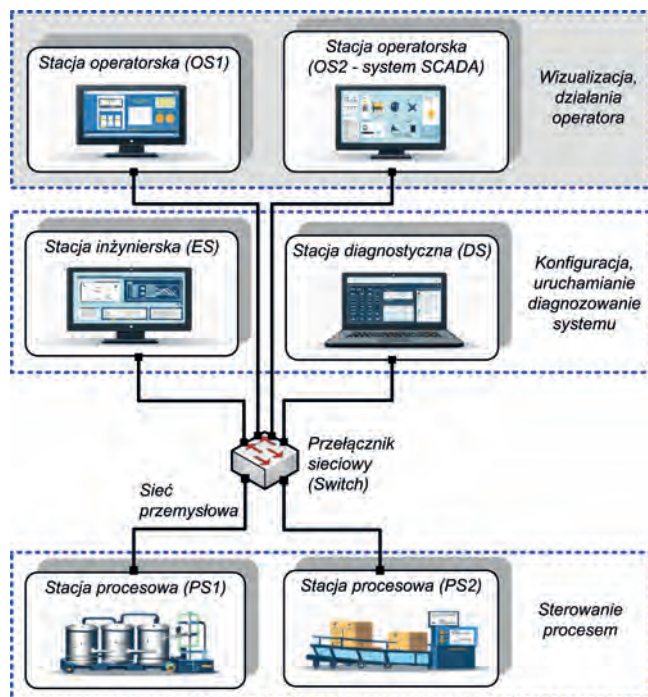
Marcin Bednarek, bednarek@prz.edu.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 12.03.2026 r., przyjęty do druku 23.06.2026 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Int.



Rys. 1. Schemat rozważanego systemu
Fig. 1. Diagram of the considered system

wirtualnego potencjometru suwakowego. Jego wygląd niejednokrotnie podyktowany jest kreatywnością twórcy.

Zbyt uproszczona wizja potrzeb lub niefrasobliwość projektantów synoptycznych ekranów graficznych powoduje, że nie zawsze operator ma do dyspozycji w pełni intuicyjny graficzny interfejs sytemu. Co oznacza to dla użytkownika? – Niepotrzebne zaangażowanie uwagi na zbędne elementy graficzne, np. nietrafione kliknięcia, czy też niecelowe błędzenie kursorem po całkowicie nieadekwatnych do sytuacji obszarach synoptyki. W celu przetestowania działań operatora, a w konsekwencji możliwości udoskonalenia interfejsu użytkownika, projektant powinien otrzymać informację zwrotną dotyczącą miejsc kliknięć myszką na ekranie, czy też sposobu nawigowania przez użytkownika po ekranie synoptycznym. Wyciągnięcie wniosków, na podstawie analizy wyników badania diagnostycznego (testowania) działań operatora, pozwoli na przeprojektowanie ewentualnych nieintuicyjnych miejsc interfejsu graficznego i zastosowanie zasad użyteczności, o których już w 1990 r. wspominał Jakob Nielsen [7].

2. Testowanie działań operatora

W jaki zatem sposób przetestować działania operatora systemu automatyki, wykonującego pewne czynności na ekranie graficznym stacji operatorskiej? A pamiętajmy, że testowanie powinno dawać wyniki przydatne z punktu widzenia wskazówek co do intuicyjności interfejsu użytkownika, którym operator się posługuje. Pożądane rezultaty testów działania operatora (brak chaosu w działaniu, prawidłowo odnalezione elementy dynamiczne, kliknięcia we właściwych miejscach itp.) bezpośrednio przenoszą się na twierdzącą odpowiedź dotyczącą intuicyjności wykorzystywanego interfejsu. Intuicyjność interfejsu i jego bezproblemowe użytkowanie przez operatora świadczą o kompatybilności pary antropotechnicznej „operator-system automatyki” [8]. Spełnienie tego warunku powoduje, że system antropotechniczny *operator-system automatyki* pozostaje w stanie zdatności, a więc realizuje poprawnie zadane funkcje.

Wśród metod badania intuicyjności interfejsu operatora można wymienić m.in. testy użyteczności (ang. *Usability Testing*) [9–11, 13]. Polegają one na obserwacji typowych czynności wyko-

nywanych przez użytkownika. Zakłada się, iż sprawdzenie intuicyjności, czyli podświadomego zachowania operatora najlepiej jest przeprowadzić przed jego zapoznaniem się z instrukcją użytkownika – bez przeszkolenia. W [14] podano przykład zastosowania w odniesieniu do operatora sterowni elektrowni jądrowej.

Intuicyjność najwyraźniej ujawnia się podczas pierwszego kontaktu człowieka z interfejsem. Testy pierwszego kontaktu (ang. *First-Use Testing* lub *First-Click Testing*) służą do badania tzw. pierwszego wyboru użytkownika. Wprowadzie ten sposób nie nadaje się do oceny złożonych wieloetapowych procedur, ale daje informacje nt. przejrzystości struktury interfejsu, stopnia skomplikowania nawigacji po systemie, czy też czytelności etykiet elementów automatyki [11, 12, 15, 17].

Do szybkiej oceny użyteczności interfejsu stosuje się także ankiety składające się ze stwierdzeń, które użytkownik ocenia w pewnej skali SUS (ang. *System Usability Scale*). W zależności od tego, czy „zgadza się zdecydowanie” ze stwierdzeniem, czy też „zdecydowanie się nie zgadza”, do każdej odpowiedzi przyporządkowywana jest odpowiednia liczba punktów wg przyjętej skali i skoku stopniowania. Ten sposób nadaje się głównie do porównania różnych wersji ekranów synoptycznych [16, 18, 20, 21]. W kontekście testowania stanowiska operatorskiego SUS należy traktować w kategoriach postrzeganej użyteczności, a nie jako zamiennik pomiaru efektywności działań operatora. Wyniki testowania przedstawiają subiektywną ocenę użyteczności systemu i są silnie związane z odczuwanym obciążeniem operatora. Nie zastępują jednak obiektywnych miar efektywności, takich jak czas wykonania zadania i liczba błędów [19].

Wśród sposobów badania intuicyjności dostarczających materiał do analizy jakościowej można wskazać także metodę głośnego myślenia (ang. *Think-Aloud Protocol*) [22, 24–26], czy też metodę interaktywną (ang. *Interactive Think-Aloud Protocol*) [23]. Podczas pozyskiwania materiału diagnostycznego, operator systemu automatyki, pracując z ekranami synoptycznymi, werbalizuje swoje poczynania oraz nasuwające się wątpliwości dotyczące procesu użytkowania ekranu synoptycznego. Może to robić wg dwu scenariuszy: podczas wykonywania zadania CTA (ang. *Concurrent Think-Aloud*) lub po jego zakończeniu – przeglądając zarejestrowany materiał RTA (ang. *Retrospective Think-Aloud*) [27]. Istnieją także metody heurystyczne, bazujące na sformułowaniu odpowiednich uznanych zasad projektowych dotyczących interfejsu [10] oraz identyfikacji przez ekspertów potencjalnie możliwych do wystąpienia problemów z intuicyjnym użytkowaniem obrazów [28–31]. Ich przydatność jest większa na wczesnych etapach projektowania systemu i – co najważniejsze – wynik oceny uzależniony jest w dużym stopniu od doboru wyselekcjonowanej, profesjonalnej i doświadczonej grupy ekspertów.

Diagnozowanie kompatybilności pary antropotechnicznej operator–system SCADA dotychczas realizowano stosując aplikację testującą oraz metody statystyczne [32]. Natomiast odpowiedzią na postawione wcześniej pytanie, a zarazem zasadniczą różnicą między przedstawionym w artykule niestandardowym podejściem do testowania działań operatora systemu automatyki, a metodami opisanymi w literaturze, jest użycie jednego z narzędzi analitycznych badających zachowania użytkownika użytkującego stronę internetową. Z tym jednak zastrzeżeniem, że zawartość graficzna strony internetowej odpowiadać będzie ekranom synoptycznym lub jego fragmentom, które poddawane są ocenie przez projektanta systemu. W tym wypadku do testowania zachowania operatora proponuje się użycie tego typu środowiska (Clarity [A2]).

3. Środowiska i narzędzia analityczne

Wśród narzędzi, które służą do analizy zachowań użytkowników na stronach internetowych można wymienić *Google Analytics*. Mimo rozbudowanych funkcji raportowania nie jest ono

przydatne do testowania działań operatora wizualizacji systemu automatyki z powodu nieobsługiwania i braku możliwości tworzenia map cieplnych. Innymi rozwiązaniami są np. komercyjne lub tylko częściowo darmowe *Hotjar* [A3], *Smartlook* [A4], *Mouseflow* [A5], *FullStory* [A6], *PostHog* [A7] lub właśnie wybrane do testowania zachowań operatora darmowe środowisko Clarity.

Microsoft Clarity jest narzędziem, które pomaga w procesie analizy zachowań użytkowników na stronach internetowych. Umożliwia ono rejestrację rzeczywistych interakcji operatora z interfejsem, np. ruchów kursora, kliknięć myszką, przewijania zawartości strony. Sesje operatora są rejestrowane, w celu ich późniejszego badania pod kątem sposobu korzystania z interfejsu [A8].

Spśród dostępnych funkcjonalności, przydatnych zwłaszcza do realizacji badania zachowań operatora wizualizacji systemu automatyki można wymienić:

- mapy cieplne (ang. *heatmaps*), które graficznie obrazują obszary ekranu, w które najczęściej się klika;
- identyfikacja tzw. „wściekłych kliknięć” (ang. *rage clicks*) – wielokrotnych, niepotrzebnych szybkich reakcji myszką na ten sam element;
- rozpoznawanie tzw. „martwych kliknięć” (ang. *dead clicks*) – interakcji niepowodujących żadnych skutków (kliknięć na elementy graficzne niebędące dynamicznymi, aktywnymi obiektami);
- rejestrowanie sesji z zaznaczeniem śladu ruchów kursora (tylko w wersji komputerowej).

Narzędzie działa w architekturze chmurowej. Dane z procesu testowania prezentowane są w przejrzystym panelu administracyjnym, który umożliwia filtrowanie zebranych danych według różnych kryteriów, np. rodzaju zdarzenia, czasu wykonania testu. Na rys. 2 przedstawione zostały główne parametry dotyczące statystyki wykorzystania aplikacji testującej działania operatora systemu automatyki, wspieranej właśnie przez Clarity:

- liczba odwiedzin aplikacji testującej (zawierająca także „przypadkowe” wizyty botów);
- średnia liczba otwieranych podstron (tutaj testowanych ekranów synoptycznych) w każdej sesji;
- średni stopień przewinięcia obrazu synoptycznego (100 % – do końca);
- średni czas spędzony przez operatora z aplikacją (całkowity i wypełniony aktywnością).

Platforma Clarity nie zastępuje klasycznych, dużych systemów analitycznych mierzących wskaźniki biznesowe, ale stanowi ich bardzo dobre uzupełnienie, dostarczając jakościowego wglądu w rzeczywiste zachowania użytkowników. Jest także funkcjonal-



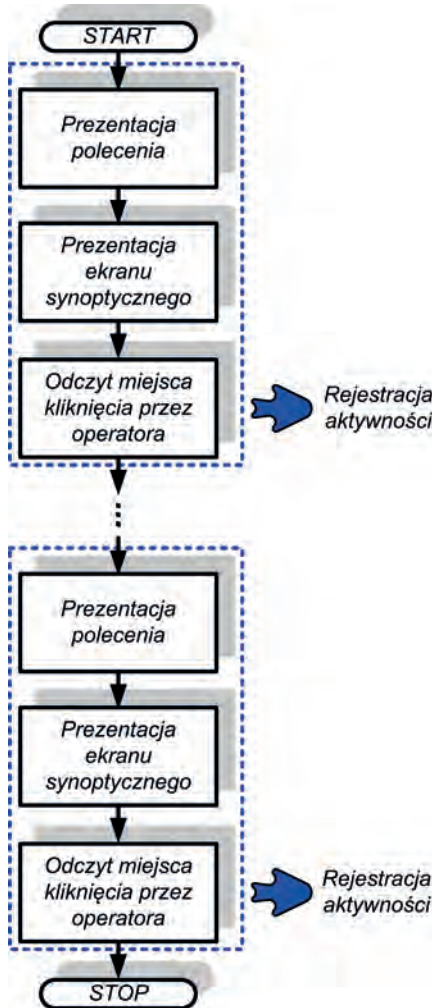
Rys. 2. Główne informacje w panelu administracyjnym wykorzystanego narzędzia: a) liczba wejść, średnia liczba otwartych podstron; b) średni stopień przewinięcia obrazu, średni czas spędzony w aplikacji

Fig. 2. Main information presented in the administrative dashboard of the tool used: a) number of sessions, average number of pages per session; b) average scroll depth, average time spent in the application

nym samodzielnym narzędziem testowym. Dzięki temu środowisko to znalazło zastosowanie zarówno w różnej klasy projektach internetowych, ale też – jak w niniejszym opracowaniu – jako narzędzie do testowania zachowań operatora systemu automatyki. W celu pokazania praktycznego zastosowania tego typu narzędzi, w kolejnej sekcji przedstawiono przykład wykonanego systemu testującego.

4. Wykorzystanie jednego z rozwiązań

System testujący działanie operatora wizualizacji układu automatyki został zaimplementowany jako aplikacja webowa z użyciem języków HTML, PHP oraz fragmentów JavaScript. Wykonany został jako zestaw kolejno wywoływanych stron internetowych, czyli inaczej – jako wieloetapowy formularz wieloetapowy (ang. *Multi-step form*). Na stronach systemu testującego prezentowane są naprzemiennie: polecenia do wykonania przez operatora na ekranie, np. zlecenia kliknięcia wybranego elementu oraz, kolejno, ekran synoptyczny lub jego fragment, na którym użytkownik powinien znaleźć odpowiednie miejsce kliknięcia najbardziej jego zdaniem pasujące jako odpowiedź (rys. 3). Ze względu na nieskomplikowaną potencjalną modyfikację prezentowanego formularza wieloetapowego, polegającą na możliwości dodania właściwie dowolnej liczby stron w systemie testującym, na rysunku zaznaczono to pionowym wielokropkiem. Przejście między kolejnymi etapami formularza testowego wywoływane jest przez diagnozowanego użytkownika za pomocą przycisków nawigacyjnych.



Rys. 3. Uproszczony schemat zasady działania systemu testującego

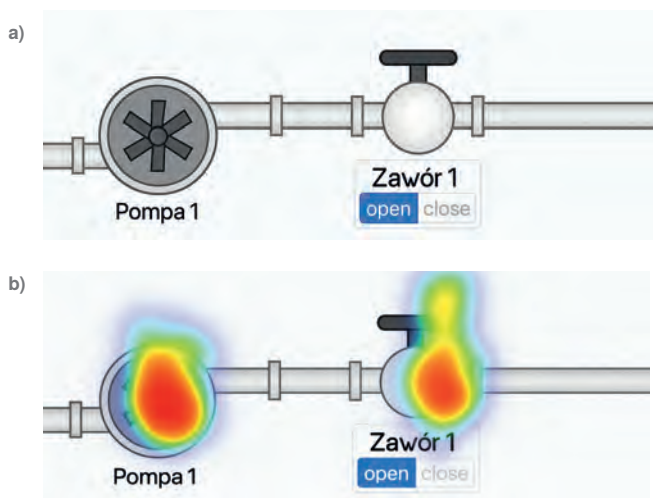
Fig. 3. Simplified diagram illustrating the operating principle of the testing system

W celu umożliwienia analizy zachowania użytkowników w wielostronicowym formularzu z wykorzystaniem narzędzia Microsoft Clarity, konieczne jest poprawne uruchomienie go na wszystkich etapach formularza (podstronach). Podstawowym zadaniem jest umieszczenie dedykowanego skryptu JavaScript, dostarczanego przez środowisko Clarity, w kodzie każdej podstrony. Zawiera on m.in. ID projektu wcześniej zdefiniowanego na stronie systemu analitycznego Clarity. Powinien znajdować się w sekcji `<head>` dokumentu HTML, co zapewnia jego załadowanie przed rozpoczęciem testowania działań operatora z interfejsem systemu testującego. W celu zachowania ciągłości rejestracji sesji użytkownika, na wszystkich stronach formularza powinien znajdować się ten sam identyfikator projektu. Istotnym zagadnieniem jest sposób realizacji przejść pomiędzy kolejnymi podstronami formularza. W omawianym przypadku – klasycznego formularza wielostronicowego, w którym każdy etap powoduje przeładowanie strony – narzędzie Clarity automatycznie rejestruje zmiany kontekstu i umożliwia analizę pełnej sekwencji działań użytkownika bez konieczności dodatkowej konfiguracji.

5. Przykład aplikacyjny

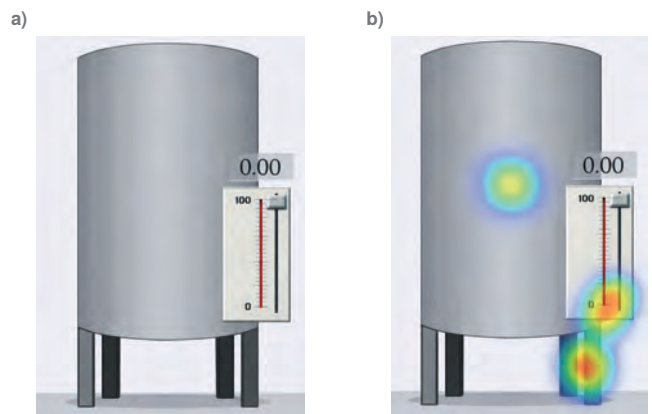
Na kolejnych podstronach wieloetapowego formularza systemu testującego umieszczono polecenia do realizacji przez diagnozowanego operatora oraz rysunki przedstawiające fragmenty ekranów synoptycznych obrazu GRD (tab. 1), na których umieszczono fragment-element obrazu w celu sprawdzenia wykonanego działania. Wybrane trzy z nich, umownie nazwane zostały „Pompa”, „Zbiornik” oraz „Turbina”.

Dla przypadku (dla uproszczenia używany będzie zamiennie termin „obiekt”) „Pompa” polecenie brzmiało: *Proszę o wybór miejsca, kliknięcie na które wywoła manualną reakcję zmiany trybu pracy obiektu Pompa 1 z „wyłączona” na „włączona”*. W kolejnym kroku zaprezentowana została grafika z rys. 4a.



Rys. 4. Obiekt Pompa: a) prezentowany fragment obrazu; b) wizualizacja działań operatora
Fig. 4. Pump object: a) section of the graphic display; b) visualization of operator actions

Rysunek 4b przedstawia obraz uzyskany z projektu w systemie Clarity, zawierający mapy cieplne (ang. *heat maps*) ilustrujące intensywność kliknięć przez testowanych operatorów w danym miejscu obrazu. Wyraźnie widać, iż nie wszystkie testowane osoby, aby przełączyć tryb pracy pompy (w zamierzeniu należało kliknąć na obraz lub etykietę pompy) wybrały właściwą ikonę. Można dostrzec mapę cieplną, nieco mniejszą, także na symbolu zaworu, co nie jest oczekiwanym skutkiem wykonania polecenia, bowiem mogłoby to np. spowodować niepożądane zamknięcie dopływu cieczy.

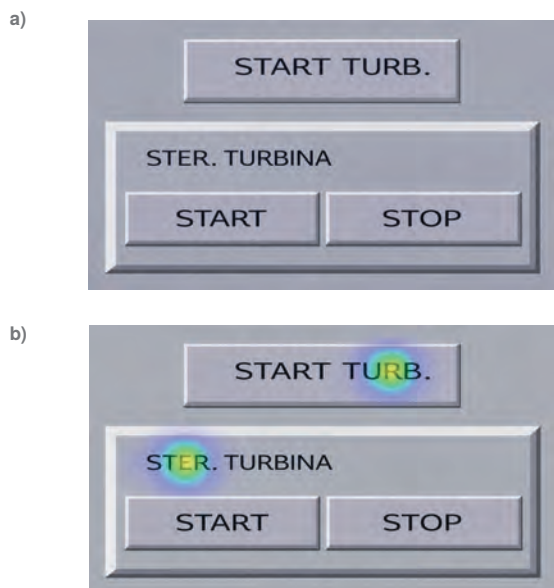


Rys. 5. Obiekt Zbiornik: a) prezentowana wizualizacja; b) wizualizacja działań operatora
Fig. 5. Tank object: a) section of the graphic display; b) visualization of operator actions

W przykładzie drugim (obiekt „Zbiornik”) poleceniem było: *Proszę o wybór miejsca, kliknięcie na które wywoła możliwość manualnej zmiany wartości maksymalnej utrzymywanego poziomu cieczy w zbiorniku*. Domyślną i poprawną odpowiedzią było wskazanie dynamicznego obiektu graficznego przedstawiającego potencjometr suwakowy (rys. 5a). Wbrew oczekiwaniom, odpowiedź – reakcja testowanych operatorów była mniej intuicyjna. Na rys. 5b widać bowiem ilustrację prawidłowego wyboru części z testowanych użytkowników (mapa cieplna położona na skali potencjometru) oraz mapy cieplne odpowiadające błędnym kliknięciom na zbiornik oraz w okolicach miejsca posadowienia. Wybór tej ostatniej opcji można tłumaczyć jedynie brakiem dokładności „klikających”.

W ostatnim przykładzie (obiekt „Turbina”) polecenie do zrealizowania przez operatora brzmiało: *Proszę o wybór miejsca, kliknięcie na które wywoła manualne włączenie pracy turbiny*. Na obrazie graficznym udostępnionym operatorowi (rys. 6a) przedstawiony był, w górnej części, wirtualny przycisk („START TURB.”), którego kliknięcie było interpretowane jako poprawna reakcja operatora.

Mapy cieplne jednak pokazują, że zaproponowane funkcje fragmentu synoptycznego obrazu graficznego nie są jednoznaczne



Rys. 6. Obiekt Turbina: a) prezentowana wizualizacja; b) wizualizacja działań operatora
Fig. 6. Turbine object: a) section of the graphic display; b) visualization of operator actions

nie interpretowane (rys. 6b). Część z grupy testowanych operatorów błędnie klikała na napis „STER. TURBINA”, w okolicy napisu „START”. Należy jednak zauważyć, że dolny prostokąt quasi-trójwymiarowy z napisami „START” i „STOP” jest jedynie graficzną stacyjką operatorską (ang. *faceplate*) wizualizującą aktualny tryb stanu pracy turbiny.

6. Podsumowanie

W artykule przedstawiono zagadnienia związane z testowaniem działań operatora systemu wizualizacji w rozproszonych systemach sterowania. Podano role stacji operatorskich oraz klasyfikację obrazów synoptycznych, wskazując, że nadmierna swoboda projektowa w przypadku ekranów graficznych może prowadzić do błędnej interpretacji elementów interfejsu, nieefektywnych działań operatora, a co za tym idzie – do błędów w użytkowaniu. Omówiono klasyczne metody badania użyteczności interfejsów graficznych oraz zaproponowano alternatywne, niestandardowe podejście polegające na wykorzystaniu narzędzia Microsoft Clarity, powszechnie stosowanego do analizy zachowań użytkowników aplikacji internetowych.

Wśród przykładów aplikacyjnych zaprezentowano wyniki testów interakcji operatorów z fragmentami ekranów synoptycznych, reprezentujących wizualizację związaną z obiektami technologicznymi pompy, zbiornika oraz turbiny. Analiza map cieplnych i rejestrowanych kliknięć ujawniła rozbieżności między oczekiwaniami projektanta interfejsu, a intuicyjnymi działaniami – wyborami użytkowników. Wskazano przypadki niejednoznacznej interpretacji elementów graficznych, prowadzące do kliknięć w obszary niebędące właściwymi obiektami sterującymi, co w rzeczywistym systemie mogłoby skutkować doprowadzeniem do zaburzenia procesu technologicznego. Uzyskane w każdym z przytoczonych trzech przykładów wyniki potwierdziły, że nawet obecność opisów tekstowych i graficznych stacyjek operatorskich nie gwarantuje poprawnego odczytania zamierzeń projektanta, czyli wyboru prawidłowej funkcji elementu interfejsu. W związku z tym, system testowania zachowań operatorów jest pożądanym pomocniczym narzędziem w procesie dostosowywania graficznego interfejsu do zasad intuicyjności [7]. Pokazano skuteczne wykorzystanie niestandardowego podejścia do badania, jakim jest użycie systemu informatycznego Clarity, generującego niezwykle przydatne mapy cieplne, jako narzędzia wspomagającego ocenę intuicyjności interfejsów operatorskich na etapie ich projektowania i weryfikacji.

Bibliografia

- Bednarek M., Dąbrowski T., *Układ dozoru-terapeutyczny systemu transmisji danych w sieci przemysłowej*, „Przegląd Elektrotechniczny”, Nr 11, 2019, 162–165, DOI: 10.15199/48.2019.11.42.
- Bednarek M., *Diagnozowanie komunikacji między elementami rozproszonego systemu sterowania*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 26, Nr 4, 2022, 91–98, DOI: 10.14313/PAR_246/91.
- Bednarek M., Dąbrowski T., Wiśnios M., *Koncepcja zabezpieczenia transmisji pomiędzy stacjami diagnostycznymi*, „Pomiary Automatyka Kontrola”, Wydawnictwo PAK, R. 60, Nr 9, 2014, 749–752.
- Bednarek M., *Wizualizacja procesów – laboratorium*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2004.
- Kwiecień R., *Komputerowe systemy automatyki przemysłowej*, Helion, Gliwice, 2013.
- Dąbrowski T., Olchowik W., *Podstawy eksploatacji systemów. Podstawy diagnostyki*, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa 2020.
- Nielsen J., Molich R., *Heuristic Evaluation of User Interfaces*, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1990, 249–256, DOI: 10.1145/97243.97281.
- Dąbrowski T., *Diagnozowanie systemów antropotechnicznych w ujęciu potencjałowo-efektowym*, Wydawnictwo Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa, 2001.
- Rubin J., Chisnell D., *Handbook of Usability Testing: How to Plan, Design, and Conduct Effective Tests*, Wiley, 2008.
- Nielsen J., *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann, 1993, DOI: 10.1016/C2009-0-21512-1.
- Sauro J., Lewis J.R., *Quantifying the User Experience: Practical Statistics for User Research*, (2nd ed.), Morgan Kaufmann, 2016.
- Sauro J., Lewis J.R., *Surveying the User Experience: Design and Analysis of Surveys for UX and Customer Research*, MeasuringUPress, 2024, ISBN: 978-1-7333392-1-6.
- Dumas J.S., Redish J.C., *A Practical Guide to Usability Testing*, (Revised Edition), Intellect Books, 1999.
- Koskinen H., Laarni J., Norros L., Liinasuo M., Savioja P., *Systems Usability Case in Stepwise Control Room Validation*, „Safety Science”, Vol. 134, 2021, DOI: 10.1016/j.ssci.2020.105030.
- Hornbaek K., *Current Practice in Measuring Usability: Challenges to Usability Studies and Research*, „International Journal of Human-Computer Studies”, Vol. 64, No. 2, 2006, 79–102, DOI: 10.1016/j.ijhcs.2005.06.002.
- Perrig S.A.C., Aeschbach L.F., Scharowski N., von Felten N., Opwis K., Brühlmann F., *Measurement Practices in User Experience (UX) Research: A Systematic Quantitative Literature Review*, „Frontiers in Computer Science”, Vol. 6, 2024, DOI: 10.3389/fcomp.2024.1368860.
- Albert W.B., Tullis T.S., *Measuring the User Experience: Collecting, Analyzing, and Presenting UX Metrics*, (3rd ed.), Morgan Kaufmann, 2022, DOI: 10.1016/C2018-0-00693-3.
- Brooke J., *SUS: A Retrospective*, „Journal of Usability Studies”, Vol. 8, No. 2, 2013, 29–40, DOI: 10.5555/2817912.2817913.
- Hertzum M., *System Usability Scale: A Meta-Analysis of How SUS Relates to Workload, Task Time, and Error Rate*, „International Journal of Human-Computer Interaction”, 2026, DOI: 10.1080/10447318.2026.2625260.
- Bangor A., Kortum P., Miller J., *An Empirical Evaluation of the System Usability Scale*, „International Journal of Human-Computer Interaction”, Vol. 24, No. 6, 2008, 574–594, DOI: 10.1080/10447310802205776.
- Hyzy M., Bond R., Mulvenna M., Bai L., Dix A., Leigh S., Hunt S., *System Usability Scale Benchmarking for Digital Health Apps: Meta-analysis*, „JMIR mHealth and uHealth”, Vol. 10, No. 8, 2022, DOI: 10.2196/37290.
- McDonald S., Edwards H., Zhao T., *Exploring Think-Alouds in Usability Testing: An International Survey*, „IEEE Transactions on Professional Communication”, Vol. 55, No. 1, 2012, 2–19, DOI: 10.1109/TPC.2011.2182569.
- O'Brien L., Wilson S., *Talking About Thinking Aloud: Perspectives from Interactive Think-Aloud Practitioners*, „Journal of User Experience”, Vol. 18, No. 3, 2023, 113–132, DOI: 10.5555/3605526.3605528.
- Fan M., Lin J., Chung C., Truong K.N., *Concurrent think-aloud verbalizations and usability problems*, „ACM Transactions on Computer-Human Interaction”, Vol. 26, No. 5, 2019, DOI: 10.1145/3325281.
- Fan M., Zhu L., *Think-Aloud Verbalizations for Identifying User Experience Problems: Effects of Language Proficiency with Chinese Non-Native English Speakers*, „Proceedings of the Ninth International Symposium of Chinese CHI”, Association for Computing Machinery, 2021, 22–32, DOI: 10.1145/3490355.3490358.

26. Hertzum M., Holmegaard K., *Thinking Aloud Influences Perceived Time*, “Human Factors”, Vol. 57, No. 1, 2014, 101–109, DOI: 10.1177/0018720814540208.
27. Hertzum M., *Concurrent or Retrospective Thinking Aloud in Usability Tests: A Meta-Analytic Review*, “ACM Transactions on Computer-Human Interaction”, Vol. 31, No. 3, 2024, DOI: 10.1145/3665327.
28. Pham T., Boone A.P., Ngo M.K., *Heuristic Evaluation of Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Displays*, “Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting”, Vol. 67, No. 1, 2023, 1767–1774, DOI: 10.1177/21695067231192536.
29. Zhang J., Walji M.F., *TURF: Toward a unified framework of EHR usability*, “Journal of Biomedical Informatics”, Vol. 44, No. 6, 2011, 1056–1067, DOI: 10.1016/j.jbi.2011.08.005.
30. Pruitt Z., Howe J.L., Krevat S.A., Khairat S., Ratwani R.M., *Development and Pilot Evaluation of an Electronic Health Record Usability and Safety Self-Assessment Tool*, “JAMIA Open”, Vol. 5, No. 3, 2022, DOI: 10.1093/jamiaopen/ooac070.
31. Apraiz A., Mulet Alberola J.A., Lasa G., Mazmela M., Nguyen H.N., *Development of a New Set of Heuristics for*

the Evaluation of Human-Robot Interaction in Industrial Settings: Heuristics Robots Experience (HEUROBOX), “Frontiers in Robotics and AI”, Vol. 10, 2023, DOI: 10.3389/frobt.2023.1227082.
32. Dąbrowski T., Bednarek M., Rosiński A., Olchowik W., *Engineering Application of a Product Quality Testing Method within the SCADA System Operator Education Quality Assessment Process*, “Applied Sciences”, Vol. 13, No. 7, 2023, DOI: 10.3390/app13074139.

Inne źródła

A1. Dokumentacja techniczna *Freelance. Getting Started*, Version 9.2 SP1, ABB, 2010.

A2. *Clarity*, [https://clarity.microsoft.com/].

A3. *Hotjar*, [https://hotjar.com].

A4. *Smartlook*, [https://smartlook.com].

A5. *Mouseflow*, [https://mouseflow.com].

A6. *Fullstory*, [https://fullstory.com].

A7. *PostHog*, [https://posthog.com].

A8. *Microsoft Clarity Documentation*, [https://learn.microsoft.com/en-us/clarity/].

A Non-Standard Approach to Testing the Activities of an Automation System Operator

Abstract: The article describes a non-standard approach to diagnosing operator preferences and patterns of use of synoptic screens within a visualization interface in a distributed control system. To present the method for testing the actions of an automation system operator, the user behavior analysis system Microsoft Clarity was employed, which is typically used to analyze how users navigate websites. An example of using this platform to identify elements of the operator interface synoptic screens that require improvement is presented.

Keywords: user behavior analytics systems, visualization system, and testing of operator activities

dr inż. Marcin Bednarek

bednarek@prz.edu.pl
ORCID: 0000-0001-8987-5134

Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Informatyki i Automatyki Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w Wojskowej Akademii Technicznej. Główny obszar zainteresowań oraz działalności naukowej i dydaktycznej to diagnostyka i eksploatacja systemów antropotechnicznych, komunikacja w rozproszonych systemach sterowania i sieciach przemysłowych, niezawodność i bezpieczeństwo systemów i sieci komputerowych. Jest autorem/współautorem ponad 130 publikacji.

