

Marta PIECZARA*

KREATYWNE MIEJSCA PRACY W PRZEMYSŁE 4.0

Celem badań było określenie rozwojowych trendów w zakresie projektowania architektonicznego kreatywnych miejsc pracy w przemyśle czwartej generacji. Zakres badań obejmował szereg aspektów projektowych, począwszy od aspektów lokalizacji, aż po szczegółowe rozwiązania funkcjonalne fabryki oraz detale projektu architektonicznego. Z uwagi na aplikacyjny charakter badań zastosowano metodę badań przez projektowanie (ang. *research-by-design*), w czym wykorzystano zajęcia dydaktyczne. Wyniki badań wykazały wielopłaszczyznowy wpływ koncepcji Przemysłu 4.0 na projektowanie architektoniczne zakładów przemysłowych. Scharakteryzowano najważniejsze cechy funkcjonalno-przestrzenne nowych modeli fabryki w odniesieniu do scenariusza organizacji pracy. Wyniki badań podkreśliły także kluczowe znaczenie umiejętności analitycznych w projektowaniu architektonicznym, co znajduje przełożenie na wdrażanie wniosków w praktyce oraz na polu dydaktycznym.

Słowa kluczowe: miejsca pracy, projektowanie architektoniczne, Przemysł 4.0

1. WPROWADZENIE

1.1. Czym jest Przemysł 4.0?

Przemysł 4.0, inaczej zwany przemysłem czwartej generacji, można zdefiniować jako futurystyczną wizję kultury inteligentnego wytwarzania, w której wykorzystuje się najnowsze osiągnięcia technologii komunikacyjnych i informacyjnych w celu osiągnięcia zwiększonego poziomu wydajności produkcji [Adolph et al. 2016: 8]. Chociaż popularny termin Przemysł 4.0 został po raz pierwszy wprowadzony w Niemczech, gdzie użyto go do nazwania przyszłościowego projektu przedstawionego przez niemiecki rząd federalny w 2011 r., kilka równoważnych

* Politechnika Poznańska, Wydział Architektury Politechniki Poznańskiej, Instytut Architektury i Planowania Przestrzennego. ORCID 0000-0002-1826-574X.

koncepcji zostało opracowanych w innych krajach pod innymi nazwami, np. „Smart Factory” oraz „Factories of the Future” w Europie czy „Industrial Internet” w USA. Podstawową cechą wspólną tych projektów jest wykorzystanie w procesie produkcyjnym najnowszych osiągnięć z dziedzin informatyki i techniki komputerowej. Innymi słowy, Przemysł 4.0 wykorzystuje sztuczną inteligencję w celu poprawy parametrów wydajności produkcji oraz ułatwienia jej dostosowania do zmieniającego się rynku.

Trzema podstawowymi pojęciami podawanymi za istotę przemysłu czwartej generacji są wywodzące się z technologii informatycznej koncepcje systemu cyber-fizycznego (ang. *cyber-physical system*, CPS), chmury obliczeniowej (ang. *cloud computing*) oraz internetu rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT) [Kamble, Gunasekaran, Gawankar 2018: 408].

W swojej istocie cyber-fizyczny system produkcyjny polega na integracji elementów fizycznych (maszyny) z urządzeniami przetwarzającymi dane (komputerami) [Monostori 2014: 10]. Systemy te cechuje rozszerzona inteligencja, a także zdolność urządzeń do komunikowania się [Wittenberg 2016: 420]. Drugą istotną cechą Przemysłu 4.0 jest wykorzystywanie chmury obliczeniowej, stanowiącej zestaw usług kontrolowanych przez stronę trzecią i dostarczanych do zakładu przemysłowego ze zdalnej lokalizacji [Kamble, Gunasekaran, Gawankar 2018: 408]. Rolą tej innowacji jest wspieranie zaawansowanych procesów produkcyjnych poprzez dostarczanie technologii umożliwiających inteligentne przetwarzanie informacji [Tao et al. 2011: 1970]. Trzecim istotnym wdrożeniem najnowszych technologii informatycznych w ramach inteligentnej produkcji jest internet rzeczy, który można zdefiniować jako sieć elementów wyposażonych w elektronikę, oprogramowanie oraz łączność z internetem w celu zwiększenia efektywności produkcji [Lu, Cecil 2016: 5-8]. Komunikacja pomiędzy połączonymi urządzeniami jest wzajemna i, co ważniejsze, odbywa się bez udziału człowieka. Umożliwia to nieprzerwany przepływ informacji pomiędzy urządzeniami zaangażowanymi w proces produkcji. Fakt ten nadaje internetowi rzeczy istotne znaczenie dla dalszej ewolucji Przemysłu 4.0. Celem innowacyjnych zastosowań osiągnięć informatyki w dziedzinie produkcji przemysłowej jest uzyskanie maksymalnej wydajności przy jak najbardziej ekonomicznym wykorzystaniu zasobów, a także jak najwyższym współczynnikiem efektywności energetycznej.

Większość dotychczasowych badań dotyczących Przemysłu 4.0 skupiała się na aspektach technicznych i ekonomicznych, tworząc główny nurt badań nad tą koncepcją. Szczególnym zainteresowaniem cieszy się problematyka związana m.in. z zastosowaniem technologii informacyjno-komunikacyjnych w organizacji i zarządzaniu procesem produkcyjnym [Bahrin 2016: 137-143] czy też z cyberbezpieczeństwem [Yu et al. 2017: 1-12]. Niektórzy autorzy zwrócili jednak uwagę na to, że wizja przemysłu czwartej generacji wpływa na liczne aspekty życia człowieka, w tym m.in. na rynek pracy oraz ochronę środowiska. Pojawiły się w związku z tym publikacje eksplorujące nowe perspektywy badawcze, zgłębiające m.in. pytanie, w jaki sposób zwiększenie efektywności produkcji może wesprzeć osiągnięcie

zrównoważonych celów w zakresie optymalizacji wykorzystania zasobów czy ochrony środowiska [Kamble, Gunasekaran, Gawankar 2018: 408-425]. Kolejna ważna perspektywa badawcza wywodzi się z obserwacji Daniela Buhra, że wizja Przemysłu 4.0 może stać się punktem wyjścia dla innowacji społecznych, których celem byłoby umożliwienie całemu społeczeństwu czerpania korzyści z czwartej rewolucji przemysłowej [Buhr 2015: 3].

1.2. Rola człowieka w Przemysle 4.0. Relacja człowiek – maszyna

Ponieważ celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wpływu wizji Przemysłu 4.0 na kształtowanie miejsc pracy w zakładach przemysłowych, kluczowe znaczenie ma określenie charakteru zatrudnienia. Jak przekonuje Buhr, człowiek nadal będzie odgrywał centralną rolę w inteligentnej produkcji pomimo postępującej automatyzacji, jednak zmieni się charakter jego partycypacji [Buhr 2015: 3].

Ogólnie ujmując, rola fachowców średniego szczebla ulega w przemyśle czwartej generacji dewaluacji na rzecz wysoko wykwalifikowanych i wyspecjalizowanych ekspertów o dużej elastyczności. Jednocześnie czynności wymagające niskich kwalifikacji są w dużej mierze wykonywane przez zautomatyzowane maszyny [Buhr 2015: 8-10].

Rolę człowieka w przemyśle czwartej generacji, a co za tym idzie także typologię miejsc pracy, definiuje zatem relacja człowiek – maszyna. Rozróżnić można trzy główne scenariusze tej relacji, które występują w zależności od profilu produkcji.

W pierwszym scenariuszu relacji człowiek – maszyna pogłębiająca się automatyzacja procesów produkcji prowadzi do sytuacji, w której człowiek pełni przede wszystkim funkcje kierownicze i nadzorcze. Informacji o niezbędnych do podjęcia czynnościach dostarczają systemy cyber-fizyczne składające się z maszyn i komputerów. W scenariuszu zautomatyzowanej produkcji obserwuje się zapotrzebowanie na wysoko wykwalifikowanych i wyspecjalizowanych pracowników, których rola najczęściej polega na instalacji, modyfikacji, zmianie ustawień i konserwacji systemów cyber-fizycznych [Buhr 2015: 8-10]. Jednocześnie oferta miejsc pracy dla pracowników średniego szczebla jest ograniczona, podczas gdy celem automatyzacji są fabryki bez ludzi [Kurz 2014]. Co więcej, w produkcji opartej na automatyzacji na ogół nie ceni się kreatywności pracowników.

Przeciwnym do automatyzacji scenariuszem relacji człowiek – maszyna jest specjalizacja. W tym przypadku pracownicy używają systemów cyber-fizycznych, zaś komputeryzacja stanowi narzędzie wspomagające proces podejmowania decyzji [Buhr 2015: 8-10]. Dominująca rola spoczywa na wykwalifikowanym personelu, składającym się zarówno z wysoko wykwalifikowanych i wyspecjalizowanych pracowników, jak i średnio wykwalifikowanych robotników [Kurz 2014]. Interakcja pomiędzy ludźmi a systemami cyber-fizycznymi w tym scenariuszu ma na celu uwolnienie tych pierwszych od stresujących i nieatrakcyjnych zajęć [Kurz 2014].

Trzecim scenariuszem relacji człowiek – maszyna w Przemysle 4.0 jest wariant hybrydowy. Fundamentalną cechą hybrydowego systemu produkcji stanowi zbieżność równoległych procesów wytwarzania. Celem takiego działania jest wzmocnienie korzyści płynących z inteligentnej produkcji, w tym głównie osiągnięcie jak najlepszej wydajności przy optymalnym wykorzystaniu energii i zasobów [Zhu et al. 2013: 596-615]. Ważnym aspektem włączenia dwóch lub więcej procesów w jednym łańcuchu produkcji hybrydowej jest to, że procesy te – równoległe lub następujące po sobie – mogą zachodzić w różnych lokalizacjach [Chu et al. 2016: 209-222]. Początkowo celem rozdzielenia odrębnych procesów było podniesienie jakości oraz efektywności [Chu et al. 2016: 209-222].

Produkcja hybrydowa łączy zarówno ludzi, jak i przedmioty w sieci, która wykorzystuje interaktywne i kooperacyjne technologie do monitorowania i kontrolowania procesu produkcyjnego [Buhr 2015: 8-10.; Sadrfaridpour, Wang 2018: 1178-1192]. W takich systemach wymagania stawiane pracownikom są większe, ponieważ muszą być bardziej elastyczni i przyjmować różne role, w zależności od bieżącej sytuacji. Można zatem powiedzieć, że hybrydowy system organizacyjny w sposób elastyczny łączy kreatywność, która do tej pory pozostaje cechą typowo ludzką, z innymi umiejętnościami wymaganymi od pracowników. Można antycypować, że połączenie to przełoży się na mniej wyraźny podział na to, co uważane jest za kreatywne lub zwykłe miejsce pracy. Ponieważ pracownicy wykonują różne zadania, niektóre związane ze sterowaniem i monitorowaniem procesów, a inne wymagające aktywnego i kreatywnego rozwiązywania problemów, ich środowisko pracy będzie odpowiadać obu rodzajom aktywności. Ciekawym przykładem miejsca pracy łączącego kreatywne myślenie z różnorodnymi umiejętnościami technicznymi jest prototypowanie i analizowanie informacji zwrotnych z testów. Można postawić hipotezę, że wieloaspektowość takiego miejsca pracy, jak i wszelkich innych zawodów wykorzystujących wszechstronne umiejętności pracowników znajdzie swoje odzwierciedlenie w kompleksowym, wielozadaniowym charakterze środowiska pracy.

1.3. Struktura personelu

System organizacji zasobów ludzkich w zakładach przemysłowych czwartej generacji może być zróżnicowany pod kątem hierarchii, od organizacji roju po spolaryzowaną [Hirsch-Kreinsen 2014]. System organizacji roju charakteryzuje się dużą elastycznością kadry, która współpracuje w luźno sformułowanej sieci. Struktura pracy nie jest hierarchiczna, a pracownicy są równie aktywni i wykwalifikowani [Hirsch-Kreinsen 2014]. W przeciwieństwie do systemu rojowego spolaryzowana organizacja opiera się na zróżnicowaniu zadań i umiejętności. Różne grupy pracowników mają różne kompetencje i obowiązki. W spolaryzowanym systemie organizacji można wyczuć hierarchię w strukturze personelu. Wymagany

jest także odmienny zakres kwalifikacji, z czego niektóre wymagania są nowe. Dotyczy to w szczególności pracowników szczebla kierowniczego, gdyż nowe miejsca pracy tworzone w inteligentnych fabrykach wymagają wysoko wykwalifikowanej kadry, której kompetencje znacznie wykraczają poza dotychczasowy standard. Pracownicy na poziomie nadzorczym, oprócz bycia wyspecjalizowanymi ekspertami i inżynierami, będą musieli być bardziej elastyczni i kreatywni w rozwiązywaniu bieżących problemów związanych z zarządzaniem produkcją [Hirsch-Kreinsen 2014: 4]. Systemy roju i spolaryzowane to dwie skrajne formy organizacji pracy w inteligentnych fabrykach, podczas gdy rozwiązanie faktycznie zastosowane w konkretnym przypadku może być mieszanką tych dwóch modeli w różnych proporcjach [Buhr 2015: 9].

1.4. Określenie celu badań na tle stanu wiedzy

Jak przedstawiono we wstępie, charakter miejsc pracy człowieka w Przemysle 4.0 wykazuje istotne zróżnicowanie w zależności od jego relacji z systemami cyberfizycznymi. Jednocześnie ważnym aspektem jest struktura organizacyjna personelu, kształtująca wzajemne relacje pomiędzy zatrudnionymi. Charakter wykonywanych przez pracowników czynności oraz stawiane przed nimi wyzwania stanowią istotny kontekst psychologiczny dla architekta mierzącego się z zadaniem zaprojektowania fabryki czwartej generacji.

Celem prezentowanych w niniejszym artykule badań było przeanalizowanie oraz opisanie, w jaki sposób typologia miejsc pracy człowieka w Przemysle 4.0 przekłada się na cechy funkcjonalno-przestrzenne zakładów przemysłowych. Zakres badań został podzielony i uporządkowany według skali opracowywanych zagadnień. W skali urbanistycznej, po pierwsze, celem badań była odpowiedź na pytanie, jakie znaczenie będą odgrywały fabryki w mieście przyszłości. Ważnym elementem w tym zakresie okazało się oszacowanie potencjału kreatywnych miejsc pracy, związanych z różnymi gałęziami przemysłowymi, w stymulowaniu poprawy jakości przestrzeni miejskich. W skali budowli, następnie, celem badań była antycypacja trendów w zakresie kształtowania architektury fabryk przyszłości. Uwaga skoncentrowana została nie tylko na zewnętrznej formie obiektów przemysłowych, ale przede wszystkim na miejscach pracy. Badania miały na celu odpowiedzieć na pytanie, jakie kreatywne miejsca pracy występują w gałęziach Przemysłu 4.0 oraz jakie są, lub będą, ich cechy funkcjonalno-przestrzenne. Innymi słowy, jak wyglądałoby będzie środowisko pracy człowieka w fabryce przyszłości?

Przeprowadzone badania zostały zaplanowane w celu uzupełnienia istniejącej dyskusji na temat Przemysłu 4.0 o to, jak koncepcja ta wpływa na definicję i typologię przestrzenną miejsc pracy, koncentrując się na środowiskach, które mają inspirować kreatywność człowieka. Nowością w dyskusji jest podjęcie tematyki fabryki przyszłości z punktu widzenia architekta oraz próba odpowiedzi na pytanie o to, co się

zmieni w projektowaniu fabryki w związku z rozwojem idei Przemysłu 4.0. Co więcej, jak należy kształcić młodych projektantów, aby poradzi sobie z takim wyzwaniem? To ostatnie pytanie określa cel dydaktyczny zadania badawczego.

2. METODOLOGIA BADAŃ

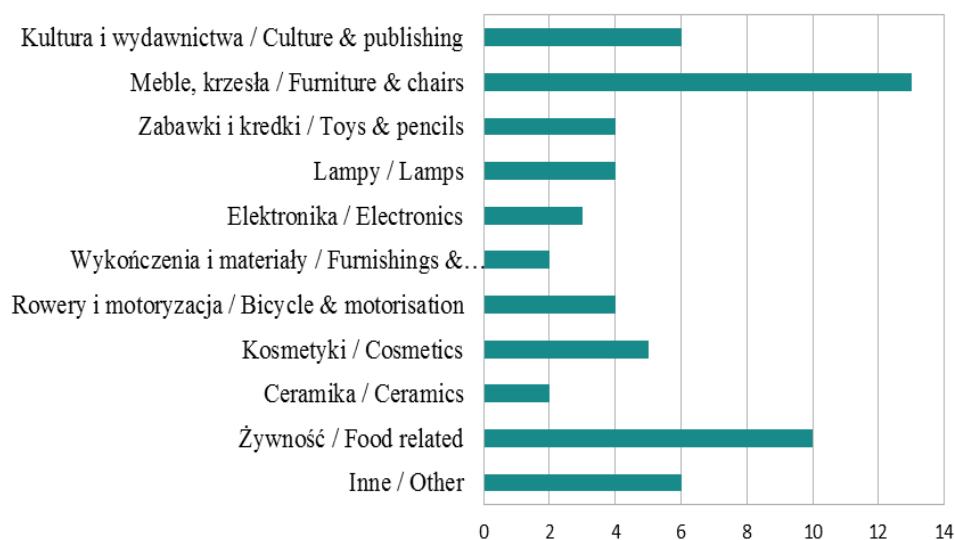
Biorąc pod uwagę aplikacyjny charakter założonych celów, a w szczególności ich aspekt projektowy i edukacyjny, dobrana została metoda badań przez projektowanie (ang. *research-by-design*). Jest to metoda empiryczna stosowana w dziedzinie architektury jako podejście integrujące badania naukowe i dydaktykę. W realizacji badań wykorzystany został potencjał projektowy oraz kreatywność studentów Wydziału Architektury Politechniki Poznańskiej. Zaangażowanie studentów w prace badawcze wykorzystuje ich zdolności jako młodych projektantów do postrzegania przyszłościowych trendów w projektowaniu.

Zadaniem studentów było szczegółowe przeanalizowanie procesu produkcyjnego wybranej branży przemysłowej, jego weryfikacja w kontekście idei przemysłu czwartej generacji i wynikających z niej zmian, a następnie samodzielne opracowanie programu funkcjonalnego zakładu. Dopiero w ten sposób oszacowany program oparty na studiach przypadków oraz zmodyfikowany pod kątem następujących obecnie zmian w procesie produkcji był podstawą dalszego opracowania. Ważnym aspektem pracy była analiza powiązań funkcjonalnych oraz ewentualnych punktów konfliktowych, a także charakter pracy zatrudnionych ludzi oraz zasady ich przemieszczania się na obszarze zakładu.

Opracowane w trakcie badań projekty koncepcyjne zakładów przemysłowych czwartej generacji były opracowane przez studentów IV roku architektury w ramach ćwiczeń z przedmiotu Projektowanie Architektoniczne Miejsc Pracy. W sumie zgromadzono 138 projektów. Badania uzupełnione zostały analizą literaturową oraz studiami przypadków.

3. REZULTAT BADAŃ

Spośród 138 prac projektowych opracowanych przez studentów na przedmiocie Projektowanie Architektoniczne Miejsc Pracy w czasie trwania niniejszego tematu badawczego mniej niż połowa odnosi się realnie do założeń Przemysłu 4.0. Jest to w sumie 58 projektów koncepcyjnych zakładów przemysłowych. Redukcja ta spowodowana jest faktem, że nie wszyscy autorzy zdecydowali się wybrać przemysł czwartej generacji jako temat ich pracy semestralnej.



Rys. 1. Rozbicie zebranych projektów zakładów przemysłowych czwartej generacji według branż [opracowanie własne]

Opracowane przez studentów projekty koncepcyjne fabryk czwartej generacji obejmują różne gałęzie przemysłu (zob. rys. 1), co świadczy o szerokim oddziaływaniu wizji Przemysłu 4.0 na procesy wytwarzania. Dzięki różnorodności branż zebrany materiał badawczy reprezentuje odmienne modele relacji człowiek – maszyna oraz organizacji personelu. Jest to podstawą do omówienia wpływu koncepcji Przemysłu 4.0 na projektowanie architektoniczne zakładów przemysłowych.

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

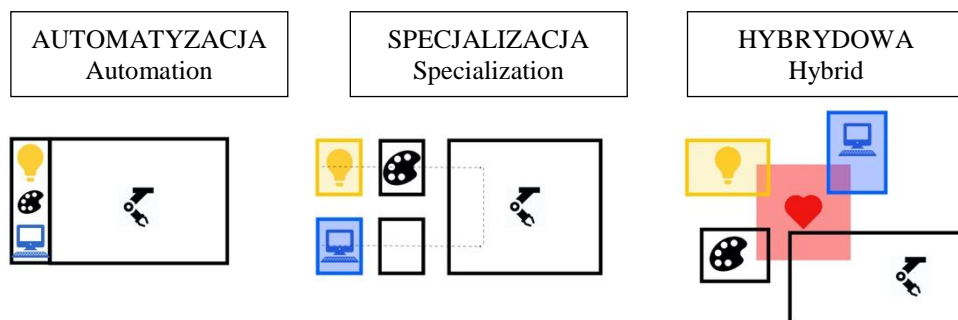
Uzyskane wyniki badań wskazują na wielopłaszczyznowy wpływ koncepcji Przemysłu 4.0 na cechy funkcjonalno-przestrzenne zakładów przemysłowych czwartej generacji. Można omówić je w odniesieniu do poszczególnych zagadnień scharakteryzowanych we wstępie jako ważne elementy składowe wizji Przemysłu 4.0, a jednocześnie również w kontekście procesu podejmowania decyzji projektowych. Poszczególne etapy tego procesu znajdują odzwierciedlenie w konkretnych cechach funkcjonalnych i przestrzennych zakładów przemysłowych.

4.1. Wpływ relacji człowiek – maszyna

W efekcie badań ustalono, że scenariusz relacji człowiek – maszyna wpływa na różne aspekty architektury fabryki, mieszczące się w odmiennych ramach zagadnień oraz innych zakresach skali. Do najistotniejszych następstw wizji Przemysłu 4.0 w projektowaniu architektonicznym zakładów przemysłowych należą zasady kształtowania bryły obiektu, uwzględniające jej podział na strefy lub części i zróżnicowane w zależności od scenariusza relacji człowiek – maszyna (zob. rys. 2). Inne ważne następstwa zaobserwować można w zakresie typologii miejsc pracy człowieka, z uwzględnieniem występowania kreatywnych miejsc pracy oraz w zmianach dotyczących estetyki wnętrza i wykończenia fasad [Pieczara 2020c: 59].

4.1.1. Bryła obiektu

W kwestii kształtowania bryły obiektu zaobserwowano, że wariant automatyzacji cechuje wyraźny podział na przestrzeń dla ludzi oraz park maszynowy, co stanowi zauważalne podobieństwo do dzisiejszych modeli nowoczesnej fabryki. Opracowane w ramach prowadzonych badań przez projektowanie koncepcje zautomatyzowanych zakładów przemysłowych przyjmowały najczęściej formę pojedynczej bryły o dużej kubaturze i podzielonej na dwie odmienne pod względem rozwiązań architektonicznych części: biuro i halę produkcyjną. Część biurowa wyróżnia się na ogół bardziej reprezentacyjnymi rozwiązaniami architektonicznymi oraz doбором materiałów wykończeniowych o wyższej jakości i estetyce. Strefa mieszcząca park maszynowy natomiast jest na ogół przytłaczająco większa, zaś zastosowane rozwiązania konstrukcyjno-materiałowe bardziej ekonomiczne.



Rys. 2. Graficzne przedstawienie wpływu scenariusza relacji człowiek – maszyna na bryłę zakładu oraz na dystrybucję stref funkcjonalnych (układy przykładowe)
[opracowanie własne]

Scenariusz specjalizacji różni się od automatyzacji pod wieloma względami, w tym także w zakresie kształtowania bryły. Zaobserwować można zaakcentowany podział na sektory odpowiadające poszczególnym etapom produkcji. Bardzo często stanowią one oddzielne budynki, które mogą być połączone zadaszonymi łącznikami. Kompozycja bryły zakładu przyjmuje nierzadko cechy układu urbanistycznego, którego poszczególne kwartały stanowią kolejne sektory łańcucha produkcji.

Zakłady przyjmujące hybrydowy scenariusz produkcji często cechuje bryła rozczłonkowana, złożona z nakładających się na siebie obiektów. Kompozycja ma przy tym wyraźnie zaznaczony środek ciężenia. Stanowi on „serce” zakładu, mieszczące na ogół części wspólne dla personelu, takie jak stołówka czy przestrzenie socjalne i rekreacyjne. Co ciekawe, to na tym fragmencie zakładu koncentruje się najczęściej uwaga projektanta w zakresie poszukiwania i absorbowania inspiracji. W poprzedzających dwóch scenariuszach były to przestrzenie biurowe i reprezentacyjne, natomiast w wariantcie hybrydowym zaobserwować można przesunięcie centrum uwagi na pomieszczenia dla pracowników. Wyjaśnienia tej zmiany można doszukiwać się w typologii miejsc pracy oferowanej według trzech różnych scenariuszy.

4.1.2. Typologia miejsc pracy człowieka

W scenariuszu pełnej automatyzacji produkcji, który docelowo dąży do całkowitego wykluczenia człowieka z procesu wytwarzania, park maszynowy rzadko zawiera stacjonarne miejsca pracy człowieka, jako że stała obecność pracowników w tej strefie nie jest na ogół potrzebna. Role przypisywane człowiekowi w procesie automatyzacji można określić jako wsparcie procesów produkcyjnych, obejmujące np. funkcje nadzorczy, dostawcy czy konserwatora, odpowiedzialnego za utrzymanie systemu oraz interwencje w nagłych wypadkach. Natomiast to połączone w sieć systemy cyber-fizyczne monitorują i kontrolują proces produkcyjny, informując pracowników o przypadku niezbędnej interwencji.

Zautomatyzowany scenariusz produkcji przekłada się zatem na brak permanentnych miejsc pracy albo na bardzo ograniczoną ich liczbę na obszarze parku maszynowego. Niemniej występują tam pewne stałe miejsca pracy, służące do wykonywania czynności pobocznych, które muszą znajdować się w bezpośredniej bliskości hali maszyn. Ich typologia różni się w zależności od profilu produkcji. Do najbardziej popularnych przykładów należą funkcje kontroli jakości, pakowania, załadunku lub rozładunku, a także kontroli produkcji. Funkcje te umieszczane są najczęściej w satelitarnie zlokalizowanych pomieszczeniach, przyklejonych do ścian zewnętrznych hali maszyn [Pieczara 2020c: 48-50].

Większą dywersyfikację miejsc pracy można zaobserwować w systemie produkcyjnym opartym na specjalizacji. Bardziej złożona typologia miejsc pracy w tym scenariuszu wynika z daleko idącego zróżnicowania zadań, jakie przypisuje się

pracownikom. System oparty na specjalizacji funkcjonuje już obecnie, a wizja Przemysłu 4.0 stworzy warunki jego dalszego rozwoju, zmierzając do jeszcze bardziej czytelnego zróżnicowania miejsc pracy, połączonego z definicją stref przypisanych do konkretnego etapu produkcji i określonej grupy pracowników.

Kluczem do rozróżnienia stref o odmiennym przeznaczeniu, a co za tym idzie o różnych cechach funkcjonalnych, jest fakt, że każdy etap produkcji wymaga odrębnych kwalifikacji. Wykonują je także inne zespoły pracowników. Na przykład etap ręcznego dekorowania w fabryce porcelany wymaga rzadkich umiejętności oraz specjalnie ukształtowanych miejsc pracy, przypominających pracownię malarską. Inny przykład, działy marketingu i sprzedaży, które bazują na wyspecjalizowanych pracownikach z branży ekonomicznej, wymagają przestrzeni typowo biurowych. Podsumowując, typologia miejsc pracy w wariacie specjalizacji wynika z aktualnie istniejących modeli, jednakże zauważalne jest dążenie do jeszcze większej polaryzacji [Pieczara 2020c: 51-55].

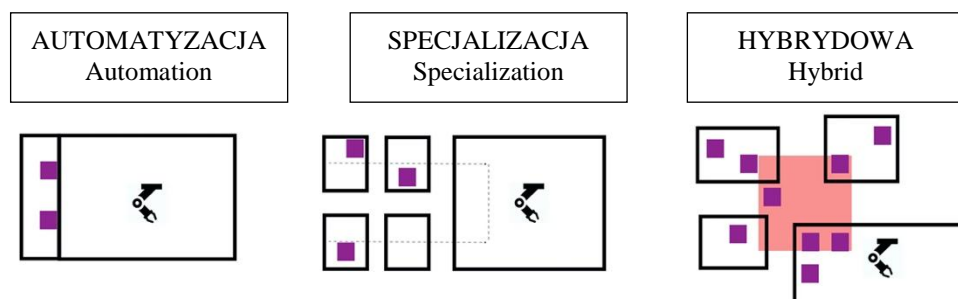
Odmienny od dwóch poprzednich hybrydowy scenariusz relacji człowiek – maszyna stwarza największe pole do innowacji w zakresie miejsc pracy człowieka. Typową cechą hybrydowego systemu organizacji w produkcji jest to, że pracownicy mogą zmieniać role, jakie odgrywają w procesie produkcyjnym. Na przykład projektant może przejąć zadania wykonawcze na pewnych etapach produkcji, m.in. podczas pracy nad prototypami, testowania produktu lub ulepszania go zgodnie z informacjami zwrotnymi otrzymanymi w wyniku testów. Ten sam pracownik może zatem pracować w różnych środowiskach: na komputerze, ręcznie lub przy maszynie. Hybrydowy system organizacji sprawia, że większość pracowników będzie wykonywała w całym procesie produkcyjnym pewne kreatywne zadania, co ma duży wpływ na cechy przestrzenne i funkcjonalne projektu architektonicznego [Pieczara 2020a: 042027-1-042027-10; 2020c: 56-58].

4.1.3. Występowanie kreatywnych miejsc pracy

Jak wspomniano, w produkcji opartej na automatyzacji na ogół nie ceni się kreatywności pracowników. Kreatywne miejsca pracy występują rzadko i są najczęściej związane z konceptualizacją produktu bądź też marketingiem. Znajduje to głównie zastosowanie w sytuacji, gdy wszystkie etapy procesu mieszczą się w jednej lokalizacji, jak w wielu przypadkach branży innowacyjnych czy start-upów. Kreatywne miejsca pracy mieszczą się zazwyczaj w części biurowej obiektu i różnią się głównie aranżacją wnętrza, w tym elementami wyposażenia. Jako przykład kreatywnego miejsca pracy w zautomatyzowanym przemyśle podać można przestrzenie konceptualizacji nowych produktów lub ich znaczących ulepszeń. Są to zadania wykonywane przez człowieka, jako że kreatywność pozostaje cechą ludzką, do tej pory niezastąpioną przez komputer. W projektowaniu pomieszczeń o tym przeznaczeniu zauważalne jest dążenie do stworzenia inspirującego środowiska pracy,

bardziej przypominającego dzisiejsze obiekty biurowe czy użyteczności publicznej niż współczesny zakład przemysłowy.

Ponieważ scenariusz specjalizacji oferuje więcej możliwości uczestnictwa człowieka w procesie produkcyjnym, i to w zróżnicowanym charakterze, zawiera także większe zróżnicowanie kreatywnych miejsc pracy. Zaliczają się do nich rozmaite czynności, które należą do różnych etapów procesu produkcji – od tworzenia koncepcji produktu, poprzez etap jego projektowania, prototypowania, testowania czy ręcznego wykańczania, po rozwiązywanie problemów, optymalizację produkcji czy marketing. Można w efekcie zaobserwować, że fabryki wykorzystujące model specjalizacji zawierają kreatywne miejsca pracy o najbardziej zróżnicowanym charakterze. Ponadto, występują one w odmiennych strefach fabryki, gdzie odbywają się różne etapy procesu wytwarzania. Co do zasady są one użytkowane przez różne grupy pracowników, co wynika ze ścisłego powiązania pomiędzy kompetencjami danej grupy a przypisanym jej zadaniom w procesie. Na przykład kreatywne miejsca pracy w fabryce ceramiki dekoracyjnej obejmować będą etap konceptualizacji produktu oraz jego prototypowania, ale również dział ręcznego zdobienia, który znajduje się na końcu całego procesu wytwarzania. Do kreatywnych miejsc pracy zaliczymy również niektóre funkcje biurowe, np. działy marketingu czy promocji, które istnieją poza samym cyklem wytwórczym, ale stanowią jego ważne uzupełnienie.



Rys. 3. Graficzne przedstawienie występowania kreatywnych miejsc pracy na schematycznych planach zakładów przemysłowych czwartej generacji (układy przykładowe)
[opracowanie własne]

Jak już zauważono, hybrydowy scenariusz relacji człowiek – maszyna stanowił największe wyzwanie pod względem projektowania miejsc pracy z uwagi na to, że zatrudnieni w nim pracownicy mają szersze kompetencje i mogą pełnić w procesie wytwórczym odmienne funkcje. W zależności od potrzeby mogą wykonywać prace manualne, obsługiwać czy regulować systemy cyber-fizyczne, jak również uczestniczyć w konceptualizacji czy ulepszaniu produktu. Różnorodność obowiązków pełnio-

nych przez te same osoby znajduje odzwierciedlenie we wprowadzeniu tymczasowych miejsc pracy, które są użytkowane w sposób przechodni przez inne osoby podczas wykonywania czynności związanych z konkretnym zadaniem. W scenariuszu hybrydowym pojawiają się także przestrzenie wielofunkcyjne, które pracownicy adoptują do akurat pełnionych zajęć. Przykładem mogą być pomieszczenia warsztatowe służące jednym razem do stworzenia koncepcji nowego produktu, innym zaś do wykonania jego prototypu i prezentacji, a wreszcie również do przanalizowania wyników z testów, ulepszenia czy też do finalizacji procesu produkcji w postaci ręcznego wykończenia.

4.1.4. Estetyka architektury i wnętrz

Kreatywne miejsca pracy stanowią nowość w architekturze zakładów przemysłowych. Ich pojawienie się w programie funkcjonalnym okazuje się nie tyle trudnością dla młodych architektów, ile ciekawostką pobudzającą ich wyobraźnię. Badania przez projektowanie z udziałem studentów wykazały, że kreatywne miejsca pracy w fabrykach czwartej generacji stanowią niezrównaną okazję do innowacji projektowych. Pierwszym wyraźnie widocznym przejawem zmian w podejściu architekta do projektowania miejsc pracy w fabryce jest dążenie do kształtowania środowiska pracy człowieka w sposób inspirujący kreatywność pracownika. Kluczowe znaczenie w tym względzie ma estetyka rozwiązań architektoniczno-materiałowych. Warto zwrócić uwagę, że nacisk na jakość estetyczną dotyczy całej fabryki i nie ogranicza się do przestrzeni biurowych, jak miało to miejsce w zakładach trzeciej generacji. Wiąże się to bezpośrednio z redefinicją zakresu kompetencji pracowników, od których wymaga się w Przemysle 4.0 zdywersyfikowanych umiejętności oraz elastyczności. Zwiększone kwalifikacje pracowników fabryki czwartej generacji skłaniają projektantów do zniesienia rozróżnienia na pracowników biurowych i produkcyjnych. W rezultacie zauważyć można tendencję do podnoszenia jakości przestrzeni pracy oraz pomieszczeń socjalnych, w tym m.in. stołówek czy miejsc odpoczynku.

Nacisk na jakość estetyczną architektury zakładów przemysłowych czwartej generacji ma również cele brandingowe. Idea wykorzystania wysoce zaawansowanej technologii produkcji do budowania wizerunku firmy przekłada się na marketingowe podejście do projektowania, które nierzadko wspierane jest przez inwestora. Trend ten znajduje odzwierciedlenie w bardziej wyrafinowanej niż zwykle kompozycji elewacji, a także w zastosowaniu materiałów wykończeniowych o ponadprzeciętnej jakości w porównaniu z istniejącymi wzorcami architektonicznymi zakładów produkcyjnych.

Interesującym wariantem brandingowego podejścia do projektowania fabryki jest architektura inspirowana produktem. Cechą charakterystyczną tego podejścia jest czerpanie inspiracji z wyglądu zewnętrznego produktu lub ze szczegółów technologicznych procesu wytwarzania [Pieczara 2020b: 75-88]. Jednocześnie szeroko

rozważanym aspektem jest interakcja projektowanego obiektu z zastanym otoczeniem. W tym względzie celem architekta jest na ogół zaproponowanie interesującej i atrakcyjnej wizualnie formy, która umożliwiłaby osiągnięcie pożądanego efektu różnorodności wpisanej w kontekst. Środki wyrazu, jakie zazwyczaj stosuje się w implementacji takiego zamierzenia, obejmują łączenie współczesnych trendów architektonicznych, zarówno w kwestii estetyki, jak i doboru materiałów, z inspiracją odnoszącą się do przeznaczenia funkcjonalnego obiektu. To ostatnie można osiągnąć poprzez przezroczystość obudowy budynku, ukazując jego wnętrze, ale także przez odniesienie się w architekturze do charakterystycznych cech produktu (np. do jego kształtu, materiału, typowego koloru, procesu produkcji lub metody montażu).

4.2. System organizacji personelu a przestrzenie wspólne

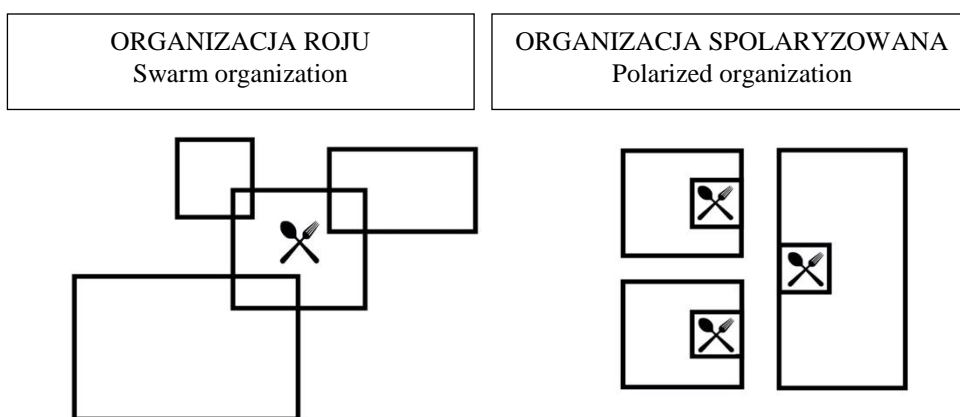
Wpływ wizji Przemysłu 4.0 na projektowanie architektoniczne zakładów przemysłowych wyraża się również poprzez oferowany zestaw funkcji dodatkowych, w tym m.in. pomieszczeń socjalnych i rekreacyjnych dla pracowników. Badania wykazały, że ich typologia oraz lokalizacja na planie fabryki zależą od przyjętego schematu organizacji personelu [Pieczara 2020d: 042028-1-042028-11].

System organizacji roju, mniej popularny do tej pory, opiera się na bardziej kolektywnym sposobie pracy, z elastyczną strukturą personelu, który jest generalnie równie wykwalifikowany i posiada podobne kompetencje [Hirsch-Kreinsen 2014]. Dziewięć przykładowych projektów opracowanych w ramach badań wykorzystało ten system organizacji pracy, na ogół w powiązaniu z hybrydowym modelem relacji człowiek – maszyna. Reprezentują one różnorodne gałęzie przemysłu związane z rzemiosłem (np. produkcja drewnianych zabawek i krzeseł), zaawansowaną elektroniką (np. drukarki 3D i zakłady produkujące drony) oraz przemysłami kreatywnymi i kulturalnymi (np. wydawniczymi). Duża różnorodność branż, jak na zaledwie dziewięć przykładów, świadczy o tym, że model organizacji rojowej jest trendem rozwijającym się i znajduje zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, które obecnie bazują na modelu spolaryzowanym. Organizacja roju kładzie również nacisk na egalitarne traktowanie pracowników, co odsłania nowe perspektywy dla innowacji społecznej, na co wskazywał Buhr [2015: 9].

W zakresie umiejscowienia oraz typologii funkcji dodatkowych, w projektach wykorzystujących organizację roju dominuje koncepcja wspólnych przestrzeni socjalnych i rekreacyjnych dla całej załogi fabryki. Podkreśla to egalitarne podejście do pracowników (zob. rys. 4). Lokalizacja funkcji dodatkowych na planie fabryki jest nie zawsze centralna, jednakże wylania się w odniesieniu do nich pojęcie „serca” fabryki. W jednej z przykładowych prac studenckich centralne położenie kantyny zostało wykorzystane do zilustrowania narastającego egalitarnego trendu w urządzaniu zaplecza socjalnego dla pracowników fabryk [Pieczara

2020d: 042028-1-042028-11]. Trend ten ma na celu integrację pracowników. Ponadto, badania ponownie wskazały na rosnące znaczenie estetyki aranżacji wnętrz oraz zróżnicowanie dostępnych form rekreacji. Jeśli chodzi o funkcjonalną typologię zaplecza socjalnego, opracowane w ramach przeprowadzonych badań projekty o rojowej organizacji personelu wykorzystują model stołówki z pełnym zapleczem gastronomicznym. Rozwiązanie to odpowiada typowi III przewidzianemu przez obowiązujące przepisy BHP [Dz.U. 2003].

Spolaryzowany model organizacji personelu, który przeważa obecnie pod względem liczby zastosowań, wykazuje większe podobieństwo do współczesnych standardów projektowania zakładów przemysłowych. Model ten zakłada znaczącą dywersyfikację kompetencji i odpowiedzialności personelu [Hirsch-Kreinsen 2014], co znajduje odzwierciedlenie w zaprojektowaniu większej liczby węzłów socjalnych i rekreacyjnych. Zaprojektowano je z myślą o konkretnych grupach pracowników, a ich umiejscowienie na planie oraz rozmiar odpowiadają lokalizacji oraz liczbie miejsc pracy danej grupy (zob. rys. 4). W większości omawianych projektów badawczych przewidziano jedną dużą stołówkę dla najliczniejszej grupy pracowników, zwykle personelu fizycznego etapu produkcji oraz jeden lub kilka mniejszych węzłów socjalnych przeznaczonych dla bardziej ograniczonych grup pracowników biurowych. Węzły te znajdują się w rozproszonych miejscach na planie fabryki i mogą mieć różne typy i rozmiary. Uwagę zwraca ich „domowe” wyposażenie i częste połączenie z funkcją rekreacyjną. Pod względem typologii funkcjonalnej konfiguracja jednej dużej i dodatkowej małej jadalni nawiązuje odpowiednio do typu III oraz I lokali gastronomicznych wynikających z obowiązujących przepisów BHP [Dz.U. 2003].



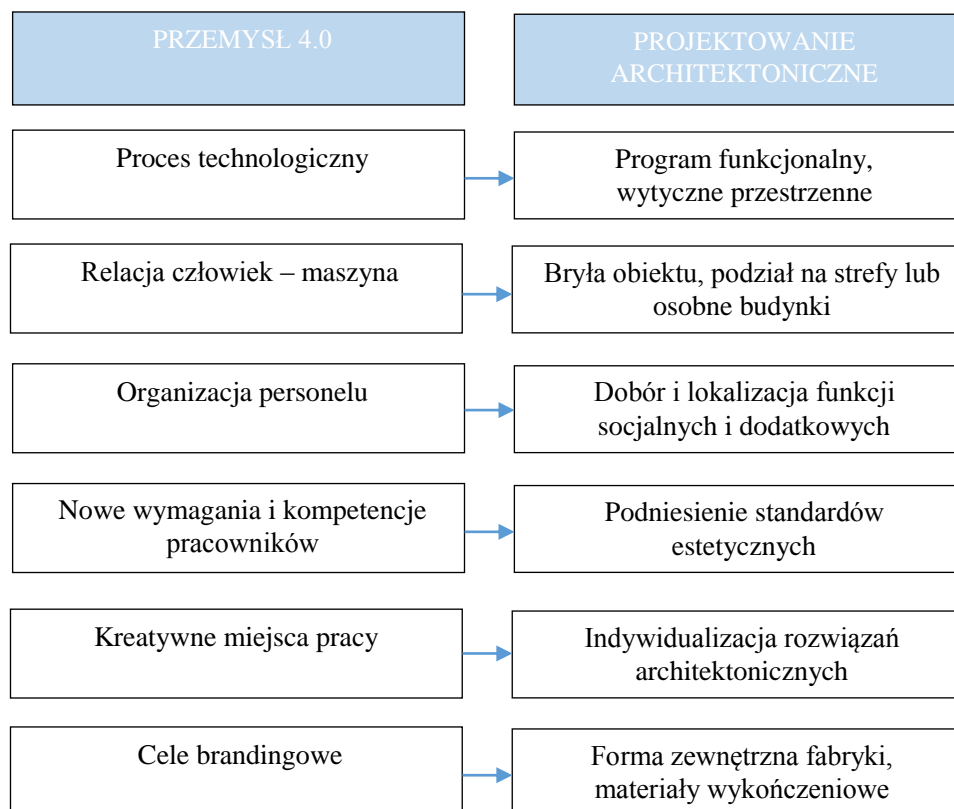
Rys. 4. Graficzne przedstawienie umiejscowienia węzłów socjalnych i rekreacyjnych na planie zakładu w organizacji rojowej i spolaryzowanej personelu [opracowanie własne]

5. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań znajdują zastosowanie w praktyce projektowej oraz w dydaktyce. Identyfikacja cech funkcjonalno-przestrzennych charakteryzujących trzy podstawowe typologie fabryki czwartej generacji przekłada się na wytyczne służące do opracowania nowych modelowych rozwiązań fabryk czy też do aktualizacji tych istniejących. Obok znanych nam dobrze wyspecjalizowanych miejsc pracy oraz coraz bardziej powszechnej automatyzacji produkcji pojawia się także wariant hybrydowy. Stanowi on największe wyzwanie dla projektanta, ponieważ występują w nim miejsca pracy zmienne, przeznaczone dla wszechstronnie wykwalifikowanych pracowników, którzy mogą wykonywać różne zadania w zależności od bieżącej potrzeby. Zastosowanie znajdują tutaj wnioski uzyskane w rezultacie przeprowadzonych badań. Dzięki nim stwierdzono, że takie miejsca pracy cechować będzie różnorodność układu i umeblowania, zmienność funkcjonalna, a także estetyka zbliżona do estetyki współczesnych obiektów biurowych czy usługowych. Estetyka architektury oraz wnętrz może być tutaj wykorzystana jako środek indukcji kreatywności. Wiemy również, że kreatywne miejsca pracy w Przemysle 4.0 są projektowane indywidualnie, „szyte na miarę” oraz że poprzedza je dokładna analiza procesu wytwarzania ze szczególnym uwzględnieniem roli człowieka. Można powiedzieć, że projektowanie kreatywnych miejsc pracy w Przemysle 4.0 wymaga twórczego podejścia projektanta, które zainspirować może indywidualnie wykonana analiza procesu technologicznego. Daje to duże pole do innowacji w zakresie kształtowania środowiska pracy, a ponadto sprawia, że w porównaniu do sytuacji obecnej praca architekta zyskuje większe znaczenie w planowaniu zakładów przemysłowych czwartej generacji (zob. rys. 5).

Aplikacja osiągnięć badawczych w projektowaniu łączy się ściśle z osiągnięciami na polu dydaktycznym. Badania uwypukliły fakt, że w procesie kształcenia młodych architektów należy kłaść nacisk na umiejętności analityczne. Analogicznie do analizy urbanistycznej szczegółowa analiza całego procesu technologicznego zwiększa szanse na wykonanie dobrego projektu zakładu przemysłowego. Współuczestnicząc w zrealizowanych badaniach przez projektowanie, młodzi architekci, studenci, przekonali się, że dotychczasowe modele fabryki wymagają rewizji. Utarte wzorce, nawet te zamieszczone w podręcznikach, mogą tracić ważność i dlatego szczegółowa analiza funkcjonalna jest koniecznym elementem koncepcji architektonicznej.

Podsumowując, w projektowaniu zakładu przemysłowego czwartej generacji, zarówno w praktyce, jak i na zajęciach dydaktycznych, nie wystarczy już zapewnić wystarczającej liczby metrów kwadratowych powierzchni użytkowej. Architekt musi prześledzić krok po kroku cały proces wytwarzania produktu, określić odpowiednią typologię miejsc pracy i w ten sposób dostosować środowisko pracy do potrzeb, uwzględniając nowe rodzaje kreatywnych miejsc pracy. Takie zadania realizowane są w ramach Projektowania Architektonicznego Miejsc Pracy na Wydziale Architektury Politechniki Poznańskiej.



Rys. 5. Schemat przedstawiający wpływ wizji Przemysłu 4.0 na projektowanie architektoniczne zakładów przemysłowych czwartej generacji [opracowanie własne]

LITERATURA

- Adolph L. et al., 2019, *German Standardization Roadmap: Industry 4.0. Version 2*, https://sci40.com/files/assets_sci40.com/pdf/german-standardization-roadmap-industry-4-0-version-2-data.pdf (dostęp: 16.12.2019).
- Bahrin M.A.K., Othman M.F., Azli N.H.N., Talib M.F., 2016, *Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic*, "Jurnal Teknologi", Vol. 78, p. 137-143.
- Buhr D., 2015, *Social Innovation Policy for Industry 4.0*, Friedrich-Ebert-Stiftung, Berlin, <https://library.fes.de/pdf-files/wiso/11479.pdf> (dostęp: 12.01.2022).
- Chu W.S., Kim M., Jang K., Song J., Rodrigue H., Chun D., Cho Y.T., 2016, *From Design for Manufacturing (DFM) to Manufacturing for Design (MFD) via Hybrid Manufacturing and Smart Factory: A Review and Perspective of Paradigm Shift*, "International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology", Vol. 3 No. 2, p. 209-222, <https://ur.booksc.eu/book/52966188/cb9487> (dostęp: 12.01.2022).

- Dz.U. 2003 nr 169, poz. 1650, Obwieszczenie Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 28 sierpnia 2003 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Socjalnej w sprawie ogólnych przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy.
- Dz.U. 2019 poz. 1065, Obwieszczenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 8 kwietnia 2019 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
- Hirsch-Kreinsen H., 2014, *Welche Auswirkungen hat "Industrie 4.0" auf die Arbeitswelt?*, Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn.
- Kamble S.S., Gunasekaran A., Gawankar S.A., 2018, *Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives*, "Process Safety and Environmental Protection", Vol. 117, p. 408-425.
- Kurz C., 2014, *Mensch, Maschine und die Zukunft der Industriearbeit*, referat na konferencji Fachkonferenz Münchner Kreis, Maschinen entscheiden – vom Cognitive Computing zu autonomen, Munich 12.11.2014.
- Lu Y., Cecil J., 2016, *An IoT (IoT)-based collaborative framework for advanced manufacturing*, "International Journal of Advanced Manufacturing Technology", Vol. 84, p. 1141-1152, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-015-7772-0> (dostęp: 16.12.2019).
- Monostori L., 2014, *Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges*, w: *Variety Management in Manufacturing. Proceedings of the 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems*, "Procedia CIRP", Vol. 17, p. 9-13.
- Neufert E., Neufert P., 2012, *Architect's Data*, Fourth edition, Wiley-Blackwell, London.
- Pieczara M., 2020a, *Architecture of a hybrid manufacturing plant: conceptual design issues*, "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering", Vol. 960, p. 042027-1-042027-10, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757899X/960/4/042027> (dostęp: 19.01.2022).
- Pieczara M., 2020b, *Factory building inspired by a product – a seek for the truth or a lie?*, w: *Defining the architectural space – the truth and lie of architecture*, ed. T. Kozłowski, Oficyna Wydawnicza ATUT – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe, Wrocław, p. 75-88.
- Pieczara M., 2020c, *Perspectives on the design of creative workplaces in Industry 4.0: a new theme in architects' education*, "The International Journal of Design Education", Vol. 15, Iss. 2, p. 41-64, <https://cgscholar.com/bookstore/works/design-of-creative-workplaces-in-industry-40> (dostęp: 19.01.2022).
- Pieczara M., 2020d, *Typology of canteen facilities in modern manufacturing plants*, "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering", Vol. 960, p. 042028-1-042028-11, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757899X/960/4/042028> (dostęp: 19.01.2022).
- Sadrifaridpour B., Wang Y., 2018, *Collaborative Assembly in Hybrid Manufacturing Cells: An Integrated Framework for Human-Robot Interaction*, "IEEE Transactions on Automation Science and Engineering", Vol. 15, Issue 3, p. 1178-1192, DOI: 10.1109/TASE.2017.2748386.
- Tao F., Zhang L., Venkatesh V.C., Luo Y., Cheng Y., 2011, *Cloud Manufacturing: A New Service-Oriented Manufacturing Model*, "Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B Journal of Engineering Manufacture", November 2011, p. 1969-1976, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954405411405575> (dostęp: 16.12.2019).

- Wittenberg C., 2016, *Human-CPS Interaction – requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0*, “IFAC (International Federation of Automatic Control) PapersOnLine”, Vol. 49, p. 420-425.
- Yu Z., Ouyang J., Li S., Peng X., 2017, *Formal modeling and control of cyber-physical manufacturing systems*, “Advances in Mechanical Engineering”, Vol. 9 (10), p. 1-12, <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1687814017725472> (dostęp: 16.12.2019).
- Zhu Z., Dhokia V.G., Nassehi A. Newman, 2013, S.T. *A Review of Hybrid Manufacturing Processes–State of the Art and Future Perspectives*, “International Journal of Computer Integrated Manufacturing”, Vol. 26 (7), p. 596-615, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749530>.

CREATIVE WORKPLACES IN INDUSTRY 4.0

Summary

This paper aims to identify the most influential trends in the design of creative workplaces in the fourth-generation industry. The scope of research covered several design aspects, ranging from location issues to detailed functional solutions of the factory and details of the architectural design. Due to its applicable nature, the research-by-design method was combined with didactic classes. The research results showed the multifaceted influence of Industry 4.0 concept on the architectural design of industrial plants. The new factory models' most important functional and spatial features were characterized in relation to the work organization scenario. The research results also highlighted the critical importance of analytical skills in architectural design, translating into applying conclusions in practice and the didactic field.

Keywords: workplace, architectural design, Industry 4.0