

# Dydaktyka cyfrowa

Andrzej GRABOWSKI

## Porównanie efektywności szkolenia w środowisku wirtualnym dla osób w różnych grupach wiekowych

Virtual reality based training effectiveness  
for people of different age groups

**Słowa kluczowe:** funkcjonowanie poznawcze osób starszych, szkolenie, środki dydaktyczne, rzeczywistość wirtualna.

**Key words:** cognitive functioning of older people, training, teaching aids, virtual reality.

**Abstract.** The influence of virtual reality on training effectiveness was investigated making an assumption that the closer to reality the training environment is, the better training results can be achieved, especially in the case of the elderly. However, it occurs that the elderly achieve better results in virtual reality based training, especially in tasks demanding a high level of cognitive skills. It is an important feedback and has a very practical meaning in the point of view of demographic changes.

**Wprowadzenie.** Możliwości wykonywania pracy i przyswajania nowej wiedzy są zależne od wieku człowieka. Jest to powiązane ze zmniejszeniem ogólnej sprawności fizycznej jak również obniżeniem sprawności w zakresie zdolności umysłowych (np. takich jak spostrzegawczość lub szybkość reakcji). Z drugiej strony wymagania związane z wykonywaniem pracy zawodowej są na ogół niezależne od wieku pracownika, co w konsekwencji często skutkuje wzrostem rzeczywistego obciążenia pracą wraz z wiekiem [5]. Ponadto wraz z wiekiem wzrasta trudność z przyswajaniem nowej wiedzy ze względu na hamowanie proaktywne [9], którego efektem jest odrzucanie nowych procedur postępowania (w tym nowej wiedzy), nawet jeżeli są one tylko zmodyfikowaną wersją wcześniej już przyswojonych i zapamiętanych informacji. Hamowanie proaktywne jest szczególnie widoczne w przypadku nowej wiedzy, która jest niezgodna z już posiadanymi informacjami.

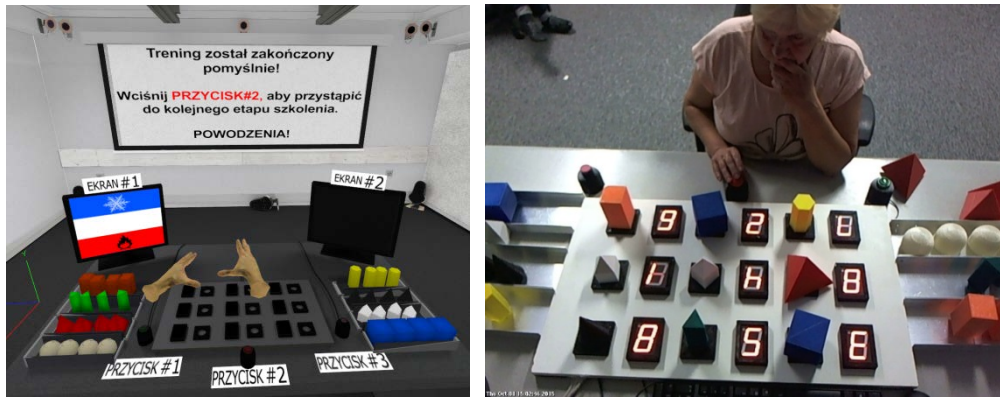
Wysiłek poznawczy wzrasta wraz z wiekiem [8], zwłaszcza w przypadku zadań powiązanych z pojęciami abstrakcyjnymi [7]. Jest to jedna z przyczyn innego zarządzania zasobami poznawczymi przez osoby starsze w porównaniu z osobami młody-

mi. Zgodnie z wynikami opisanymi w pracy przeglądowej [8] wśród osób starszych obserwuje się duże zdolności w zakresie samoregulacji oraz umiejętności świadomego i elastycznego wykorzystania zasobów poznawczych. Tego typu wyniki uzyskuje się zwłaszcza w przypadku sytuacji, które mają dla tych osób bezpośrednie znaczenie. Odniesienia do codziennego życia wpływają pozytywnie na zrozumiałość kontekstu sytuacji. Z tego względu oraz z uwagi na spadającą wraz z wiekiem ilość zasobów poznawczych, środowiska szkoleniowe powinny być pozbawione abstrakcyjnych elementów i jak najlepiej powiązane z rzeczywistym stanowiskiem pracy i procesem pracy. Takie możliwości zapewniają techniki rzeczywistości wirtualnej i, jak pokazują wyniki badań [10–12], rzeczywistość wirtualna, zwłaszcza w zakresie czynności powiązanych z intensywnym wykorzystywaniem zasobów poznawczych, może być skutecznym i efektywnym narzędziem do wspomaganie szkolenie i doszkalania [13] osób starszych.

**Metodyka badań i stosowane narzędzia badawcze.** Głównym etapem prowadzonych prac była analiza statystyczna danych uzyskanych w trakcie eksperymentu, którego przebieg szczegółowo opisano w pracy [14]. W trakcie dwupółgodzinnej procedury badawczej uczestnicy wypełniali serię testów komputerowych i papierowych: ankietę osobową, Kwestionariusz Używania Mediów, ankietę dotyczącą stanu zdrowia, podatności na chorobę lokomocyjną oraz wcześniejszych doświadczeń z technikami rzeczywistości wirtualnej, Test Uwagi i Spostrzegawczości, Test Przerzutności Uwagi *Task Switching*, Krótką Skalę Oceny Stanu Umysłowego (tylko osoby z grupy starszych dorosłych), Skalę Zmęczenia Psychicznego E. Grandjeana, Kwestionariusz Choroby Symulatorowej Kennedy’ego. W zależności od grupy, do której losowo przypisywano osoby badane, uczestnicy przechodzili jeden z dwóch rodzajów treningu: szkolenie z zasad pracy na symulatorze stanowiska pracy z wykorzystaniem materiałów audiowizualnych (film szkoleniowy oraz instrukcja stanowiskowa) lub szkolenie wykorzystujące techniki zanurzeniowej rzeczywistości wirtualnej (rys. 1). Po przejściu szkolenia i wypełnieniu testu wiedzy sprawdzającego znajomość zasad zadania badani proszeni byli o wykonanie cyklu pracy montażowej na symulatorze stanowiska pracy (rys. 1), gdzie mierzono poprawność. Procedura kończyła się ponownym wypełnieniem Testu Uwagi i Spostrzegawczości, uzupełnieniem Skali Użyteczności Systemu Brooka (tylko osoby z grupy, która uczestniczyła w treningu wykorzystującym techniki rzeczywistości wirtualnej) oraz skróconą wersją Kwestionariusza Akceptacji Technologii (4 pytania) [18].

W początkowej fazie wykonano prace związane z opracowaniem danych surowych uzyskanych na drodze eksperymentalnej w celu stworzenia jednej bazy danych skupiającej wyniki wszystkich osób badanych. W tym celu powstało kilka programów służących do syntezy wielu plików wynikowych. Programy te napisane zostały w języku Python.

Analizy statystyczne wykonano w programie SPSS 23 (*Statistical Package for the Social Sciences*) firmy IBM.



Rys. 1. Środowisko wirtualne obserwowane przez osobę wyposażoną w gogle rzeczywistości wirtualnej typu HMD (*Head Mounted Display*) oraz symulator uproszczonego stanowiska pracy wykorzystywany do zebrania danych umożliwiających ocenę dwóch metod szkoleniowych, pierwszej wykorzystującej standardowe metody (w tym materiały multimedialne) i drugiej wykorzystującej techniki rzeczywistości wirtualnej. Szkolenie dotyczyło procedury postępowania wymagającej dużych zasobów poznawczych

**Weryfikacja hipotez badawczych. Osoby starsze adaptują się do środowiska wirtualnego tak samo, jak osoby młodsze.** Czas początkowej fazy treningu uznano za ważny z punktu widzenia hipotezy dotyczącej braku różnic między badanymi grupami w adaptowaniu się do środowiska szkoleniowego wykorzystującego techniki zanurzeniowej rzeczywistości wirtualnej. W celu sprawdzenia, czy grupa osób starszych różniła się od grupy osób młodych ilością czasu ukończenia pierwszych zadań treningu adaptacyjnego (nauka rozglądania się oraz trening chwytania i przenoszenia wirtualnych obiektów) wykonano analizę testem t-Studenta. Wynik testu –  $t(56) = 1,79$ ; n.i. – pozwolił na stwierdzenie braku istotnych statystycznie różnic między grupą osób starszych ( $M = 70,83$  sekund,  $SD = 19,27$  sekund) a grupą osób młodszych ( $M = 55,77$  sekund,  $SD = 40,34$  sekund).

Przeanalizowano także wskaźnik dotyczący precyzji umieszczania wirtualnego obiektu w gnieździe blatu montażowego (zadanie to stanowiło pierwszy etap treningu adaptacyjnego w środowisku wirtualnym, który wymagał interakcji badanego z otoczeniem). Aby sprawdzić, czy osoby młode różniły się precyzją wykonania tego zadania od osób starszych wykonano test t-Studenta dla prób niezależnych. Wynik testu –  $t(56) = 0,73$ ; n.i. – nie wykazał istotnych różnic w precyzji umieszczania wirtualnego obiektu w gnieździe stołu montażowego między młodymi dorosłymi i osobami starszymi. Badani umieszczali wirtualny obiekt w wymaganym polu z precyzją wynoszącą  $M = 3,64$  cm,  $SD = 2,53$  cm ( $M_{\text{osoby młode}} = 3,89$  cm,  $SD_{\text{osoby młode}} = 2,53$  cm;  $M_{\text{osoby starsze}} = 3,39$  cm,  $SD_{\text{osoby starsze}} = 2,54$  cm).

Na podstawie danych zebranych podczas treningu w rzeczywistości wirtualnej utworzono wskaźnik złożony z liczby podejść do prób treningowych w rzeczywistości wirtualnej. Próby treningowe dotyczyły nauki rozglądania się w środowisku, chwytania i przenoszenia wirtualnego obiektu, nauki wciskania wirtualnych przycisków, nauki obsadzania wirtualnego obiektu w gnieździe stołu montażowego oraz nauki zasad

zadania w pięciu etapach o rosnącym poziomie skomplikowania: umieszczanie wielu elementów na blacie montażowym, umieszczanie wielu elementów na blacie montażowym przy ograniczeniu czasowym, umieszczanie wielu elementów na blacie montażowym przy ograniczeniu czasowym i konieczności jednoczesnego wykonywania zadania pobocznego, umieszczanie wielu elementów na blacie montażowym przy ograniczeniu czasowym i konieczności jednoczesnego wykonywania zadania pobocznego bez widocznej podpowiedzi. Przejście do kolejnej próby wymagało od osób badanych pozytywnego zakończenia próby poprzedzającej, liczba podejść była nieograniczona.

W celu sprawdzenia, czy między grupą osób starszych a grupą młodych badanych wystąpiły istotne różnice w poziomie tego wskaźnika, wykonano analizę testem t-Studenta dla prób niezależnych. Ze względu na brak równości wariancji w badanych grupach zastosowano konieczną poprawkę do testu (wbudowaną w algorytm programu SPSS). Wynik testu okazał się istotny statystycznie  $t(37,32) = 3,97$ ;  $p < 0,001$ . Oznacza to, że grupa osób starszych wykonywała średnio więcej powtórzeń prób treningowych ( $M = 8,93$ ;  $SD = 4,34$ ) niż grupa osób młodszych ( $M = 5,36$ ;  $SD = 1,99$ ).

Poniższa tabela przedstawia wyniki analizy statystycznej wykonanej w programie SPSS (tabela 1).

**Tabela 1. Wynik analizy wskaźnika liczby błędów popełnianych podczas treningu adaptacyjnego w VR**

|  |                                | N                              | Średnia   | Odchylenie standardowe   | Błąd standardowy średniej |                         |                 |                           |                       |       |
|--|--------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|-------|
| Grupa wiekowa                          | os. młodsze                    | 30                             | 5.36      | 1.99                     | 0.36                      |                         |                 |                           |                       |       |
|  | os. starsze                    | 28                             | 8.92      | 4.37                     | 0.82                      |                         |                 |                           |                       |       |
| <b>Test dla populacji niezależnych</b> |                                |                                |           |                          |                           |                         |                 |                           |                       |       |
|  |                                | Test Levene równości wariancji |           | t-test równości średnich |                           |                         |                 |                           |                       |       |
|  |                                | F                              | Istotność | t                        | Stopnie swobody           | Istotność (dwustronnie) | Średnia różnica | Błąd standardowy średniej | Przedział ufności 95% |       |
|  |                                |                                |           |                          |                           |                         |                 |                           | Dolny                 | Górny |
|  | założono równe wariancje       | 29.6                           | 0.000     | -4.1                     | 56                        | 0.000                   | -3.56           | 0.88                      | -5.32                 | -1.81 |
|  | nie założono równych wariancji |                                |           | -4.0                     | 37                        | 0.000                   | -3.56           | 0.90                      | -5.38                 | -1.75 |

Biorąc pod uwagę wszystkie powyższe wskaźniki, można uznać, że wszystkie osoby badane zaczynały trening w środowisku wirtualnym w podobny sposób – początkowy etap adaptacji nie różnicował grup badawczych. Jednak całkowity czas wy-

konywania zadań podczas treningu VR (wyniki przedstawiono w rozdziale 4) oraz wskaźnik poprawności wykonania zadań informujący o liczbie prób, które wykonała osoba badana, aby ukończyć sesję treningową (w tym celu konieczne było poprawne wykonanie danej próby; im wyższa wartość wskaźnika, tym więcej prób było powtarzanych przez osobę badaną), wskazuje na to, że osoby starsze gorzej adaptowały się do zadań o większym stopniu skomplikowania.

**Szkolenie osób młodych w środowisku wirtualnym jest skuteczniejsze od szkolenia z wykorzystaniem aktualnie stosowanych metod.** Hipotezę dotyczącą większej skuteczności szkolenia wykorzystującego techniki rzeczywistości wirtualnej od szkolenia wykorzystującego tradycyjne metody szkoleniowe (tj. instrukcję pisemną oraz film szkoleniowe) w grupie osób młodych przetestowano za pomocą wskaźnika poprawności wykonania zadania na symulowanym stanowisku pracy, utworzonego poprzez zsumowanie poprawności wykonania zadania głównego i zadania pobocznego (wyrażone w procentach). Do analiz zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA).

Test wykazał nieistotny statystycznie efekt rodzaju treningu w grupie osób młodych  $F(1; 45,9) = 0,31$ ; n.i. Oznacza to, że grupa osób młodych, która uczestniczyła w treningu tradycyjnym, nie różniła się średnim poziomem poprawnego wykonania zadania ( $M = 89,32\%$ ,  $SD = 6,09\%$ ) od grupy osób młodych, która przeszła szkolenie z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej ( $M = 88,06\%$ ,  $SD = 10,75\%$ ). Prawdopodobnie było to spowodowane faktem, iż samo zadanie było na tyle proste, że badani byli w stanie opanować jego reguły podczas wykonywania go i z tego właśnie wynika wysoki poziom wykonania w grupach osób młodych.

W celu sprawdzenia, czy wystąpiły różnice w poziomie wykonania zadania w badanych grupach z uwzględnieniem struktury płci tych grup, dla grupy osób młodych poddanych treningowi tradycyjnemu oraz obu grup osób starszych wykonano analizę nieparametrycznym testem U Manna Whitney'a (ze względu na istotną różnicę w liczebności kobiet i mężczyzn). Wyniki testów okazały się nieistotne w każdej z tych grup, co oznacza, że płeć nie miała związku z poziomem wykonania zadania na symulowanym stanowisku pracy. W przypadku grupy osób młodych, które uczestniczyły w treningu wykorzystującym techniki zanurzeniowej rzeczywistości wirtualnej wykonano test t Studenta dla prób niezależnych w celu przetestowania założenia o braku różnic w poziomie wykonania zadania głównego między kobietami i mężczyznami. Test ten okazał się nieistotny statystycznie  $t(2, 28) = 0,76$ ; n.i.

Jednocześnie zwracamy uwagę, że w wyniku niedoskonałości w ustawieniu poziomu trudności zadania kryterialnego przedstawione analizy nie mogą jednoznacznie rozstrzygnąć o pozytywnej falsyfikacji testowanej hipotezy. Prace przygotowawcze przed kolejnymi badaniami będą nakierowane na zmiany w zakresie poziomu trudności.

**Szkolenie osób starszych w środowisku wirtualnym jest skuteczniejsze od szkolenia z wykorzystaniem aktualnie stosowanych metod.** Hipotezę dotyczącą większej skuteczności szkolenia wykorzystującego techniki rzeczywistości wirtualnej

od szkolenia wykorzystującego tradycyjne metody szkoleniowe (tj. instrukcję pisemną oraz film szkoleniowe) w grupie osób starszych przetestowano za pomocą wskaźnika poprawności wykonania zadania na symulowanym stanowisku pracy utworzonego poprzez zsumowanie poprawności wykonania zadania głównego i zadania pobocznego (wyrażone w procentach). Do analiz zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA).

Analizowanym czynnikiem określającym skuteczność wykonania zadania był wskaźnik złożony z dwóch zmiennych: a) poziomu wykonania zadania głównego; b) poziomu wykonania zadania towarzyszącego. Przy konstrukcji wskaźnika przyjęto założenie o istnieniu relacji pomiędzy poziomami wykonania tych zadań, które znalazło potwierdzenie w analizach opisanych szczegółowo w rozdziale 5 „Opis zrealizowanych badań oraz uzyskanych wyników”.

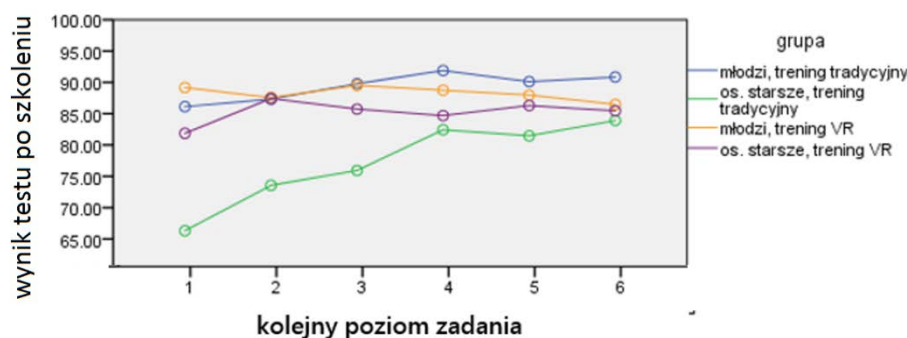
Test wykazał istotny statystycznie efekt rodzaju treningu w grupie osób starszych  $F(1;57) = 4,49$ ;  $p < 0,05$ . Oznacza to, że grupa osób starszych, która uczestniczyła w treningu tradycyjnym, różniła się średnim poziomem poprawnego wykonania zadania od grupy osób starszych, która przeszła szkolenie z wykorzystaniem technik rzeczywistości wirtualnej. Średnia poprawność osób, które uczestniczyły w treningu VR była wyższa ( $M = 85,34\%$ ,  $SD = 9,90\%$ ) od średniej poprawności osób, które uczestniczyły w treningu tradycyjnym ( $M = 78,17\%$ ,  $SD = 15,12\%$ ). Hipoteza została więc potwierdzona.

**Szkolenie w środowisku wirtualnym jest skuteczniejsze w przypadku osób starszych.** W celu sprawdzenia hipotezy dotyczącej większej skuteczności szkolenia w środowisku wirtualnym wykonano jednoczynnikową analizę wariancji z powtarzanym pomiarem dla zmiennej, która opisywała procentową poprawność wykonania zadania na symulatorze stanowiska pracy na trzech pierwszych poziomach trudności zadania (układanie kombinacji 4-, 5- i 6-elementowych). Analiza wykazała istnienie istotnego statystycznie efektu zmiennej grupa  $F(3;114) = 11,05$ ;  $p < 0,001$ . Oznacza to, że grupy różnią się poprawnością poziomu wykonania zadania.

Powodem wykorzystania tylko pierwszych trzech bloków zadania kryterialnego w przedstawionych analizach była konstrukcja zadania, która tylko w przypadku osób starszych pozwalała na obserwację efektów uczenia się z próby na próbę.

Aby dowiedzieć się, na czym polegał efekt główny czynnika grupa, wykonano dalszą analizę testami *post hoc* z poprawką Bonferroniego. Analiza ta wykazała, iż grupa osób starszych różniła się istotnie poprawnością wykonania zadania manualnego od wszystkich pozostałych grup. Grupa osób starszych, która uczestniczyła w treningu tradycyjnym wykonywała zadanie manualne z mniejszą poprawnością niż pozostałe osoby. Grupa osób starszych, która uczestniczyła w treningu VR nie różniła się istotnie w poprawności wykonania zadania od osób młodych.

Wynik analizy przedstawia poniższy wykres (rysunek 2).



Rys. 2. Poprawność wykonania zadania manualnego na symulatorze stanowiska pracy w zależności od grupy wiekowej i rodzaju szkolenia. Zadanie polegało głównie na prawidłowym dopasowaniu różnej liczby elementów różnego typu w zależności od instrukcji wyświetlonej na pulpicie i na ekranie komputera.

**Podsumowanie.** Podstawowym celem prowadzonych badań było określenie efektywności wykorzystania technik rzeczywistości wirtualnej do wspomaganie aktywizacji zawodowej poprzez prowadzenie szkoleń, przekwalifikowania oraz szkolenia ustawicznego osób starszych. Przeprowadzone w poprzednim etapie badania były prowadzone w środowisku szkoleniowym zrealizowanym w wirtualnej rzeczywistości. Grupa kontrolna była szkolona z wykorzystaniem typowych metod szkoleniowych, takich jak instrukcja stanowiskowa i film szkoleniowy. Efekt szkolenia wszystkich osób biorących udział w badaniu zostanie oceniony na podstawie wyników uzyskanych na fizycznym symulatorze uproszczonego stanowiska pracy (rysunek 2). Dodatkowo ochotnicy byli podzielnie na 2 grupy wiekowe: 20–30 lat oraz osoby w wieku 50+. Pozwoliło to na zbadanie skuteczności szkolenia w zależności od wieku.

Przeprowadzono prace dotyczące opracowania zebranych danych. W szczególności przeprowadzono analizę zebranej dokumentacji fotograficznej w celu określenia poprawności realizacji zadania podczas pracy przy fizycznym symulatorze. Umożliwiło to określenie ilościowych wskaźników obiektywnych, takich jak liczba popełnionych błędów. Przygotowano oprogramowanie komputerowe do analizy plików, w których zapisywano informacje o czynnościach podejmowanych przez ochotników (np. wciskanie przycisków) i zdarzeń występujących podczas badania, takich jak przechłodzenie lub przegrzanie symulowanej maszyny lub błędy w wykonaniu zadania. Przeanalizowano pliki wynikowe zebrane podczas sesji adaptacyjnej w środowisku wirtualnym, szkolenia w środowisku wirtualnym oraz wykonania zadania na symulatorze uproszczonego środowiska pracy. Zebrane dzięki temu dane w formie tabelarycznej zostały poddane wnikliwej analizie statystycznej.

Analiza statystyczna dotyczyła przede wszystkim wychwycenia różnic we wpływie wirtualnego środowiska na samopoczucie osób starszych i młodszych oraz w ilościowym określeniu skuteczności aplikacji szkoleniowych wykorzystujących techniki rzeczywistości wirtualnej względem aktualnie stosowanych metod szkoleniowych w zależności od wieku osoby szkolonej na przykładzie dwóch grup wiekowych. Potwierdzono założenie, że w przypadku osób starszych szkolenie w środowisku wirtualnym

alnym powinno przynieść lepsze efekty ze względu na mniejsze obciążenie poznawcze wynikające z występowania w środowisku wirtualnym mniejszej liczby abstrakcyjnych pojęć w stosunku do typowych (aktualnie wykorzystywanych) metod szkolenia. W szczególności jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała istotne różnice w poprawności wykonania zadania przez grupy osób, które uczestniczyły w badaniu ( $F(10.998) = 3.97, p < 0.001.$ ) – rysunek 2. Wynik testów statystycznych pozwala stwierdzić, iż grupa osób starszych różniła się istotnie poprawnością wykonania zadania manualnego od wszystkich pozostałych grup. Grupa osób starszych, która uczestniczyła w treningu tradycyjnym wykonywała zadanie manualne z mniejszą poprawnością niż pozostałe osoby. Grupa osób starszych, która uczestniczyła w treningu VR nie różniła się istotnie w poprawności wykonania zadania od obu grup osób młodszych.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników III etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2014–2016 w zakresie prac naukowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

*Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*

## **Bibliografia**

1. Bugajska J., Makowiec-Dąbrowska T., Wągrowaska-Koski E., *Zarządzanie wiekiem w przedsiębiorstwach jako element ochrony zdrowia starszych pracowników*, Med. Pr., t. 61, nr 1, s. 55–63, 2010.
2. Umanath S., Marsh E., *Understanding how prior knowledge influences memory in older adults*, Perspect. Psychol. Sci., t. 9, s. 408–426, 2014.
3. Hess T., *Selective engagement of cognitive resources: Motivational influences on older adults' cognitive functioning*, Perspect. Psychol. Sci., t. 9, s. 388–407, 2014.
4. Salthouse T.A., *What and When of Cognitive Aging*, Curr. Dir. Psychol. Sci., t. 13, nr 4, s. 140–144, 2004.
5. Schmiedek F., Lövdén M., Lindenberger U., *Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: findings from the COGITO study*, Front. Aging Neurosci, t. 2, s. 27, 2010.
6. Grabowski P., Mason A., *Age differences in the control of a precision reach to grasp task within a desktop virtual environment*, Int. J. Hum.-Comput. Stud., t. 72, s. 383–392, 2014.
7. Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J., Al-Hashimi O., Faraji F., Janowich J., Kong E., Larraburo Y., Rolle C., Johnston E., Gazzaley A., *Video game training enhances cognitive control in older adults*, Nature, t. 501, s. 97–101, 2013.
8. Grabowski A., Jankowski J., *„Virtual Reality-based pilot training for underground coal miners”*, Safety Science, Volume 72, February 2015, Pages 310–314.
9. Grabowski A., *Metoda badań przydatności technik rzeczywistości wirtualnej do aktywizacji zawodowej osób 50+*, Edukacja Ustawiczna Dorosłych 4/2015, s. 179–187.
10. Venkatesh V., Davis F., *A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies*, Manag. Sci., t. 46, nr 2, s. 408–426, 2000.

**dr hab. inż. Andrzej GRABOWSKI, prof. CIOP – PIB**

Pracownia Techniki Rzeczywistości Wirtualnej

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

anra@ciop.pl