

Anna HAMERA¹

Opiekun naukowy: Janusz MLECZKO²

10 HEURYSTYK NIELSENA JAKO PODSTAWA AUDYTU EKSPERCKIEGO UŻYTECZNOŚCI SYSTEMÓW INFORMATYCZNYCH WSPOMAGAJĄCYCH PROCESY PRODUKCYJNE

Streszczenie: W czasach intensywnej cyfryzacji procesów produkcyjnych, heurystyki użyteczności Jakoba Nielsena umożliwiają skuteczną optymalizację użyteczności systemów informatycznych, co zwiększa ich efektywność operacyjną oraz podnosi ergonomię pracy, odpowiadając na wyzwania Przemysłu 4.0. Optymalizacja doświadczeń użytkownika (UX) w tym kontekście otwiera nowe możliwości dla innowacji i rozwoju.

Słowa kluczowe: doświadczenia użytkownika, procesy produkcyjne, użyteczność

10 NIELSEN'S HEURISTICS AS THE BASIS FOR EXPERT USABILITY AUDIT OF INFORMATION SYSTEMS SUPPORTING PRODUCTION PROCESSES

Summary: Amidst the rapid digital transformation of manufacturing processes, the application of Jakob Nielsen's usability heuristics facilitates the effective enhancement of information system usability, thereby augmenting operational efficacy and elevating ergonomic work practices in response to Industry 4.0 challenges. This optimization of the User Experience (UX) paradigm fosters novel avenues for innovation and development.

Keywords: user experience, production process, usability

1. Wstęp

W dobie szybko postępującej cyfryzacji procesów produkcyjnych, kluczowym wyzwaniem staje się zapewnienie wysokiej użyteczności systemów informatycznych wykorzystywanych do ich obsługi. Zastosowanie 10 heurystyk użyteczności opracowanych przez Jakoba Nielsena w kontekście audytu ekspertyzy systemów

¹ Mgr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska, Inżynieria Mechaniczna, hamera.annamaria@gmail.com

² Dr hab., prof. UBB, Uniwersytet Bielsko-Bialski, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Katedra Inżynierii Produkcji, jmleczko@ubb.edu.pl

wspierających produkcję to jedna z możliwości zapewnienia wysokiej jakości doświadczeń użytkownika (UX). [1] Przedstawiona metodologia pozwala na ocenę i optymalizację interfejsów użytkownika, a tym samym przyczynia się do poprawy wydajności i ergonomii pracy. Rozpatrzenie heurystyk Nielsena jako fundamentu do analizy użyteczności, umożliwia przedsiębiorstwu wzmocnienie konkurencyjności przez efektywniejsze wykorzystanie narzędzi informatycznych. [2][3][4] W niniejszej pracy dokonano audytu systemów klasy ERP pod kątem ich zgodności z heurystykami Nielsena, a także zaprezentowano przykłady wykorzystania poszczególnych heurystyk wraz z uzasadnieniem poprawności zastosowania lub sugestią optymalizacji rozwiązania, aby spełniało niniejsze wytyczne.

2. Systemy informatyczne wspomagające procesy produkcyjne

Współczesne przedsiębiorstwa przemysłowe, zarówno w sektorze produkcji, jak i usług, korzystają z zaawansowanych systemów informatycznych, takich jak ERP, MES, APS i WMS, aby zoptymalizować swoje procesy. Integracja tych systemów, zwana Zintegrowanymi Systemami Zarządzania (IMS), jest kluczowym elementem w różnych branżach, w tym w sektorze motoryzacyjnym, przemysłowym i usługowym. [5] Ponadto, Systemy Planowania Zasobów Przedsiębiorstwa (ERP) również odgrywają istotną rolę w obszarze informatycznych systemów produkcyjnych. Chociaż definicja systemów ERP jest różnorodna, to są one szeroko stosowane w różnych sektorach przemysłowych. Systemy ERP pomagają w integracji różnych procesów biznesowych, umożliwiając lepszą kontrolę nad produkcją, zarządzanie zapasami, a także ułatwiają raportowanie i analizę danych. [6] W dynamicznym świecie cyfrowym, digitalizacja stała się powszechna, co sprawiło, że inżynieria systemów informatycznych stała się nierozdzielnie związana z inżynierią produkcji. Przemysł 4.0, z jego zaawansowanymi technologiami takimi jak Internet Rzeczy (IoT) i sztuczna inteligencja, stawia przed przedsiębiorstwami nowe wyzwania, ale także możliwości. W dzisiejszym interdyscyplinarnym podejściu naukowym, badania nad systemami informatycznymi stały się nieodłączną częścią dziedziny inżynierii produkcji. Nawet pozornie humanistyczne aspekty, takie jak badanie i uwzględnianie potrzeb użytkowników oraz użyteczność systemów (szeroko pojęty User Experience), stały się kluczowymi elementami mającymi wpływ na efektywność produkcji. Analiza interakcji między ludźmi a technologią w kontekście różnych branż oraz integracja odmiennych dziedzin w procesie projektowania systemów informatycznych stały się kluczowymi wyzwaniami dla dzisiejszych inżynierów produkcji, zmierzając ku bardziej efektywnym, zrównoważonym i konkurencyjnym rozwiązaniom. [7]

3. Audyt ekspercki użyteczności

Audyt ekspercki użyteczności systemów informatycznych obejmuje kompleksową ocenę, jak użytkownicy wchodzi w interakcję z danym produktem w kontekście realizacji zadań i osiągania celów. Badanie to obejmuje obserwację zachowań, analizę

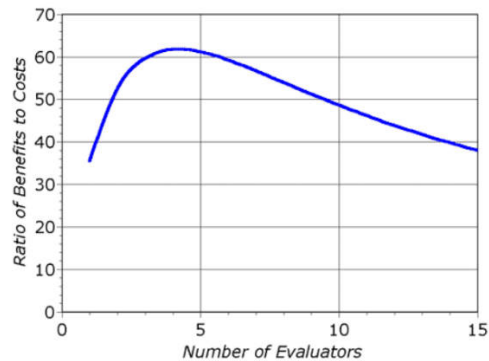
kognitywną oraz wykorzystuje dane behawioralne i testy użyteczności. [8] W szczególności, skupia się na adaptacji interfejsów użytkownika [9] oraz optymalizacji doświadczenia w kontekście specyficznych potrzeb, jak np. wymagania osób niewidomych. [10] Celem jest wypracowanie konsensusu pomiędzy wymaganiami biznesowymi a użytkownikami, często niezauważalnego dla twórców produktów. Efektywne połączenie danych ilościowych z jakościowymi pozwala na wyłonienie optymalnych rekomendacji mających na celu poprawę wydajności i funkcjonalności oprogramowania, harmonizując wymagania inżynierskie i projektowe. Rozwój modeli cyklu życia oprogramowania, takich jak Agile czy Lean, ma na celu integrację różnych dyscyplin, takich jak m. in. bezpieczeństwo cyfrowe i projektowanie UX, w jedną całość produktową, co prowadzi do znacznego wzrostu efektywności i zmniejszenia kosztów poprzez wczesne wykrywanie i eliminowanie problemów. Audyt ekspercki użyteczności, poprzez interdyscyplinarny charakter, stanowi kluczowy element w rozwoju wysoko funkcjonalnych systemów informatycznych wspierających procesy produkcyjne. Jest to zatem narzędzie umożliwiające tworzenie bardziej użytecznych i dostępnych systemów, co w efekcie wpływa na zwiększenie wydajności procesów produkcyjnych. [11][12] [13]

4. 10 heurystyk Nielsen

Heurystyki Nielsen, stworzone przez Jakoba Nielsen i Rolf Molicha w 1990 roku [11], są zasadami projektowania interfejsu użytkownika stanowiącymi wskazówki dla inżynierów oprogramowania. Te reguły często zwane są również „Heurystykami Użyteczności” i mają na celu ułatwienie identyfikacji problemów z użytecznością systemów informatycznych. Metoda heurystyczna, opierając się na tych zasadach, pozwala ocenić, na ile interfejs spełnia wytyczne dotyczące użyteczności. Końcowy zestaw heurystyk, który aktualnie jest szeroko znany i stosowany, został opublikowany przez J. Nielsen i L. Macka w 1994 roku w książce „Usability Inspection Methods”. [14]

4.1. Ewaluacja heurystyczna

Ewaluacja heurystyczna to technika oceny użyteczności pozwalająca na identyfikacji problemów interfejsu użytkownika, co jest szczególnie istotne dla iteracyjnego projektowania. Zasada działania metody polega na analizie przez niewielką grupę oceniających zgodności interfejsu z przyjętymi zasadami użyteczności. [11] Doświadczenia wskazują, że pojedynczy oceniający może przeoczyć pewne problemy, które inni wykryją. Dlatego, jak pokazują studia, zwiększenie liczby ewaluatorów do od trzech do pięciu osób znacząco podnosi efektywność metody, zapewniając szerokie spektrum identyfikowanych problemów przy zachowaniu efektywności kosztowej. Zbyt duża liczba ewaluatorów nie przynosi proporcjonalnych korzyści (Rysunek 1). [1]



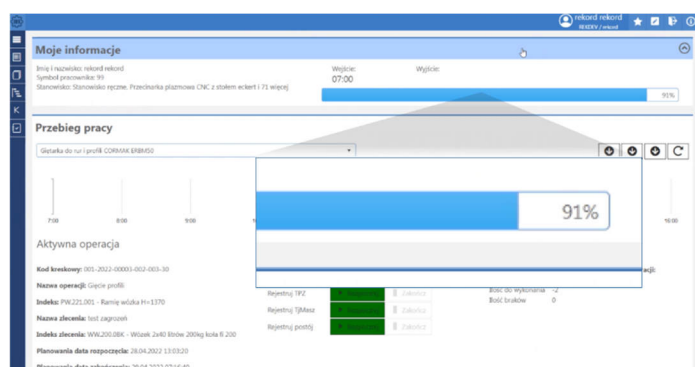
Rysunek 1. Wykres zależności opłacalności kosztowej współczynnika benefitów do kosztów wobec liczby badaczy zaangażowanych w analizę heurystyczną [1]

4.2. Przykłady zastosowania

Heurystyki, będące ogólnymi regułami, wymagają umiejętności praktycznego stosowania w kontekście tworzenia i analizy systemów informatycznych. Poniższe podrozdziały prezentują analizę przypadków zastosowania heurystyk Nielsena w systemach wspierających procesy produkcyjne, ukazując zarówno występujące dysfunkcje użyteczności wraz z rekomendacjami ich usprawnienia, jak i efektywne przykłady implementacji zasad zaproponowanych przez Jakoba Nielsena.

4.2.1. Pokazuj status systemu

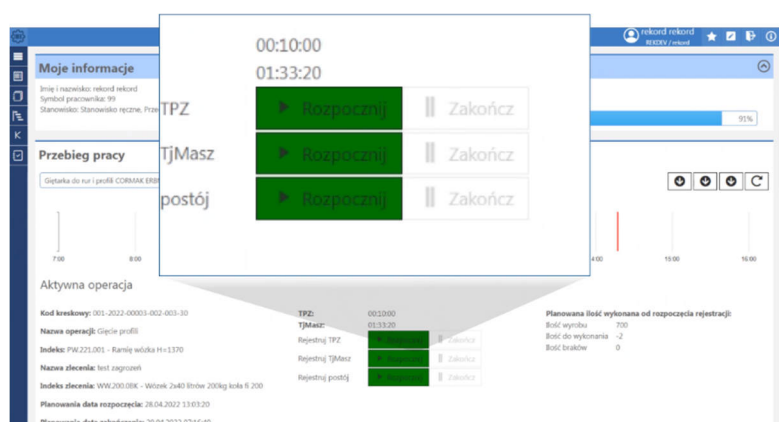
Interfejs użytkownika powinien nieustannie informować o bieżących działaniach systemu, dostarczając adekwatne informacje zwrotne w akceptowalnym przedziale czasowym. Przykładem jest pasek postępu znajdujący się na interfejsie użytkownika oprogramowania Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część Rekord ERP wspierającego procesy produkcyjne, informujący o tym jaki procent procesu został wykonany (Rysunek 2).



Rysunek 2. Zrzut ekranu oprogramowania Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część Rekord ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający zastosowanie pierwszej heurystyki Nielsena. Opracowanie własne.

4.2.2. Zachowaj zgodność pomiędzy systemem a rzeczywistością

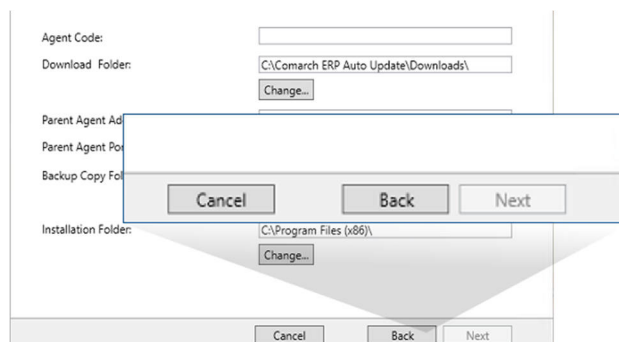
Interfejs użytkownika powinien komunikować się w języku zrozumiałym dla użytkownika, wykorzystując znane terminologie i koncepty, unikając specjalistycznego żargonu. Prezentacja informacji musi odpowiadać konwencjom rzeczywistości, zachowując naturalną i logiczną sekwencję. Na przykładzie z systemu Rekord ERP (Rysunek 3) przedstawiono sytuację, gdy ikona zastosowana obok etykiety przycisku nie jest z nim w pełni spójna. Rozwiązaniem jest użycie dla akcji zatrzymania (przycisk „Zakończ”) ikony szeroko wykorzystywanej dla akcji zatrzymania/stopu (kwadrat) albo zmiana etykiety przycisku na „Wstrzymaj”.



Rysunek 3. Zrzut ekranu oprogramowania Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część Rekord ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający niezgodność z drugą heurystyką Nielsena. Opracowanie własne

4.2.3. Daj użytkownikowi pełną kontrolę

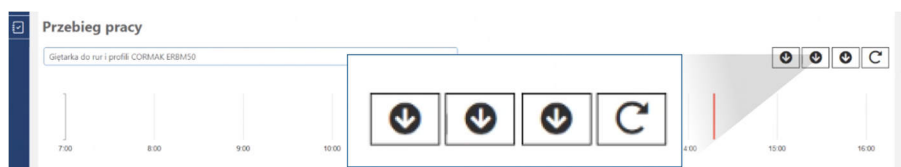
W projektowaniu interfejsu użytkownika kluczowa jest możliwość łatwego wycofania się z niezamierzonych akcji, bez potrzeby przechodzenia skomplikowanych procedur. Zastosowaniem tej reguły jest np. umożliwienie użytkownikowi dowolnego poruszania się po procesie poprzez przyciski „Wstecz” (eng. Back) i „Dalej” (eng. Next), a także możliwość anulowania rozpoczętej akcji przyciskiem „Anuluj” (eng. Cancel), które zaprezentowano na przykładzie z systemu Comarch ERP (Rysunek 4).



Rysunek 4. Zrzut ekranu oprogramowania Comarch ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający zastosowanie trzeciej heurystyki Nielsena. Źródło: <https://help.comarch.com/pos/20220/index.php/knowledge-base/installation-of-comarch-erp-auto-update/>

4.2.4. Trzymaj się standardów i zachowaj spójność

Użytkownicy nie powinni zastanawiać się, czy te same słowa, sytuacje czy działania oznaczają to samo w różnych kontekstach platformy. Należy stosować jednolite terminy i akcje zgodnie z przyjętymi standardami branżowymi, ogólnymi konwencjami i wybranym systemem informatycznym. Istotne jest, aby witryna internetowa lub inny cyfrowy produkt charakteryzował się spójnym interfejsem użytkownika i ustrukturyzowanymi procesami. Te same słowa, oznaczenia, sytuacje i działania powinny być wykorzystywane w taki sam sposób w całym produkcie. Na przykładzie z systemu Rekord ERP (Rysunek 5) widzimy sytuację, gdy ta sama ikona zastosowana jest dla różnych akcji. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie różnych ikon graficznych dla różnych działań.



Rysunek 5. Zrzut ekranu oprogramowania Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część Rekord ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający niezgodność z czwartą heurystyką Nielsena. Opracowanie własne

4.2.5. Zapobiegaj błędom

Prawidłowe komunikaty o błędach są ważne, ale najlepiej zaprojektowane rozwiązania starają się zapobiegać problemom już na wstępie. Prawidłowo zaprojektowane interfejsy użytkownika powinny być stworzone z myślą o minimalizacji ryzyka wystąpienia błędów, oferując między innymi potwierdzenia wykonywanych akcji. Jedną z możliwości zapobiegania błędom jest zablokowanie pól, które nie powinny być edytowane, a ich wartość generowana jest automatycznie na podstawie innych pól wprowadzania danych. Takie rozwiązanie zastosowano w systemie Epicor ERP 10 (Rysunek 6).

Costs	Markup/Profits	Prices
38.13	30.000%	49.57
25.39	30.000%	33.01
0.35	30.000%	0.46
0.00	30.000%	0.00
0.00	0.000%	0.00
0.00	30.000%	0.00

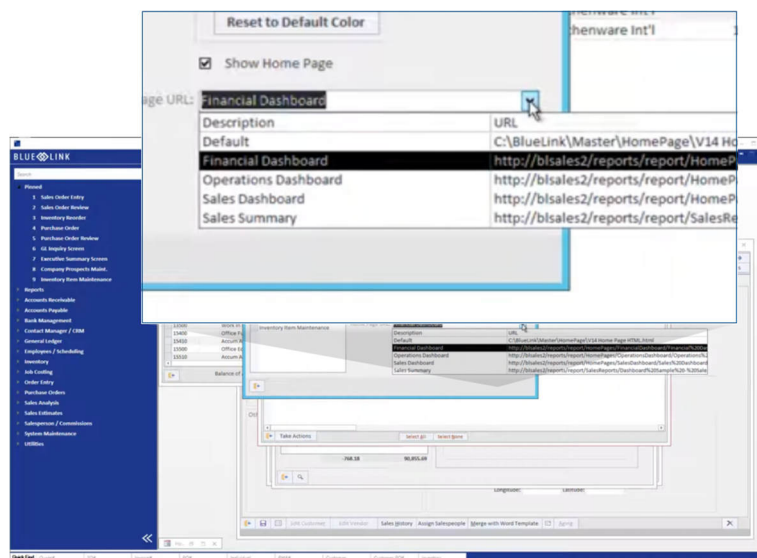
Labor:	25.39	30.000%	33.01
Material:	0.35	30.000%	0.46
Subcontract:	0.00	30.000%	0.00
MI Burden:	0.00	0.000%	0.00
	0.00	30.000%	0.00

Rysunek 6. Zrzut ekranu oprogramowania Epicor ERP 10 wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający zastosowanie piątej heurystyki Nielsena.

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=YbwrghVZGbY>

4.2.6. Pokaż, zamiast zmuszać do zapamiętania

Projekt powinien minimalizować wymagania pamięciowe użytkownika, zapewniając widoczność elementów, akcji i opcji, zamiast wymagać zapamiętywania informacji. Sposobem na spełnienia tej wytycznej może być zastosowanie pól typu dropdown zawierających wcześniej wprowadzone w systemie dane zamiast typowych pól tekstowych do wprowadzania danych od podstaw, na co zdecydowano się w systemie Blue Link ERP (Rysunek 7). Przyspiesza to pracę użytkownika i pozwoli na unikanie błędów np. tzw. „literówek”.

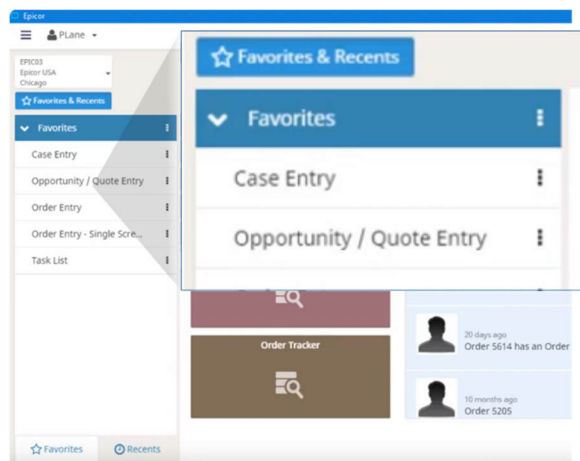


Rysunek 7. Zrzut ekranu oprogramowania Blue Link ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający zastosowanie szóstej heurystyki Nielsena.

Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=5m-MjCFaB7Y>

4.2.7. Elastyczność i efektywność

Design powinien uwzględniać zarówno potrzeby użytkowników początkujących, jak i zaawansowanych, oferując możliwość personalizacji często powtarzanych czynności poprzez skróty. Przykładem jest zastosowanie w systemie Epicor ERP 10 panelu „Ulubione” (eng. Favorites) przyspieszającego dostęp do najczęściej wykorzystywanych funkcjonalności systemu (Rysunek 8).

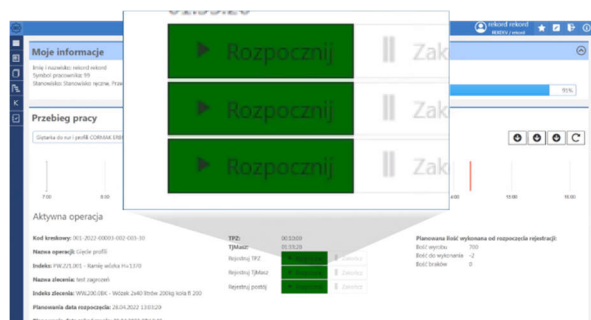


Rysunek 8. Zrzut ekranu oprogramowania Epicor ERP 10 wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający zastosowanie siódmej heurystyki Nielsena.

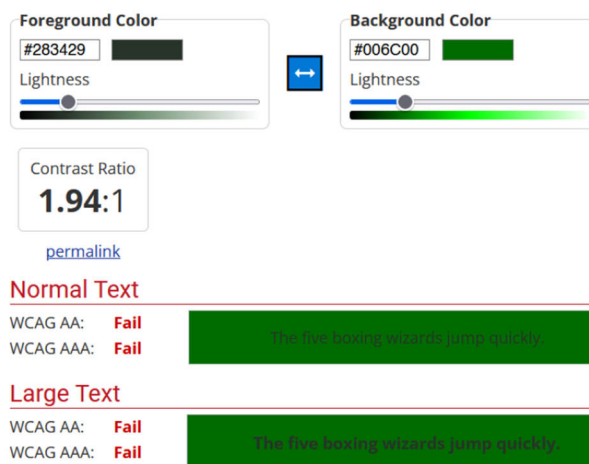
Źródło: <https://www.youtube.com/watch?v=YbwrghVZGbY>

4.2.8. Dbaj o estetykę i umiar

Interfejsy użytkownika nie powinny zawierać nieistotnych lub rzadko potrzebnych informacji. Każdy dodatkowy element informacji widoczny na interfejsie konkuruje z ważnymi informacjami i zmniejsza ich względną widoczność, może rozpraszać i obniżać percepcję odbioru ważnych danych. Kluczowe jest również zachowanie wysokiej estetyki i wizualnych zasad projektowania. Poza aspektami estetycznymi ważna jest czytelność elementów i ich dostępność. Na przykładzie z systemu Rekord ERP (Rysunek 9) znajduje się przykład przycisków, dla których kontrast pomiędzy etykietą a tłem nie jest wystarczający co utrudnia jego czytelność (Rysunek 10). Rozwiązaniem może być zmiana wyglądu przycisków – tło przycisku powinno być jaśniejsze, aby spełniać wymagania postrzegalności według wytycznych WCAG 2.1 [18]. Drugą opcją jest zmiana koloru etykiety i ikony na jasny, np. biały, co również spełni wymagania dotyczące kontrastu.



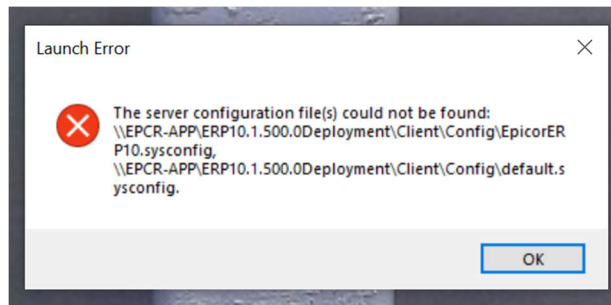
Rysunek 9. Zrzut ekranu oprogramowania Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część Rekord ERP wspierającego procesy produkcyjne przedstawiający niezgodność z ósmą heurystyką Nielsen. Opracowanie własne



Rysunek 10. Zrzut ekranu badania kontrastu etykiety i tła przycisku pod kątem zgodności z wytycznymi WCAG. Opracowanie własne z wykorzystaniem narzędzia Contrast Checker (<https://webaim.org/resources/contrastchecker/>)

4.2.9. Zapewnij skuteczną obsługę błędów

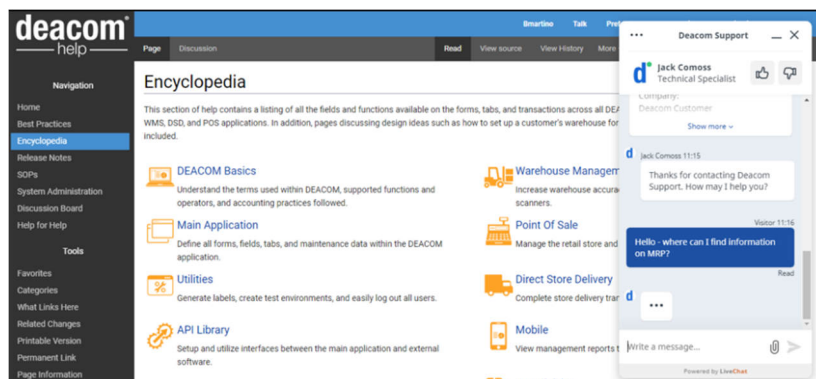
Komunikaty o błędach powinny być formułowane w sposób zrozumiały i precyzyjny, wskazując na istotę problemu oraz sugerując rozwiązanie. W przypadku przykładu z systemu Epicor ERP (Rysunek 11) komunikat o błędzie skierowany do użytkownika nie wskazuje na to w jaki sposób problem może zostać rozwiązany. Aby rozwiązanie było zgodne z regułami użyteczności należy dodać informację o tym jak naprawić problem np. jak stworzyć lub skąd pozyskać brakujący plik.



Rysunek 11. Zrzut ekranu oprogramowania zintegrowanego systemu Epicor ERP przedstawiający niezgodność z dziewiątą heurystyką Nielsena. Źródło: <https://www.epiusers.help/t/inconsistent-configuration-error-on-login/93177>

4.2.10. Zadbaj o pomoc i dokumentację

Optymalnie zaprojektowany system powinien być na tyle intuicyjny, aby nie wymagać zewnętrznej dokumentacji, jednak pomoc i instruktaże powinny być dostępne dla użytkowników wymagających dodatkowego wsparcia w obsłudze systemu. Pomoc ta może być zapewniona np. w formie osobnej platformy zapewniającej bazę wiedzy i wsparcie ekspertów na żywo, jak w przypadku ERP Deacom (Rysunek 12). [1][4][9][11] [14][15][16][17]



Rysunek 12. Zrzut ekranu przedstawiający platformę wsparcia oprogramowania ERP Deacom jako przykład zgodności z dziesiątą heurystyką Nielsena. Źródło: <https://blog.deacom.com/live-erp-support-chat-now-available-for-deacom-customers/>

5. Podsumowanie

W erze intensywnej cyfryzacji Przemysłu 4.0 [3][6], użyteczność systemów informatycznych dedykowanych procesom produkcyjnym nabiera szczególnego znaczenia. Dokonana analiza rozwiązań informatycznych typu ERP pozwoliła na wykrycie błędów związanych z użytecznością rozwiązań, których obecność

w konsekwencji doprowadza do wydłużonego czasu obsługi tychże systemów oraz zwiększenia kosztów operacyjnych. Badanie to zostało przeprowadzone jako część cyklu badań UX nad systemami wspomagającymi procesy produkcyjne w ramach pracy doktorskiej, a opracowane sugestie dotyczące Panelu Wydziałowego stanowiącego integralną część platformy Rekord ERP jest w trakcie implementacji deweloperskiej. Opracowane wyniki znajdują więc zastosowanie w przemyśle. 10 heurystyk użyteczności Jakoba Nielsena, stosowanych w audytach eksperckich, okazuje się być efektywnym narzędziem do oceny systemów wspomagających produkcję, umożliwiając optymalizację doświadczeń użytkownika (UX). W odróżnieniu od osobistych decyzji o wyborze produktów cyfrowych takich jak wybór sklepu odzieżowego czy gry, systemy produkcyjne często są implementowane top-down (decyzje podejmuje management), co może ograniczać możliwość dostosowania UX do indywidualnych preferencji końcowych użytkowników. Badanie doświadczeń użytkownika w kontekście systemów wspierających inżynierię produkcji ujawnia istotną lukę badawczą, ponieważ jest obszarem słabo reprezentowanym w literaturze naukowej, co otwiera nowe możliwości innowacji i rozwój wiedzy. Istnieje zatem zasadna potrzeba rozwinięcia badań naukowych skupiających się bezpośrednio na aspekcie użyteczności i ergonomii tych systemów, aby zoptymalizować ich funkcjonowanie w realiach wspierania procesów produkcyjnych. Wskazuje ona na konieczność rozszerzenia badań i zwrócenia szczególnej uwagi na praktyczne aspekty użytkowania konkretnych systemów informatycznych w kontekście wsparcia pracy przedsiębiorstw.

LITERATURA

1. NIELSEN J.: The usability engineering life cycle. *Computer*, Tom 25, Nr 3, 03.1992, 12-22.
2. BANASZAK Z., KŁOS S., MLECZKO J.: *Zintegrowane systemy zarządzania*. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2016.
3. MLECZKO J., KLIMCZAK K., WIĘCEK D.: *Działalność gospodarcza przedsiębiorstw w warunkach Przemysłu 4.0*. PWE Warszawa 2023.
4. ALGHIFARI M.Z., PUTRO H.P.: Tinjauan Literatur UX Audit untuk Pengujian Desain Perangkat Lunak. *Automata*, Tom 3, Nr 1 (2022), Opublikowany: 21.01.2022.
5. CARIA S., GARIBALDO F., RINALDINI M.: Shadowing Industry 4.0: an empirical study of digitalisation in a German/Italian automotive firm. *International Journal of Automotive Technology and Management*, Opublikowany online: 05.09.2023.
6. KLAUS H., ROSEMAN M., GABLE G.G.: What is ERP. *Information Systems Frontiers* 2 (2000): 141–162.
7. RIEZEBOS J., KLINGENBERG W., HICKS C.: Lean Production and information technology: Connection or contradiction. *Computers in Industry*, Tom 60, Nr 4 (2009), 237-247.
8. NIELSEN J.: How to conduct a heuristic evaluation. *Nielsen Norman Group* 1.1 (1995): 8.
9. BADURA C.: *UXUI. Design Zoptymalizowany. Manual Book*. Helion, 2019. ISBN: 978-83-283-9435-3

10. VERMOL V.V., ABIDIN S.Z., ANWAR R., HASSAN O.H.: Blind User Experience Audit: Revealing Underlying Invisible Factors in Design Experience. W Proceedings of the Art and Design International Conference (AnDIC 2016), Pierwsza publikacja online: 19.06.2018.
11. NIELSEN J., MOLICH R.: Heuristic evaluation of user interfaces. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '90), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1990, 249–256.
12. TOMLIN W.C.: UX Optimization. Apress, Berkeley, CA, 2018.
13. NGUYEN J., DUPUIS M.: Closing the Feedback Loop Between UX Design, Software Development, Security Engineering, and Operations. W Proceedings of the 20th Annual SIG Conference on Information Technology Education (SIGITE '19), Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 2019, 93–98.
14. NIELSEN J., MACK R.L.: Usability Inspection Methods. Wiley, pierwsze wydanie, 1994. ISBN-13: 978-0471018773
15. MOLICH R., NIELSEN J.: Improving a human-computer dialogue. Communications of the ACM, Tom 33, Nr 3, 03.1990, 338-348.
16. NIELSEN J.: Usability Inspection Methods. W Conference Companion CHI '94, Boston, Massachusetts, USA, 24-28.04.1994.
17. Nielsen Norman Group. 10 Usability Heuristics for User Interface Design. Dostęp na dzień: 01.10.2023. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>
18. Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, Dostępność cyfrowa, WCAG 2.1 w skrócie. Dostęp na dzień: 15.10.2023 <https://www.gov.pl/web/dostepnosc-cyfrowa/wcag-21-w-skrocie>