

Jarosław Orzechowski

MAGICZNA LICZBA JEDEN

CZYLI CO JESZCZE
ZMIĘŚCI SIĘ
W PAMIĘCI ROBOCZEJ



Wydawnictwo
Uniwersytetu
Jagiellońskiego

**MAGICZNA LICZBA JEDEN
CZYLI CO JESZCZE
ZMIĘŚCI SIĘ
W PAMIĘCI ROBOCZEJ**

Jarosław Orzechowski

MAGICZNA LICZBA JEDEN

**CZYLI CO JESZCZE
ZMIĘŚCI SIĘ
W PAMIĘCI ROBOCZEJ**

Wydawnictwo
Uniwersytetu
Jagiellońskiego

Publikacja dofinansowana przez Uniwersytet Jagielloński ze środków Instytutu Psychologii
Wydziału Filozoficznego

Recenzent

prof. dr hab. Edward Nęcka

Projekt okładki

Jadwiga Burek

Na okładce zdjęcie ze zbiorów: © Mopic / Dreamstime.com

© Copyright by Jarosław Orzechowski & Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego
Wydanie I, Kraków 2012
All rights reserved

Niniejszy utwór ani żaden jego fragment nie może być reprodukowany, przetwarzany i rozpowszechniany w jakikolwiek sposób za pomocą urządzeń elektronicznych, mechanicznych, kopiujących, nagrywających i innych oraz nie może być przechowywany w żadnym systemie informatycznym bez uprzedniej pisemnej zgody Wydawcy.

ISBN 978-83-233-3367-8



www.wuj.pl

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego
Redakcja: ul. Michałowskiego 9/2, 31-126 Kraków
tel. 12-631-18-81, 12-631-18-82, fax 12-631-18-83
Dystrybucja: tel. 12-631-01-97, tel./fax 12-631-01-98
tel. kom. 506-006-674, e-mail: sprzedaz@wuj.pl
Konto: PEKAO SA, nr 80 1240 4722 1111 0000 4856 3325

Rodzicom

Spis treści

Przedmowa.....	9
----------------	---

Część I. Struktura pamięci roboczej

Wprowadzenie	17
Definicje pamięci roboczej.....	17
Struktura pamięci roboczej.....	18
Pamięć robocza – historia konstruktów.....	18
Modele niejednorodne. Wielokomponentowy model Baddeleya.....	20
Model długotrwałej pamięci roboczej Ericssona i Kintscha	27
Modele jednorodne. Model aktywacyjny Cowana	29
Pamięć robocza jako system uwagi.....	32
Analiza krytyczna.....	34
Pomiar zakresu pamięci roboczej.....	38
Zadanie Saula Sternberga jako miara pamięci roboczej	39
Struktura i ograniczenia pamięci roboczej – badania własne	42
Eksperyment 1.1. Pojemność pamięci roboczej w zależności od modalności materiału, rozmiaru zbioru pamięciowego i tempa prezentacji	44
Eksperyment 1.2. Jednorodność vs niejednorodność struktury pamięci roboczej	65
Eksperyment 1.3. Mechanizm dostępu do informacji w pamięci roboczej – efekt poprzedzania.....	70
Eksperyment 1.4. Mechanizm dostępu do informacji w pamięci roboczej – efekt wyróżnienia.....	76
Podsumowanie.....	80

Część II. Proces przeszukiwania pamięci roboczej

Przeszukiwanie pamięci roboczej	85
Przeszukiwanie pamięci roboczej – badania własne	90
Eksperyment 2.1. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach manipulacji czasem ekspozycji	91
Eksperyment 2.2. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach manipulacji podobieństwem materiału pamięciowego	100
Eksperyment 2.3. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach ekspozycji złożonego materiału bodźcowego.....	103
Model obliczeniowy przeszukiwania pamięci roboczej	110
Podsumowanie.....	113

Część III. Pamięć robocza w złożonej aktywności poznawczej człowieka

Pamięć robocza a wyższe procesy poznawcze	119
Pamięć robocza a rozumowanie	121
Pamięć robocza a rozumowanie indukcyjne	124
Nieliniowo-równoległy model rozumowania przez analogię.....	129
Wytwarzanie dywergencyjne a elementarne właściwości poznania.....	137
Eksperyment 3.1. Pamięć robocza a dywergencyjne wytwarzanie relacji analogicznych	140
Eksperyment 3.2. Pamięć robocza a dywergencyjne wytwarzanie podobieństw figuralnych	152
Podumowanie	161
Robocza synteza – zarys modelu teoretycznego	162
Bibliografia	169

Przedmowa

Niniejsza monografia jest poświęcona tematyce ulokowanej na pograniczu psychologii poznawczej i psychologii różnic indywidualnych. Badanie pograniczy ma to do siebie, że z jednej strony wymaga szerokich kompetencji w różnych dziedzinach, które mają się z sobą łączyć, a z drugiej – wąskiego skupienia się na tych problemach, które dla obydwu dziedzin będą nowe i wartościowe. Szczęśliwie dla mnie pogranicza te są od dawna eksplorowane w mojej macierzystej jednostce badawczej, jaką jest Uniwersytet Jagielloński, a w nim zespół profesora Edwarda Nęcki. Główny, a zarazem najdłużej rozwijany kierunek tych badań dotyczy relacji elementarnych procesów poznawczych do inteligencji (Nęcka, 1994; 2000). Nie mniej istotne, choć obecnie zaniechane, są badania nad poznawczymi mechanizmami twórczości (Nęcka, 1987), a także dalsze badania, przeprowadzane już przez kolejne pokolenia badaczy, na przykład nad związkami procesów poznawczych z rozumowaniem przez analogię, podejmowaniem decyzji, temperamentem, stylami poznawczymi, językiem, mimowolnym uczeniem się itd. Na uwagę zasługuje również włączanie wątków neurobiologicznych i modelowania obliczeniowego i konekcyjnego do tej problematyki, co sprawia, że badania prowadzone w zespole profesora Nęcki stają się w coraz większym stopniu interdyscyplinarne (por. Wierzchoń, Orzechowski, Barbasz, 2012).

W swojej pracy od wielu lat skupiałem się na pograniczu problematyki funkcjonowania pamięci roboczej (*working memory*) i tak zwanych złożonych/wyższych procesów poznawczych (*complex cognition/higher-order cognition*), związanych z szeroko rozumianą aktywnością intelektualną człowieka. Badania empiryczne, do którym mam zamiar się odwołać, jak i towarzysząca im refleksja teoretyczna są ściśle powiązane z problematyką podejmowaną w zespole profesora Nęcki. Prowadziłem je w kooperacji z wieloma badaczami i w różnych zespołach naukowych. Dzięki temu możliwe było nie tylko poszukiwanie mechanizmów poznawczych natury ogólnej (metarefleksja), ale również – niezmiernie istotna dla badań pogranicza poznania i różnic indywidualnych – wymiana wiedzy ze specjalistami w węższych dziedzinach. Wspólnym mianownikiem badań, które wyselekcjonowałem do tej monografii, jest hipotetyczny udział pamięci roboczej w wyjaśnieniu mechanizmów procesów wyższego rzędu.

Dlaczego właśnie pamięć robocza? Jest to konstrukt centralny we współczesnej psychologii poznawczej. Ta „centralność” może być rozumiana dwojako. Po pierwsze, pamięć robocza odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu poznawczym jednostki – jest swoistym centrum dowodzenia taktycznego i operacyjnego umysłu, które z podlegającymi mu jednostkami sztabowymi pełni różnorakie i – co ważniejsze – podstawowe dla umysłu funkcje. Najogólniej rzecz ujmując, są to funkcje kon-

trolowanego przetwarzania informacji i jej bieżącego (krótkotrwałego) przechowywania, z jednoczesnym monitoringiem i regulacją obu tych procesów. Po drugie, wielość szczegółowych funkcji pamięci roboczej stanowi o jej uniwersalności w strukturze umysłu. Konstrukct ten jest szeroko używany jako hipotetyczny mechanizm poznawczy wpływający na sprawność zarówno wyrafinowanych, abstrakcyjnych procesów intelektualnych, jak i czynności wykonywanych w życiu codziennym.

O ile funkcje przypisywane pamięci roboczej wydają się konieczne do efektywnej realizacji zadań każdego systemu przetwarzania informacji (choć dyskusyjna jest konkretna ich lista), o tyle ocena tego, w jakiej strukturze (lub strukturach) są one realizowane, jest niesłychanie trudna, zwykle arbitralna. Teorie pamięci roboczej są pod tym względem wzorcowo generatywne – niesłychanie łatwo przychodzi ich autorom dokonywanie modyfikacji, aby dobrze dopasować je do właściwie każdego danych, co czyni te teorie trudnymi do falsyfikacji. W zasadzie najbardziej skonstruowane teorie pamięci roboczej – wielomagazynowa teoria Baddeleya (1986; 2000; 2001; Baddeley, Hitch, 1974) i aktywacyjna teoria Cowana (1995; 2005a) oraz rozliczne rozwinięcia i uszczegółowienia tej ostatniej (przegląd: Piotrowski, Stettner, Orzechowski, Balas, 2009) – wciąż równie dobrze pasują do danych, ich autorzy zgrabnie bowiem modyfikują tezy swoich koncepcji. Na przykład Baddeley nie trzyma się już twardo strukturalnej odrębności podsystemów wyróżnionych w jego teorii (Baddeley, 2007), a Cowan nie upiera się, że każdego typu materiał (na przykład werbalny czy wizualny) przetwarzany jest w strukturalnie jednorodnym systemie, a w szczególności nie neguje możliwości kodowania w pamięci roboczej informacji specyficznych dla modalności, na przykład wyglądu czy brzmienia słowa (Ricker, AuBuchon, Cowan, 2010). Co więcej, przyjmuje również, że te specyficzne informacje, powiązane z modalnością, mogą być sprzężone z dedykowanymi im specyficznymi procesami, na przykład z powtórkami, które wspomagają odświeżanie materiału werbalnego, ale już nie wizualnego (chyba że i on byłby łatwy do werbalizacji). Niemniej fenomeny, które próbują wyjaśniać badacze pamięci roboczej, mają status faktów empirycznych, uzyskanych z zastosowaniem określonych narzędzi badawczych i metod statystycznej obróbki danych. Przedmiotem dyskusji jest jednak ich interpretacja.

Impuls do poszukiwania podłoża różnic indywidualnych w sprawności realizacji złożonych procesów poznawczych w funkcjonowaniu pamięci roboczej wynika z wielu przesłanek. Po pierwsze, bezpośrednie predykcje modelu Baddeleya i Hitcha (1974) dotyczą właśnie związku pamięci roboczej z wykonywaniem złożonych zadań poznawczych, wymagających rozumowania czy rozwiązywania problemów, a także z różnicami indywidualnymi w ich efektywności w zadaniach laboratoryjnych i naturalnych. Po drugie, dane empiryczne dość jednoznacznie wskazują na ograniczenia pojemności informacyjnej i czasu przechowywania danych w pamięci roboczej. Ograniczenia te wydają się tak drastyczne, że być może już bardzo niewielkie różnice indywidualne w zakresie tych parametrów mogą istotnie wpłynąć na wydajność całego systemu poznawczego. Uwzględniając inne, rozliczne funkcje

pamięci roboczej, również krytyczne dla realizacji zadań poznawczych, można wykazać, że potencjalnych źródeł różnic indywidualnych w procesach wyższych jest wiele, co też próbuje się badać. Po trzecie, dekompozycja procesów złożonych, na przykład rozumowania, podejmowania decyzji czy posługiwania się językiem, prowadzi do hipotez o istotnym udziale pamięci roboczej w zasadniczych momentach tych procesów (por. Nęcka, 2009). Po czwarte, wyjaśnienia mechanizmów procesów złożonych, jakich „udziela” pamięć robocza, pozwalają zarówno na opis mechanizmu ogólnego, na przykład podejmowania decyzji, jak i na wyjaśnienie chwilowych fluktuacji w tym procesie, na przykład podjęcia nietrafnej decyzji przez skądinąd inteligentną osobę. To, że ktoś podejmuje trafne decyzje, może wynikać z implementacji wydajniejszych strategii decyzyjnych, które wymagają zaangażowania pamięci roboczej. Kiedy jednak sytuacja znacznie ogranicza możliwość zaangażowania pamięci roboczej, podjęta decyzja może być nietrafna, bo nie uwzględnia wszystkich istotnych czynników lub obejmuje czynniki nieistotne (por. Wichary, Orzechowski, Kossowska, Ślifierz, Marković, Bukowski, 2005; Wichary, Kossowska, Orzechowski, Ślifierz, Marković, 2008).

Niniejsza monografia jest próbą podsumowania mojego dorobku badawczego z okresu ostatnich kilku lat. Punktem wyjścia prowadzonych w tym czasie badań były problemy podstawowe dotyczące struktury i głównych funkcji pamięci roboczej. I właśnie tym problemom jest poświęcona – odpowiednio – pierwsza i druga część pracy, po uprzednim zarysowaniu kontekstu teoretycznego, w którym problemy te są osadzone. Ponieważ celem monografii jest zaakcentowanie wyników badań własnych, wątki teoretyczne zostały ujęte syntetycznie, tym bardziej iż w innych miejscach szeroko rozpisywano się na te tematy (zob. Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006; Orzechowski, Balas, Piotrowski, Stettner, 2009). Tam też zaproponowano sposób tłumaczenia na język polski podstawowych terminów, którego chciałbym się tutaj trzymać. To syntetyczne wprowadzenie powinno pozwolić Czytelnikowi uchwycić istotę podejmowanych problemów badawczych.

Głównym obszarem prowadzonych przeze mnie badań podstawowych był mechanizm dostępu do informacji krótkotrwale przechowywanych w pamięci roboczej oraz jego ograniczenia. W ramach prowadzonych badań uzyskano wyniki, których satysfakcjonująco nie wyjaśniają istniejące modele przeszukiwania pamięci, co stało się załącznikiem zarówno nowych propozycji teoretycznych (Nęcka, Orzechowski, Florek, 2001), jak i serii kolejnych badań (Chuderski, Orzechowski, 2005; Chuderski, Stetter, Orzechowski, 2007; Nęcka, Orzechowski, Balas, w przygotowaniu). Ścisłe związane z badaniami procesu przeszukiwania pamięci roboczej okazały się rozważania nad jej strukturą, czyli pytania o jej elementy składowe, ich właściwości oraz relacje zachodzące między owymi składowymi. Współczesne propozycje teoretyczne są w tym zakresie zróżnicowane, aczkolwiek empiryczna falsyfikacja ich założeń, z których niektóre wzajemnie się wykluczają, okazuje się niezmiernie trudna. W ramach prowadzonych badań podjęto jednak i takie próby. Aby zachować logikę: struktura – funkcje, w takiej kolejności zostały im poświęcone dwie pierwsze części pracy.

W części III monografii zostanie omówione pogranicze poznania i różnic indywidualnych, zawężone do związków funkcjonowania pamięci roboczej z efektywnością rozumowania relacyjnego (a dokładnie wybranych form rozumowania relacyjnego). W tej części również znajdzie się wprowadzenie teoretyczne, a część empiryczna zostanie poświęcona związkom funkcjonowania pamięci roboczej z efektywnością złożonych procesów rozumowania z naciskiem na wnioskowanie indukcyjne przez analogię badaną empirycznie w zadaniach o charakterze konwergencyjnym i dywergencyjnym. Początkowe badania w tym zakresie miały na celu weryfikację nieliniowo-równoległego modelu rozumowania przez analogię (Orzechowski, 1999a; 2004a), później rozwiniętego i uogólnionego (Nęcka, Orzechowski, 2005). W tych początkowych eksperymentach wykorzystywano baterię metod eksperymentalnych do badania uwagi i pamięci roboczej oraz różne miary efektywności rozumowania przez analogię. Były to jednak zadania o charakterze konwergencyjnym, w których osoba badana miała za zadanie wybrać trafną odpowiedź z podanego klucza. Wydaje się natomiast, że analogia ma przede wszystkim „moc” generatywną – pozwala trafnie ująć sedno złożonego zjawiska albo przyczynić się do niezwykłego spojrzenia na problem dzięki swoistemu udziwnieniu, a nawet odrealnieniu swojego obiektu. Dlatego też w kolejnym programie badawczym podjęto próbę rozszerzenia poznawczego modelu rozumowania przez analogię (Nęcka, Orzechowski, 2005) na procesy generowania związków relacyjnych w zadaniach o charakterze dywergencyjnym. W ostatnim cyklu badań w tym zakresie podjęto problem poznawczego podłoża szerszej klasy procesów dywergencyjnych, wykraczających poza wykorzystanie analogii. Zastosowano w nim inną od poprzedniej metodologię badań, koncentrując się nie tyle na konkretnym typie procesu umysłowego, jakim było analogizowanie, ile na różnych aspektach procesu wytwarzania dywergencyjnego. W ten sposób zbliżono się bardziej do wyższych procesów poznawczych towarzyszących aktywności twórczej człowieka.

W podsumowaniu zaproponowano roboczą próbę syntezy wyników uzyskanych w trzech wybranych obszarach. W rezultacie powstał zarys modelu pamięci roboczej, który uwzględnia to, co, jak się zdaje, wiemy o jej strukturze, podstawowych funkcjach, a także o jej roli w aktywności poznawczej wyższego rzędu. Nie jest to jednak model wszystkiego – został on zawężony do problemu zarządzania informacją w pamięci roboczej. Sądzę, iż proponowane wyjaśnienie jest na tyle uniwersalne, że pozwala wyjaśnić różnice w tym procesie, obserwowane w zależności od takich czynników, jak rodzaj zadania poznawczego, użyty w nim materiał – jego rodzaj, rozmiar, warunki ekspozycji – oraz od innych, typowych czynników, które uwzględniają badacze tej problematyki.

Wyniki badań własnych, do których odwołuję się w tej pracy – poza nielicznymi wyjątkami, na przykład ich ponownej analizy – zostały opisane selektywnie i niekiedy dość ogólnie, aby zachować klarowność wyводу. W pełnej postaci przedstawiono je w publikacjach, wystąpieniach konferencyjnych i raportach badawczych, na które się powołuję.

Chciałbym zaznaczyć, że nie byłoby tych wyników, jak i w konsekwencji nie powstałaby niniejsza monografia bez współpracowników, z którymi w ciągu ostatnich kilkunastu lat dyskutowaliśmy tę problematykę, planowaliśmy i realizowaliśmy wspólne projekty badawcze. Pragnę w tym miejscu wyrazić im swoją wdzięczność. Szczególne podziękowania składam moim Mistrzom – Prof. dr. hab. Edwardowi Nęcce oraz Prof. dr. hab. Tomaszowi Maruszewskiemu. Za wsparcie i cierpliwość dziękuję też moim bliskim.

Część I

STRUKTURA PAMIĘCI ROBOCZEJ

Wprowadzenie

Edward Nęcka zauważa, że „(...) przez około 2500 lat dziejów psychologii jako działu filozofii, a potem przez blisko 100 lat jej samodzielnego rozwoju (...) nie uważano za konieczne czy potrzebne posługiwanie się terminem, który by oddawał treść tak powszechnie dziś używanych pojęć: pamięci krótkotrwałej lub – nieco później – roboczej” (Nęcka, 2009, s. 12). Idea pamięci roboczej nie jest jednak tak nowa, jak można byłoby sądzić. O ograniczonym pojemnością pamięci bezpośredniej (*limited-capacity immediate memory*) systemie pisał sam Ebbinghaus (1885/1913), a pojęcie oraz podobna do dzisiejszej idea pamięci roboczej przewijały się w literaturze na długo przed słynną pracą Baddeleya i Hitcha (1974). Dziś uważa się, że „idea pamięci roboczej i jej ograniczeń stanowi kluczowy element kondycji człowieka” (Cowan, 2005a, s. 2).

Definicje pamięci roboczej

Jeśli wnikliwie przyjrzeć się różnym rozumieniom pojęcia pamięci roboczej (*working memory*, WM), to można odnieść wrażenie, że już na poziomie definicyjnym jest to konstrukt złożony, żeby nie powiedzieć niespójny. Z jednej strony w ramach jednego pojęcia łączy się bowiem dwie – ściśle powiązane, ale jednak odmienne – hipotetyczne funkcje, to jest chwilowe przechowywanie i przetwarzanie bieżących informacji. Z drugiej strony w wielu ujęciach teoretycznych główny nacisk kładzie się na uwagową funkcję kontrolną, jaką względem procesu przetwarzania informacji pełni pamięć robocza, a właściwie jej wyspecjalizowany komponent. Baddeley, który jest uważany za twórcę tego pojęcia w ujęciu współczesnym (to nie on jednak odkrył właściwości przetwarzania informacji przypisywane obecnie pamięci roboczej), definiuje pamięć roboczą jako kontrolowany uwagowo system tymczasowego przechowywania informacji, który wspomaga zdolność człowieka do realizacji złożonych zadań poznawczych (Baddeley, 2007). Conway z kolei ujmuje konstrukt pamięci roboczej jako zdolność do umysłowego utrzymywania informacji w stanie aktywności i gotowości do użycia, przy jednoczesnym i selektywnym przetwarzaniu nowych informacji; albo jako zdolność do jednoczesnego utrzymywania i przetwarzania informacji istotnych z punktu widzenia realizowanych celów (Conway, Jarrold, Kane, Miyake, Towse, 2007). Jeszcze inaczej rozumie i definiuje pamięć roboczą Cowan, dla którego jest ona jednorodnym mechanizmem o charakterze zasobowym, zdolnym do elastycznej realizacji operacji przechowywania i przetwarzania informacji (Cowan, 1993), a jego główną funkcją jest zapewnienie dostępności re-

prezentacji zakodowanych w pamięci długotrwałej dla intencjonalnego przetwarzania informacji (Cowan, 1995). Będąc niewątpliwie pod silnym wpływem przełomu, którego dokonał Cowan w rozumieniu pojęcia pamięci roboczej, Oberauer poszedł jeszcze dalej; według niego pamięć robocza nie jest systemem pamięciowym *sensu stricto*, lecz systemem uwagowym, którego funkcjonowanie skierowane jest na pamięć (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007).

Analiza choćby tylko tych nielicznych definicji pokazuje, że różnice między nimi są fundamentalne. Jak się wydaje, nie ma zgody co do tego, czy WM jest systemem, zdolnością czy może procesem, nie wspominając o liście jej funkcji oraz o priorytetach tym funkcjom nadawanym. Za zróżnicowaniem definicji idzie w parze różnorodność teorii pamięci roboczej, o których będzie szerzej w dalszej części pracy (zob. też Miyake, Shah, 1999; Orzechowski, Balas, Piotrowski, Stettner, 2009).

Struktura pamięci roboczej

Pierwszy podjęty w tej pracy problem badawczy dotyczy struktury pamięci roboczej, a dokładniej weryfikacji wybranych predykcji dwóch alternatywnych ujęć – modelu niejednorodnego, reprezentowanego przede wszystkim przez wielokomponentowy model Baddeleya, oraz unitarnego, który współcześnie ma wiele wariantów (klasyką w tym zakresie jest jednak aktywacyjny model Cowana). Obie koncepcje, pomimo niektórych sprzecznych założeń, są poparte licznymi analizami wielu znamienitych badaczy.

Pamięć robocza – historia konstruktów

Fenomen krótkotrwałego przechowywania informacji – niewątpliwie podstawowy dla konstruktów pamięci roboczej – został uchwycony empirycznie już w badaniach Ebbinghause (1885/1913). Ten dociekliwy i niestrudzony badacz procesów pamięciowych zauważył, że jeśli rozmiar nabywanego materiału (jakim były bezsensowne sylaby) nie przekracza siedmiu jednostek, to możliwe jest jego bezbłędne odtworzenie bez konieczności powtarzania, i to już po jednej ekspozycji. Co ciekawe, wynik ten autor uznał raczej za zakłócenie w badaniach, dlatego zwykle jego zestawy sylab zawierały co najmniej 12 elementów. Podobnie postępowali naśladowcy i kontynuatorzy (np. Jost, 1897; Hovland, 1938).

Istotne dla współczesnych teorii pamięci roboczej okazały się lata 50. i 60. XX wieku. Za jedną z najważniejszych propozycji teoretycznych tamtego okresu uchodzi wielomagazynowy model pamięci (*multi-store memory model*) Atkinsona i Shiffrina (1968), w którym wyróżniono trzy podsystemy: magazyn sensoryczny

(*sensory storage*), krótkotrwały (*short term storage*) i długotrwały (*long term storage*) (zob. Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006). Uważa się (np. Schacter, Tulving, 1994), że model ten jest rozwinięciem idei Waugh i Normana (1965), którzy wyróżnili pamięć pierwotną (*primary*) i wtórną (*secondary*). Kryterium wyodrębnienia tych systemów w obu teoriach ma charakter czasowy, ale też od początku podkreślano, że różnią się one pojemnością. Inne różnicujące je właściwości, takie jak format kodu danych dominujący w danym podsystemie czy charakterystyczny sposób utraty (zapominania) informacji, wydają się mniej zróżnicowane w przypadku poszczególnych podsystemów, niż początkowo sądzono (por. Maruszewski, 2011).

Historyczne badania Millera (1956) i Petersonów (Peterson, Peterson, 1959) pozwoliły na wstępne oszacowanie podstawowych parametrów pamięci krótkotrwałej (*short term memory*, STM). Zarówno magiczna liczba Millera (7 ± 2 jednostki), jak i linowy spadek poprawności wydobywania materiału z pamięci krótkotrwałej w związku z upływem czasu (do około 20% po 9 sekundach odroczenia odtworzenia) to kamienie milowe badań tamtego okresu. Podobne rezultaty uzyskał Murdock (1961), stosując procedurę Petersonów, ale po zastąpieniu zestawów spółgłosek słowami. Okazało się, że poziom odtworzenia zestawu trzech słów spadał równie szybko jak w przypadku spółgłosek. W innym warunku eksperymentalnym, kiedy to badani mieli do zapamiętania tylko jedno słowo, poziom odtworzenia nie spadał poniżej 80%, nawet w wypadku najdłuższego interwału 18 sekund. Niemniej żadne z tych rozstrzygnięć nie okazało się ostateczne. Co ciekawe, na przykład Lehl i Fischer (1988) szacowali możliwości krótkotrwałego przechowywania informacji mniej więcej jako dwukrotnie większą (80 bitów, czyli na przykład 16 liter) niż Miller (1956), a Waugh i Norman (1965), biorąc pod uwagę zjawisko interferencji, oszacowali jej pojemność na 2–3 elementy. Cowan (2001) – uwzględniając uwagową dostępność materiału – możliwości te określa maksymalnie na cztery elementy, a niektórzy badacze są w tej kwestii jeszcze bardziej restrykcyjni (np. Oberauer, 2002). Obecnie uzyskiwane wyniki wskazują na pojemność ogniska uwagi wynoszącą około dwóch elementów, przy czym Oberauer (Oberauer, Bialkova, 2009) wykazał, że jest to możliwe pod warunkiem ich zbrylenia (*chunking*) do jednego elementu, podczas gdy Cowan (Gilchrist, Cowan, 2011) nadal dowodzi, iż co najmniej dwa niezależne elementy mogą zostać objęte fokusem uwagi. Zestawianie tych rezultatów przypomina jednak syllepsis w rodzaju „przyjechała we łzach i w karecie”; ich metodologia jest bowiem tak zróżnicowana, że nie sposób tak po prostu porównać ich wyników. Co gorsze, zupełnie nie wiadomo, w jakich jednostkach ową pojemność szacować: typowa miara ilości informacji, jaką jest bit, niezbyt się tutaj sprawdza, ponieważ jednostka pojemności pamięci człowieka ma zwykle charakter semantyczny. Ten rodzaj reprezentacji daje możliwość stosowania najróżniejszych mnemotechnik, choćby zbrylania danych w większe porcje, co sprawia, że nie sposób jednoznacznie określić pojemności informacyjnej WM. Grupowanie nie może jednakże odbywać się w nieskończoność – hipotetyczny mechanizm odświeżania oparty na bezgłośniejszej artykulacji (*subvocal rehearsal*) stanowi w tym zakresie pewne ograniczenie. Jak się bowiem okazało, łatwiej zapamiętać więcej mniejszych niż większych porcji infor-

macji (Simon, 1974). Problem wymaga zatem być może zupełnie innego rozstrzygnięcia. Pomocna może okazać się refleksja nie tyle nad wielkością ilościowych ograniczeń WM, ile nad ich źródłami. Zapominanie w pamięci krótkotrwałej może mieć przecież różnorodne podłoże. Podstawowe pytanie dotyczy tego, czy ograniczenie pojemności WM ma charakter pamięciowy czy uwagowy. Jeśli pamięciowy, to czy jest ono związane z mechanizmem samoistnego zaniku (*decay*) śladu pamięciowego w funkcji czasu, czy też z interferencją, to jest wzajemnymi zakłóceniami przez różne elementy przechowywane w WM. Wydaje się, że może być i tak, i tak (Oberauer, Kliegl, 2001). Z jednej strony informacja może zanikać samoistnie, co wydaje się skutkiem spadku aktywacji krótkotrwałe wzbudzonej informacji w funkcji czasu. Z drugiej jednak strony w pamięci krótkotrwałej dość łatwo dochodzi do interferencji pomiędzy zawartymi w niej informacjami, tym silniejszej, im na przykład są one bardziej do siebie podobne. Również nowo napływające informacje interferują z przechowywanymi danymi, nawet jeśli te ostatnie wciąż są potrzebne w bieżącym przetwarzaniu. Jeśli jednak zapominanie w pamięci krótkotrwałej ma podłoże uwagowe, to pojawia się pytanie, czy wiąże się ono z ograniczonymi możliwościami aktywowania informacji, ich efektywnego monitorowania, czy też wynika z natury intencjonalnego przetwarzania informacji, które zazwyczaj przebiega sekwencyjnie. A w przypadku procesu sekwencyjnego jednoczesna aktywacja zbyt wielu informacji i tak nie miałaby większego sensu.

Modele niejednorodne. Wielokomponentowy model Baddeleya

O pamięci roboczej pisano na długo przed publikacją Baddeleya i Hitcha (1974). Terminu tego użyli Miller, Galanter i Pribram (1960), sugerując, że pamięć jest nie tylko obszarem przechowywania, ale również przetwarzania informacji niezbędnych w realizacji planów. To praca Baddeleya i Hitcha miała jednakże charakter przełomowy. Autorzy poddali znaczącym modyfikacjom rozumienie pamięci krótkotrwałej jako systemu wyspecjalizowanego wyłącznie w przechowywaniu informacji, dodając mu funkcje robocze, związane z bieżącym przetwarzaniem informacji. Ponieważ w modelu Atkinsona i Shiffrina (1968) uwzględniono funkcje kontrolne, w zasadzie zostały one przez Baddeleya i Hitcha jedynie zredefiniowane i uzupełnione.

Za połączeniem funkcji przechowywania i przetwarzania informacji w ramach jednego systemu stoi założenie, że istnieje ścisła zależność między tymi funkcjami czy nawet realizującymi je strukturami. Zależność ta powoduje, że albo nie mogłyby one bez siebie istnieć, albo ich połączenie generuje jakąś unikatową wartość. Pogląd, że przetwarzanie informacji wymaga bufora roboczego, który zajmowałby się przechowywaniem danych, a w związku z tym obie funkcje powinny być ujmowane w ramach jednego modelu, jest niewątpliwie twórczym wkładem Baddeleya do nauki.

Pamięć robocza w ujęciu Baddeleya i Hitcha (1974; zob. też Baddeley, 1986) jest systemem wielokomponentowym. Początkowo ten model teoretyczny obejmował trzy podsystemy: centralny system wykonawczy (*central executive*) i dwa podległe mu bufory pamięciowe (*slave systems*) – pętlę fonologiczną (*phonological loop*) i szkicownik wzrokowo-przestrzenny (*visuo-spatial sketch-pad*). Podstawową funkcją buforów jest krótkotrwałe przechowywanie informacji – odpowiednio – w kodzie akustycznym (ze szczególnym uwzględnieniem kodu werbalnego) i w kodzie wizualnym. W nowszej wersji teorii (Baddeley, 2000; 2001) uzupełniono ją o bufor epizodyczny (*episodic buffer*), którego funkcją ma być przechowywanie złożonych informacji, takich jak obiekty reprezentowane z użyciem kodu wizualnego i słuchowego (np. kadr filmu), wizualnego i zapachowego (np. wiosenna łąka) czy też słuchowego i dotykowego (np. wibrujący telefon).

Centralny system wykonawczy, ze względu na wielość przypisywanych mu funkcji, sam w sobie jest systemem złożonym i niejednorodnym. Jest czymś w rodzaju poznawczego homunkulusa, co przyznaje sam twórca koncepcji WM (Baddeley, Logie, 1999). W długiej ewolucji modelu Baddeleya jego poglądy na temat centralnego systemu wykonawczego również się zmieniały. Z przeglądu prac autora wynika, że można wyróżnić kilka podstawowych funkcji centralnego systemu wykonawczego.

Pierwszą z nich jest bieżące przetwarzanie informacji. Z tego powodu WM odgrywa istotną rolę w wykonywaniu złożonych zadań poznawczych, szczególnie na materiale abstrakcyjnym, na przykład w rozumowaniu czy operowaniu symbolami matematycznymi lub lingwistycznymi. Baddeley podkreśla główne znaczenie, jakie ma pamięć robocza w aktywności poznawczej wyższego rzędu (por. część III w tym tomie). Funkcja ta sprowadza się do realizacji odpowiednio dobranych operacji poznawczych, wchodzących w skład strategii wykonania określonego zadania. Operacje te są realizowane z udziałem podsystemów pamięciowych, podlegających centralnemu systemowi wykonawczemu, które pełnią funkcję buforów dla informacji wyselekcjonowanych z punktu widzenia celu. W podsystemach są przechowywane najważniejsze dane, niezbędne do realizacji przetwarzania, w tym bieżące cele czy wskazówki dotyczące strategii ich osiągnięcia. Te ostatnie określają zestaw operacji przetwarzania informacji, aplikowanych w trakcie wykonania konkretnego zadania poznawczego.

Druga funkcja centralnego systemu wykonawczego to nadzór (kontrola) nad bieżącym przetwarzaniem informacji. Baddeley (1993), analizując tę funkcję, nawiązał do systemu kontroli zachowania z koncepcji Normana i Shallice'a (1986), której składową jest tzw. nadzorczy system uwagi (*supervisory attentional system*), czyli system kontroli czynności nieautomatycznych. Pełni on funkcję kontrolną, polegającą na planowaniu i nadzorowaniu wykonania złożonych zadań poznawczych. Głównym zadaniem systemu nadzorczego jest selekcja informacji napływających do ograniczonych pojemnościowo i podatnych na interferencję podsystemów pamięci roboczej, a szczególnie hamowanie informacji irrelevantnych z punktu widzenia realizowanych zadań (Baddeley, Logie, 1999). W złożonych zadaniach poznawczych ograniczenia pamięci roboczej okazują się krytyczne dla ich wykonania, dlatego też

centralny system wykonawczy bierze udział w rozstrzygnięciu przetargu między przechowywaniem i przetwarzaniem. Priorytet dla przechowywania informacji ogranicza możliwości przetworzeniowe, i odwrotnie – rozstrzygnięcie przetargu na rzecz przetwarzania może skutkować utratą danych, które są niezbędne do efektywnej jego realizacji. Ogólnie można powiedzieć, że funkcja ta sprowadza się do utrzymania równowagi między przechowywaniem i przetwarzaniem, co ma skutkować optymalizacją wydajności systemu pamięci roboczej jako całości. System kontrolny ma olbrzymie znaczenie w sytuacjach nowych, szczególnie kiedy zostaną one uznane za trudne lub zagrażające. Kontrola dotyczy wówczas hamowania reakcji rutynowych, o ile nie byłyby one przystosowawcze w danej sytuacji, oraz korekty ewentualnych błędów planowania i realizacji reakcji nierutynowych.

Trzecią funkcją centralnego systemu wykonawczego jest koordynacja buforów pamięci roboczej. Ta funkcja ujawnia się szczególnie w czasie wykonywania zadań jednoczesnych, wymagających rozdzielania zasobów centralnego systemu wykonawczego między realizowane w tym samym czasie procesy poznawcze. Baddeley zakłada, że system pamięci roboczej cechuje się limitowaną pojemnością rozumianą w kategoriach ograniczonych zasobów uwagowych (Baddeley, Della Sala, 1998; Baddeley, Logie, 1999). Ograniczenie to przejawia się przede wszystkim w spadku szybkości przetwarzania informacji wraz ze wzrostem wymagań, jakie nakłada na WM zadanie realizowane w danym momencie.

Koordynacja buforów pamięciowych obejmuje również aktualizację ich zawartości (*updating*). Polega ona nie tylko na hamowaniu napływającej informacji irrelewantnej, ale również na „pozbywaniu się” danych, które z racji wykonywanego zadania nie są już potrzebne. Podatność magazynów pamięciowych na interferencję sprzyja procesowi aktualizacji, gdyż daje priorytet nowym informacjom. Zadaniem systemu kontrolnego jest jednak zadbanie o to, aby proces ten zachodził selektywnie, to jest aby w podsystemach nie „zalegały” dane, które są zbędne, a te, które są wciąż potrzebne, były efektywnie podtrzymywane. Dzięki temu centralny system wykonawczy niejako uwalnia ograniczoną pojemność dla informacji nowo napływających, które mogą okazać się niezbędne.

W związku z wprowadzeniem do modelu buforu epizodycznego centralny system wykonawczy ma jeszcze za zadanie łączenie danych z różnych źródeł i – ewentualnie – różnych modalności w spójne epizody. Co prawda „polem”, w którym się to odbywa, jest bufor epizodyczny, ale to centralny system wykonawczy koordynuje to zadanie. Bufor epizodyczny, podobnie jak wszystkie pozostałe podsystemy pamięciowe, jest połączony rodzajem magistrali z pamięcią długotrwałą (*long-term memory*, LTM). Nie jest to odkryciem Baddeleya, lecz to właśnie dzięki buforom roboczym pamięć robocza bierze udział w kodowaniu informacji w pamięci długotrwałej oraz w jej selektywnym przywoływaniu (Baddeley, Logie, 1999). Interesującym dowodem, że korzystanie z zasobów pamięci długotrwałej odbywa się z udziałem centralnego systemu wykonawczego, są dane pochodzące z badań Gathercole (1999): okazało się, że krótkotrwałe przechowywanie bezsensownych zlepek liter jest tym bardziej efektywne, im bardziej są one podobne do słów języka naturalnego.

Wskazuje to na istotny udział struktur językowych LTM w kodowaniu informacji w pamięci roboczej.

Baddeley nie zamyka listy funkcji centralnego systemu wykonawczego, podobnie jak nie rozstrzyga, czy wymienione przez niego funkcje są wynikiem mniejszej liczby albo wręcz jednego „nadrzędnego” mechanizmu kontrolnego. Niemniej problem kontroli poznawczej, analizowany w kontekście pamięci roboczej, jest obecnie jednym z centralnych w badaniach poznawczych (Engle, 2002; 2010; Jha, Kiyonaga, 2010; Han, Kim, 2009; Morey, Cowan, Morey, Rouders, 2011; Oberauer, 2005a; 2010; Unsworth, 2010; Unsworth, Redick, Spillers, Brewer, 2012) i neurobiologicznych (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, Wager, 2000; McCabe, Roediger, McDaniel, Balota, Hambrick, 2010).

Podstawowym założeniem teorii Baddeleya jest strukturalna odrębność podsystemów pamięciowych podlegających centralnemu systemowi wykonawczemu – w tym sensie jest to model wielokomponentowy. Koronnym dowodem odrębności buforów pamięciowych są eksperymenty realizowane w schemacie zadań jednoczesnych (*dual task*). Baddeley (1986) założył, że można wnioskować o odrębności systemów, jeśli poziom wykonania zadań jednoczesnych angażujących ten sam kod informacyjny jest niższy, niż kiedy dwa zadania angażują różne kody. W jednym z eksperymentów osoby badane miały za zadanie śledzenie obiektu poruszającego się po ekranie komputera (kod wizualny) oraz wykonanie zadania pamięciowego na materiale werbalnym albo wizualnym. Wyniki potwierdziły predykcje Baddeleya, przemawiając na korzyść oddzielenia systemu werbalnego i wzrokowo-przestrzennego. Okazało się bowiem, że poziom wykonania zadania pamięciowego był niższy w warunkach zadań angażujących ten sam kod (wizualny), niż kiedy zadania angażowały różne kody (wizualny albo werbalny). Podobny sposób rozumowania zastosowano, dowodząc odrębności bufora epizodycznego – trzeciego podsystemu pamięciowego WM (Baddeley, Vallar, Wilson, 1987). Inną przesłanką na rzecz tezy o odrębności pętli fonologicznej i szkicownika wzrokowo-przestrzennego wydają się wyniki uzyskane w zespole Vandierendoncka (Vandierendonck, Kemps, Fاستame, Szmalec, 2004). W przeprowadzonych badaniach wykorzystano również paradygmat zadań jednoczesnych, gdzie jednym z zadań było klasyczne zadanie przestrzenne, to jest „klocki Corsiego” (*Corsi blocks*; Milner, 1971). Badacze użyli tego zadania jednocześnie z innym zadaniem angażującym – według teorii Baddeleya – jeden z podsystemów WM: pętlę fonologiczną, szkicownik wzrokowo-przestrzenny albo centralny system wykonawczy. Badacze założyli, że pogorszenie poziomu wykonania zadania Corsiego w warunkach zadań jednoczesnych będzie świadczyć o zaangażowaniu określonego systemu WM w jego wykonanie. Okazało się, że zadanie to angażuje szkicownik wzrokowo-przestrzenny i centralny system wykonawczy, lecz nie obciąża pętli fonologicznej.

Pętla fonologiczna jest pierwszym z detalicznie badanych buforów pamięciowych w modelu Baddeleya. Odpowiada za krótkotrwałe przechowanie informacji fonologicznych. Baddeley (1986) uwzględnił dwa mechanizmy przechowywania: pasywny (*retention*) i aktywny (*rehearsal*), wyróżniając w pętli fonologicznej dwie

odrębne, odpowiadające tym mechanizmom struktury. Pasywne przechowywanie informacji jest możliwe dzięki magazynowi fonologicznemu. Istnieje dość ścisła zależność między siłą śladu pamięciowego a czasem retencji materiału pamięciowego (King, Jones, Pearlman, Tishman, Felix, 2002). Jeśli informacja przechowywana w pętli fonologicznej nie byłaby aktywnie odświeżana, samoistnie zaniknie w bardzo krótkim czasie (średnio po upływie dwóch sekund; Cohen, Kiss, LeVoi, 1993). Innym mechanizmem utraty informacji z magazynu fonologicznego jest interferencja. Zawartość tego magazynu jest bardzo podatna na interferencję proaktywną, ale również na interferencję wynikającą z podobieństwa w obrębie danego zestawu bodźców, przy czym istotne wydaje się tu podobieństwo fonologiczne, a nie na przykład semantyczne (zob. Borella, Carretti, Mammarella, 2006; Friedman, Miyake, 2004; Hasher, Lustig, Zacks, 2007). Baddeley utrzymuje, że choć magazyn fonologiczny przechowuje informacje werbalne mające zwykle jakieś znaczenie, to jednak aktywne podtrzymywanie odbywa się w kodzie fonologicznym (Baddeley, Logie, 1999).

Badania nad efektem podobieństwa fonologicznego (*phonological similarity effect*) mają stanowić empiryczny dowód dominacji kodu fonologicznego w przechowywaniu materiału werbalnego (Baddeley, 1966; Conrad, 1963; 1971; Conrad, Hull, 1964). Baddeley (1966) założył, że jeśli mechanizm odświeżania ma charakter fonologiczny, to łatwiejsze do odtworzenia z WM będą zestawy bodźców znacznie różniących się brzmieniowo niż zestawy podobne. W przeprowadzonych badaniach prezentowano listy bodźców (słów, liter) w jednym warunku różniące się brzmieniem w znacznym stopniu (np. *f, w, k, s...*; *pen, day, few, cow...*), a w drugim – o podobnym brzmieniu (np. *g, c, b, t, v...*; *man, mad, map, mat...*). Okazało się, że fonologicznie podobny materiał był trudniejszy do wydobycia we właściwej kolejności niż materiał o znacząco różnym brzmieniu. Nie oznacza to, że materiał werbalny przechowywany w pamięci roboczej nie ma charakteru semantycznego, ale że mechanizm jego odświeżania odwołuje się raczej do kodu fonologicznego, a nie znaczenia bodźców. W badaniach Baddeleya okazało się również, że podobieństwo w zakresie semantyki użytych słów miało niewielki wpływ na wyniki przypominania. Zwiłokrotnienie prezentacji list słów, zastosowane w celu utrwalenia ich w LTM, spowodowało zanik efektu podobieństwa fonologicznego. Wówczas badani mieli problem z poprawnym wydobyciem słów o podobnym znaczeniu, co wskazuje na dominację kodu semantycznego nad fonologicznym pamięci długotrwałej.

Wskazują na to również na przykład badania McErleego (1996), który zastosował zadanie Saula Sternberga (1966) polegające na przeszukiwaniu pamięci (*memory search task*). W badaniach McErleego uczestnicy mieli za zadanie – oprócz tradycyjnego sprawdzania zgodności bodźca docelowego z zapamiętanym zestawem elementów – udzielić odpowiedzi na pytanie, czy bodziec docelowy rymuje się z którymś z elementów zestawu albo czy jest synonimem któregoś z nich. Okazało się, że informacja ta była dostępna zarówno z klucza fonologicznego, jak i semantycznego.

Według Baddeleya aktywnym odświeżaniem zawartości magazynu fonologicznego zajmuje się mechanizm pętli artykulacyjnej. Podstawą jego funkcjonowania

jest bezgłośnie powtarzanie, podobne do artykulacji mowy (Baddeley, 1998). Baddeley, Thomson i Buchanan (1975) założyli, że jeśli pętla fonologiczna podtrzymuje informacje dzięki bezgłosnym powtórkom, to dłuższe wyrazy będą gorzej odtwarzane niż krótsze. Jeśli ponadto pomiędzy prezentacją materiału a jego odtwarzaniem zastosuje się procedurę tłumienia artykulacyjnego (*articulatory suppression*), to zmniejszy się efektywność mechanizmu odświeżania, czego behawioralnym wskaźnikiem będzie zwiększenie poziomu błędów odtwarzania. Badacze potwierdzili obie predykcje. Pierwsza z nich została później wielokrotnie zreplicowana, zyskując miano efektu długości słowa (*word-length effect*). Historycznym już dowodem tego efektu są bardzo pomysłowe badania Ellis i Hennessey'ego (1980) dowodzące, że w STM mieści się więcej słów krótszych (o mniejszej liczbie sylab) niż dłuższych. Druga hipoteza potwierdziła się nie tylko w przypadku słuchowej, ale również wizualnej prezentacji słów, co wskazuje na istotną rolę pętli fonologicznej w rekodowaniu materiału wizualnego do kodu werbalnego. Co ciekawe, jeśli dystraktor umieszczony w prezentowanym materiale nie jest dźwiękiem lingwistycznym, w znacznie mniejszym stopniu zakłóca zapamiętywanie niż wówczas, gdy stosuje się dystraktory lingwistyczne (tzw. efekt przedrostka; Bloom, Watkins, 1999). Wydaje się zatem, że choć pętla fonologiczna daje dostęp do materiału jednocześnie w jego warstwie akustycznej, fonologicznej i semantycznej, to jednak mechanizm odświeżania angażuje właśnie kod fonologiczny.

Szkicownik wzrokowo-przestrzenny jest analogiem pętli fonologicznej, z tym że jego podstawową funkcją jest – w założeniu – krótkotrwałe przechowywanie materiału wzrokowego i przestrzennego. Logie (1995), rozwijając analogię pomiędzy podsystemem werbalnym i wzrokowo-przestrzennym, zaproponował rozróżnienie dwóch mechanizmów funkcjonowania szkicownika. Mechanizm pasywnego przechowywania informacji wzrokowej i przestrzennej byłby realizowany w strukturze podręcznego magazynu wzrokowego (*visual cache*). Wewnętrzny „skryba” (*inner scribe*) miałby z kolei rolę aktywną, korzystając z procesów modelowania przedrukowego (planowanie sekwencji ruchów) i tworzenia wyobrażeń. W wykonaniu tych procesów wewnętrzny system piszący korzysta z magazynu wzrokowego, czyli ich wzajemne związki są podobne do relacji pomiędzy składowymi pętli fonologicznej. W badaniach empirycznych uzyskano interesujące wyniki, podobne do efektu tłumienia artykulacyjnego w pętli fonologicznej. Logie (1986) wykazał mianowicie, że wykonywanie zadania wzrokowego, przy jednoczesnej prezentacji sekwencji obrazów niezwiązanych z tym zadaniem, wpływa negatywnie na przechowywanie informacji wizualnej. W serii eksperymentów (Logie, Marchetti, 1991; Logie, Zucco, Baddeley, 1990) dowiedziono, że wykonywanie czynności ruchowych jednocześnie z zadaniem wzrokowo-przestrzennym pogarsza przechowywanie informacji o relacjach przestrzennych.

W późniejszych pracach Baddeley (1998) zaproponował oddzielenie od siebie pamięci przestrzennej i wzrokowej. Z jednej strony wskazują na to badania kliniczne, na przykład przypadki pacjentów z selektywnymi zaburzeniami pamięci wzrokowej przy zachowanej sprawności wykonania zadań przestrzennych (Farah, 1988), z dru-

giej – potwierdzają to wyniki neuroobrazowania aktywności mózgowej w zadaniach wzrokowych i przestrzennych. Na przykład Prabhakaran (Prabhakaran, Smith, Desmond, Glover, Gabrieli, 1997; zob. też Smith, Jonides, 1997) uzyskał w zadaniach wzrokowych aktywację głównie lewopółkulowe, a w wersji aktywizującej pamięć przestrzenną – prawopółkulowe. Niemniej obydwie typy zadań angażują również te same struktury mózgowe. Kiedy dopasowano do siebie poziom trudności zadań na pamięć przestrzenną i wzrokową, nie zaobserwowano zróżnicowania aktywności mózgowej w obrębie kory przedczołowej (*prefrontal cortex*) (Robbins, James, Owen, Sahakian, Lawrence, McInnes, Rabbitt, 1998; Postle, Stern, Rosen, Corkin, 2000). W badaniach behawioralnych, prowadzonych w paradygmacie zadań jednoczesnych, wykazano z kolei mniejszą interferencję między dwoma zadaniami, kiedy jedno z nich miało charakter wzrokowy, a drugie przestrzenne, w porównaniu z warunkami dwóch zadań wzrokowych czy dwóch zadań przestrzennych (Klauer, Zhao, 2004). Niemniej dzięki kolejnemu magazynowi WM, nazwanemu buforem epizodycznym (Baddeley, 2000), jest możliwe tworzenie zintegrowanych reprezentacji wielomodalnościowych, na przykład wzrokowych i przestrzennych czy werbalnych i przestrzennych. Co więcej, wykryto nawet wyspecjalizowane struktury mózgowe zaangażowane w proces przechowywania takich złożonych epizodów (Mitchell, Johnson, Raye, D'Esposito, 2000; Prabhakaran, Narayanan, Zhao, Gabrieli, 2000).

Główną funkcją bufora epizodycznego byłoby czasowe przechowywanie zintegrowanych epizodów (*integrated episodes*), to jest informacji reprezentowanej jednocześnie za pomocą różnych kodów, na przykład werbalnego i wizualnego, z uwzględnieniem osi czasu. Podobnie jak inne podsystemy pamięciowe, bufor epizodyczny jest ograniczony pojemnościowo i podlega kontroli przez centralny system wykonawczy, który odpowiada również za integrowanie informacji z różnych źródeł w spójne epizody (Baddeley, 2000). Zdaniem Baddeleya za istnieniem bufora epizodycznego przemawia wiele badań eksperymentalnych dotyczących kodowania i przechowywania złożonej informacji (np. Luck, Vogel, 1997; Repovš, Baddeley, 2006) oraz badania neurobiologiczne (Mitchell, Johnson, Raye, D'Esposito, 2000; Prabhakaran, Narayanan, Zhao, Gabrieli, 2000). Badania eksperymentalne wskazują, że zakres pamięci roboczej jest mniejszy dla słów niezwiązanych semantycznie i wynosi około 5 elementów, podczas gdy dla słów wchodzących w skład sensownego zdania nawet 15 (Baddeley, Vallar, Wilson, 1987). Zdaniem badaczy zintegrowanie semantyczne słów w zdanie następuje właśnie w buforze epizodycznym. Użycie z kolei materiału wizualnego, przy kontroli liczby cech definiujących obiekt, wskazuje na wpływ liczby obiektów, a nie liczby definiujących go cech (4 vs 16), na obciążenie WM (Luck, Vogel, 1997; Vogel, Woodman, Luck, 2001). Wydaje się zatem, że proces integracji cech w obiekt zachodzi przed kodowaniem informacji w szkieletu wzrokowo-przestrzennym.

Bufor epizodyczny, podobnie jak pozostałe podsystemy pamięciowe, uczestniczy w nabywaniu i wydobywaniu informacji z pamięci długotrwałej. Zakłada się, że wiedza epizodyczna jest kodowana w sposób kompleksowy z uwzględnieniem osi czasu. Epizody są kodowane wraz z ich możliwie najpełniejszym kontekstem, dlate-

go nie da się tego procesu sprowadzić do pojedynczego kodu. Na dowód odrębności bufora epizodycznego od długotrwałej pamięci epizodycznej oraz pozostałych podsystemów WM Baddeley i Wilson (2002) podają przypadki pacjentów z amnezją, która objawia się brakiem zdolności kodowania nowych epizodów w LTM, podczas gdy krótkotrwała pamięć epizodów, często znacznie bardziej złożonych niż bodźce przechowywane dzięki pętli fonologicznej, pozostaje niezaburzona. Wprowadzenie bufora epizodycznego do modelu pamięci roboczej nie stanowi może wyjaśnienia eleganckiego, ale jest interesującą propozycją połączenia funkcji pamięci roboczej z wiedzą epizodyczną.

Osobnym problemem jest powiązanie centralnego systemu wykonawczego z funkcjonowaniem bufora epizodycznego. Z modelu Baddeleya wynika, że jest ono ściśle. Cytowane powyżej badania (Luck, Vogel, 1997; Vogel, Woodman, Luck, 2001) wskazywałyby, że w wypadku integracji cech wizualnych w obiekt proces integracji zachodzi automatycznie. Wheeler i Treisman (2002) wykazały z kolei, że jeśli proces integracji cech wizualnych w obiekt odbywa się przy zmniejszonej ilości zasobów uwagowych (słabszej kontroli ze strony centralnego systemu wykonawczego), obiekty ulegają szybszej dezintegracji do ich cech składowych. Baddeley początkowo (2000) wyróżnił dwa mechanizmy tworzenia złożonych epizodów: pasywny i automatyczny oraz aktywny i wymagający kontroli. Dotychczas zgromadzone dane sugerują, że proces tworzenia epizodów, również wielomodalnościowych, nie wymaga udziału centralnego systemu wykonawczego. Wydaje się, że badania samego Baddeleya wskazują, iż w procesie integracji elementarnych cech stymulacji, na przykład koloru i kształtu obiektów wizualnych (Allen, Baddeley, Hitch, 2006), także z uwzględnieniem różnych modalności zmysłowych, na przykład wzrokowej i werbalnej (Allen, Hitch, Baddeley, 2009), proces ten zachodzi automatycznie. Okazuje się bowiem, że różnorodne zadania pamięciowe, w których wykorzystywano bodźce definiowane zarówno pojedynczymi cechami, jak i ich kombinacją, podobnie obciążają WM. Wydaje się, że jednostką przetwarzania jest wówczas cały obiekt, niezależnie od liczby definiujących go cech, a proces integracji zachodzi przed ich zakodowaniem w podsystemie epizodycznym.

Model długotrwałej pamięci roboczej Ericssona i Kintscha

Ericsson i Kintsch (1995) zaproponowali rozszerzony model pamięci roboczej, którego integralną częścią jest mechanizm kodowania i wydobywania informacji z pamięci długotrwałej. Konieczność uwzględnienia tego mechanizmu w modelu pamięci roboczej wynika, zadaniem autorów, z deficytów klasycznych teorii, które nie są w stanie trafnie wyjaśnić specyfiki procesów pamięciowych ekspertów, rozwiązyujących problemy w swojej domenie. Specyfika ta polega na niesłuchaniu szybkim kodowaniu i przywoływaniu trwałych zapisów LTM, o ile dotyczą one obszaru

ekspertyzy. Wnioski tego rodzaju wynikają z klasycznych badań nad ekspertami szachowymi (Chase, Simon, 1973) czy medycznymi (Norman, Brooks, Allen, 1989), ale także w obszarze „ekspertyzy” dostępnym każdemu z nas, jakim jest codzienne posługiwanie się językiem, na przykład produkcja i rozumienie mowy (Gathercole, Baddeley, 1993).

Według autorów pamięć robocza ma za zadanie utrzymywanie efektywnego i selektywnego dostępu do informacji, która jest niezbędna do wykonania danego zadania (Ericsson, Delaney, 1999; Ericsson, Kintsch, 1995). Funkcja ta może być realizowana skutecznie dzięki dwóm mechanizmom poznawczym: krótkotrwałej pamięci roboczej (*short-term working memory*, ST-WM) i długotrwałej pamięci roboczej (*long-term working memory*, LT-WM). Zadaniem ST-WM jest magazynowanie danych i półproduktów przetwarzania niezbędnych do bieżącego wykonania złożonych zadań poznawczych. Zadaniem LT-WM jest utrzymanie szybkiego dostępu do pamięci długotrwałej. Jest to możliwe, po pierwsze, dzięki tak zwanym strukturom wydobywania (*retrieval structures*), które tworzą się w wyniku doświadczenia i praktyki w zakresie wykorzystania określonego typu danych. Pozwalają one na efektywne kodowanie i wydobywanie informacji, która ma określone wzorce, specyficzne dla danej dziedziny. Mogą to być wzorce percepcyjne, jak na przykład w zadaniach szachowych, ale również abstrakcyjne czy symboliczne, jak choćby w posługiwaniu się językiem. Struktury te są charakterystyczne dla określonego typu danych i nie obserwuje się transferu na inną, nawet pozornie zbliżoną domenę (Chase, Ericsson, 1982). Po drugie, szybki dostęp do informacji zawartych w strukturach wydobywania zapewniają wskazówki (*retrieval cues*), które są zawarte w pamięci roboczej (Kintsch, Patel, Ericsson, 1999). Dzięki nim jest możliwy automatyczny, a co za tym idzie szybki i bezwysiłkowy dostęp do powiązanych z nimi długotrwałych zapisów pamięciowych. LT-WM pozwala na ominięcie problemu ograniczonej pojemności ST-WM także przez magazynowanie w niej zarówno danych dotyczących problemu, jak i rezultatów bieżącego przetwarzania. Powstałe w ten sposób ślady pamięciowe są trwalsze niż w ST-WM, ale ponieważ nie są ostatecznym wynikiem danego procesu, na przykład rozwiązaniem problemu, mogą – po użyciu – zostać usunięte z pamięci. Po trzecie, efektywne wykorzystanie LT-WM jest możliwe wówczas, gdy można przewidzieć, jakie dane będą potrzebne w kolejnych krokach przetwarzania informacji. To z kolei jest możliwe, nie tylko kiedy przyjmują one określone wzorce, ale również gdy proces ich przetwarzania ma dobrze znaną i przewidywalną (powtarzalną) strukturę. Te trzy czynniki pozwalają na wyjaśnienie wysokiej efektywności w zadaniach eksperckich, które wymagają intensywnego konsultowania LTM, pomimo zupełnie przeciętnej pojemności pamięci roboczej wykonujących je ekspertów.

Wśród wielu zadań eksperckich co najmniej jedno jest bardzo powszechne, to jest posługiwanie się językiem. Zrozumienie prostego tekstu, a nawet bardziej złożonego zadania, gdyby przyjąć nawet najmniej rygorystyczne ograniczenia pojemności pamięci roboczej, mogłoby ją szybko przeładować. W ramach teorii długotrwałej pamięci roboczej język ma rozbudowane struktury wydobywania, zakorzenione głównie w pamięci semantycznej. Dotyczą one nie tylko znaczeń, ale również formalnej

struktury języka, dzięki czemu jest możliwe nie tylko kodowanie i dekodowanie znaczeń, ale również antycypacja standardowo występujących sekwencji elementów. Dlatego też jest możliwe uchwycenie sensu dłuższej wypowiedzi czy całej konwersacji oraz późniejsze odtworzenie jej przebiegu. Posługiwanie się językiem jest więc jednym z obszarów „ekspertyzy”, który z jednej strony nie daje się wyjaśnić w ramach ograniczeń standardowo rozumianej WM, a z drugiej jest powszechny, co jest mocnym dowodem szerokiego zakresu stosowalności omawianej koncepcji.

Dowody empiryczne wspierające koncepcję Ericssona i Kintscha dotyczą badań nad funkcjonowaniem pamięci ekspertów i osób poddanych treningowi pamięci. Na przykład w badaniach nad pamięcią incydentalną szachistów (Charness, 1981) okazało się, że osoby badane bardziej skutecznie odtwarzały prezentowane im układy figur na szachownicy, jeśli mogły one być elementem realnej partii, niż kiedy pytano je o figury zgodne kolorystycznie z polem, na którym one stały. Nominalne obciążenie pamięci roboczej mogło być w obu sytuacjach identyczne, lecz przewaga szachistów dotyczyła tylko warunku z sensownymi układami figur. Podobne wyniki uzyskano w badaniach ekspertów brydżowych nad zapamiętaniem układów kart do gry (Charness, 1979) i doświadczonych lekarzy, którzy lepiej pamiętali swoich pacjentów po badaniach i postawieniu diagnozy niż nowicjusze (Norman, Brooks, Allen, 1989). Co istotne, zakres wiedzy eksperckiej był pozytywnie skorelowany z wynikami testów pamięci. Wyniki badań nad osobami poddanymi treningowi pamięci pozwalały z kolei na znaczną poprawę zakresu pamięci roboczej, przeciętnie do 20 cyfr po 50 godzinach treningu. Najlepsze osoby były natomiast w stanie zapamiętać nawet 80 cyfr (Ericsson, 1985; 1988). Podobnie jednak jak w wypadku wyników ekspertów, nie wystąpił transfer na innego rodzaju materiał. Zastąpienie cyfr na przykład literami spowodowało powrót do przeciętnego poziomu odtworzenia około siedmiu elementów. Trening nie powoduje więc zwiększania pojemności systemu pamięci krótkotrwałej, lecz – jak się wydaje – wpływa na efektywność zastosowania mnemotechnik opartych na kodowaniu informacji w pamięci trwałej.

Modele jednorodne. Model aktywacyjny Cowana

W koncepcji Cowana (1988; 1993; 1995; 2005a) pamięć robocza jest rozumiana dynamicznie, a zatem jako proces poznawczy, który odpowiada za utrzymywanie dostępności do informacji niezbędnych w celu realizacji bieżących zadań systemu. O ile ta ogólna definicja nie jest może oryginalna, o tyle wynika z niej wiele niezwyklej konsekwencji teoretycznych, które znalazły się w koncepcji Cowana (i kontynuatorów). Podobnie jak w innych koncepcjach WM, pamięć robocza według Cowana jest systemem złożonym, w którym autor wyróżnia dwie podstawowe składowe: centralny system wykonawczy i jednorodny system pamięciowy. Jednorodność tego ostatniego wynika z założenia, że nie ma ostrych granic między pamięcią krótko- i długotrwałą, a dane świadczące o ich niezależności można wyjaśnić

bez odwoływania się do strukturalnej odrębności podsystemów pamięciowych. Podobnie rzecz ma się z podsystemami dedykowanymi różnym rodzajom materiału. Wyniki z zadań jednoczesnych, mające zdaniem Baddeleya świadczyć o odrębności podsystemów, można wyjaśnić, odwołując się do zjawiska interferencji występującego w obrębie aktywnej informacji. Jeżeli dwa zadania angażują podobne kody reprezentacji (np. tylko fonologiczne albo tylko wzrokowe), interferencja jest silniejsza niż wówczas, kiedy angażowane są różne kody w obrębie jednego systemu. Dane te nie stanowią zatem dowodów odrębności buforów pamięciowych, a jedynie wskazują na interferencję jako jeden z mechanizmów utraty informacji w WM (Glass, Millen, Beck, Eddy, 1985). Nie wydaje się jednak, aby tego rodzaju interpretacja była przekonująca dla zespołu Baddeleya (Cocchini, Logie, Della Sala, MacPherson, Baddeley, 2002). Bardziej bezpośrednich dowodów dla wskazujących na niezależność WM od modalności materiału (*domain-general memory*) dostarczyły badania Saulsa i Cowana (2007). Niezależnie od tego, czy zadanie wymagało pamiętania tylko bodźców wizualnych, tylko bodźców akustycznych, czy też jednocześnie obu, osoby badane były w stanie odtworzyć 3–4 elementy. Zdaniem Cowana jest to dowód jednorodności (niezależności od modalności) systemu WM.

W ujęciu Cowana pamięć robocza jest to chwilowo aktywna, dzięki procesom uwagowym, część pamięci długotrwałej. Mamy zatem do czynienia z jednorodnym systemem pamięciowym, z tym że przechowywane dane mogą różnić się stopniem aktywacji, który zależy od aktualnie realizowanych zadań. Zasadniczo autor rozróżnia trzy poziomy aktywacji śladów pamięciowych, przy czym dwa z nich dotyczą bezpośrednio pamięci roboczej. Centralny system wykonawczy, sterujący kontrolowanym przetwarzaniem informacji, może – dzięki mechanizmowi ogniska uwagi (*focus of attention*) – aktywować zarówno istniejące ślady pamięciowe, jak i dane pochodzące ze środowiska zewnętrznego. W wypadku danych pamięciowych i niektórych informacji ze środowiska proces ten zachodzi wolicjonalnie – ma więc odgórny i endogeny charakter. Pewne bodźce zewnętrzne (*egzogenne*) mogą jednak oddolnie przyciągać uwagę, angażując niekiedy również ognisko uwagi. Dotyczy to na przykład bodźców nowych czy z innych powodów istotnych dla jednostki. Treści objęte ogniskiem uwagi mają szczególną właściwość – są dostępne świadomości. Dlatego też pojemność ogniska uwagi jest bardzo niewielka i wynosi 3–4 jednostki (porcje) informacji (Chen, Cowan, 2009; Sauls, Cowan, 2007). Konsekwencją tego mechanizmu jest nowe rozumienie istoty ograniczenia pojemności WM. Nie wynika ono bowiem z pojemności jakiegoś magazynu czy bufora, ale z dynamiki procesu aktywacji informacji w ognisku uwagi. Mechanizm uwagowy odpowiedzialny za ten proces pozwala na jednoczesną aktywację niewielkiej liczby elementów. Jest on też bardzo krótkotrwały – wpływ czasu czy przeniesienie uwagi na inne bodźce powoduje szybki spadek aktywacji uprzednio wzbudzonych, a to prowadzi do utraty dostępu, albo – jeśli stanowią one zawartość LTM – wymaga ponownego ich wydobycia.

Aktywacja informacji spada w funkcji czasu i o ile nie zostanie ponownie podniesiona dzięki ognisku uwagi, w krótkim czasie przestaje być dostępna bieżącemu

przetwarzaniu. Jeszcze jednak przez pewien czas poziom aktywacji jest podwyższony, co ma wpływ na przetwarzanie, na przykład jest bardziej prawdopodobne, że to ona zostanie objęta fokusem uwagi, a nie informacja niewzbudzona, co wpływa na aktualnie toczące się procesy poznawcze. W tym obszarze mogą znajdować się również elementy zadania, które podlegają habituacji, gdyż na przykład są dobrze znane albo odsiano je jako szum czy dystrakcję. Dostępność tych informacji jest wciąż wysoka, choć nie są one przetwarzane świadomie. Obszar pamięci roboczej obejmujący informacje o podwyższonym poziomie aktywacji Cowan utożsamia z pamięcią krótkotrwałą. Trzeci poziom aktywacji, o którym jest mowa w modelu Cowana, to informacja niewzbudzona znajdująca się w LTM. Jest ona potencjalnie dostępna centralnemu systemowi wykonawczemu i może zostać zaktywowana (co jest równoznaczne z jej wydobyciem), ale zanim to się stanie, nie bierze udziału w przetwarzaniu informacji. Obszar pamięci roboczej, choć zróżnicowany pod względem źródeł informacji (dane egzogenne i endogenne) oraz poziomu aktywacji, jest jednorodny. Cowan nie przewiduje osobnych struktur dla bodźców różnych modalności. Metaforycznie można powiedzieć, że pamięć to swego rodzaju stół roboczy, na którym dokonują się manipulacje różnego rodzaju materiałami, z użyciem różnych narzędzi. Materiał i narzędzia mogą być różne, ale stół jest jeden.

Dane neurobiologiczne wskazują, że istnieją struktury powiązane z pamięcią roboczą, wyspecjalizowane w przetwarzaniu bodźców różnych modalności (D'Esposito, Postle, 1999). Wskazuje to na specyfikę ich poznawczej obróbki na poziomie elementarnym. Cowan zwraca uwagę, że złożone bodźce mogą być kodowane na wiele sposobów, czyli aktywować różne systemy pamięci trwałej. Te dane nie są jednak dowodem zróżnicowania podsystemów pamięci roboczej ze względu na rodzaj materiału. W tym sensie jest to koncepcja WM, w której system pamięciowy jest rozumiany jednorodnie. Być może podłożem tej jednorodności jest nie tylko wspólny obszar roboczy, ale również – jak się wydaje – wspólny dla bodźców egzo- i endogennych mechanizm uwagowy. Piotrowski (2003) wykazał, że w przypadku obu rodzajów danych są zaangażowane limitowane zasoby uwagi pochodzące z jednej puli. Cowan uwzględnił również dwie drogi sterowania zachowaniem. Pierwsza wymaga zaangażowania centralnego systemu wykonawczego i odpowiada reakcjom kontrolowanym. Reakcje automatyczne nie angażują natomiast centralnego systemu wykonawczego. W obu wypadkach wzbudzone reprezentacje należą jednak – zdaniem Cowana – do obszaru pośredniej aktywacji pamięci krótkotrwałej.

Wnioski wskazujące na bardziej ograniczoną pojemność ogniska uwagi WM, niż wynika to z magicznej liczby Millera, Cowan wyprowadził z metaanaliz wykonania różnych zadań pamięciowych. Jednym z nich było zadanie Sternberga polegające na przeszukiwaniu pamięci krótkotrwałej. Cowan (1995) przekonuje, że czas reakcji na sygnały znajdujące się na kilku ostatnich pozycjach zestawu, który jest wyraźnie krótszy niż czas reakcji na sygnały pojawiające się wcześniej, jest tego dowodem. Wydaje się również, że w zestawie bodźców o rozmiarze do czterech elementów nie występuje interferencja proaktywna (Halford, Maybery, Bain, 1988; Oberauer, Vockenberg, 2009) albo jest ona bardzo słaba (Carroll, Jalbert, Penney, Neath, Sur-

prenant, Tehan, 2010), i to niezależnie od stopnia ich podobieństwa fonologicznego (Tehan, Humphreys, 1995). McErlee (1998) interpretuje te dane na korzyść tezy o uprzywilejowaniu informacji znajdujących się w ognisku uwagi. Ich dostępność jest natychmiastowa i nie potrzeba do tego żadnych procesów wydobywania. Efekt ten jest jednak bardzo krótkotrwały: całkowicie eliminuje go zadanie dystrykcyjne wprowadzone pomiędzy ekspozycją ciągu elementów i bodźca docelowego.

Co prawda, Cowan przyjmuje procesualne wyjaśnienie ograniczenia w zakresie przechowywania informacji w WM, nadal jednak nie jest jasne, jaki jest jego poznawczy mechanizm. Badacz sam zauważa, że rozróżnienie między mechanizmem odświeżania danych i mechanizmem fokusowania ogniska uwagi jest wciąż trudne do empirycznego uchwycenia (Ricker, AuBuchon, Cowan, 2010). Pozostaje pytanie, czy rzeczywiście są to różne mechanizmy.

Pamięć robocza jako system uwagi

Współcześnie wiele modeli akcentuje uwagowy charakter nie tylko mechanizmów kontrolnych, ale również procesów uznawanych za pamięciowe (na przykład przez Baddeleya). Koncentryczny model pamięci roboczej Oberauera (2002) został zbudowany na podobnych założeniach jak model Cowana. Pamięć robocza jest *de facto* systemem uwagowym, którego zadaniem jest zapewnienie wybiórczego dostępu do przechowywanych informacji. Pamięć robocza składa się z obszarów o różnym poziomie aktywacji i – tym samym – o różnej dostępności. Są to trzy obszary: (1) potencjalnie odpowiednie reprezentacje pamięci długotrwałej, których poziom aktywacji jest wyższy niż reprezentacji niewzbudzonych, (2) obszar bezpośredniego dostępu (*direct access area*), obejmujący wzbudzone reprezentacje nielicznych obiektów oraz relacje między nimi, i (3) wyselekcjonowany dzięki zogniskowaniu uwagi (*focus of attention*) element, który jest włączany do bieżącego przetwarzania informacji.

Pomimo że w koncepcjach Cowana i Oberauera autorzy deklarują podobną liczbę obszarów aktywizacji danych pamięciowych, nieco inaczej przebiega linia demarkacyjna między nimi. Według Oberauera (2006) postulowane przez Cowana elastyczne ognisko uwagi obejmujące zmienną liczbę elementów nie znajduje potwierdzenia w wynikach badań. Oberauer twierdzi, że pamięć robocza mieści jeden i tylko jeden objęty ogniskiem uwagi i aktualnie przetwarzany element oraz – dodatkowo – kilka w obszarze bezpośredniego dostępu. Elementy te są powiązane z sobą połączeniami, które reprezentują relacje między nimi. W przypadku zadania Sternberga, jeśli nie ma innych wskazówek, jest to po prostu informacja o ich kolejności na liście, ale mogą to być inne informacje (na przykład kolor bodźców; por. Oberauer, 2001). W złożonych zadaniach poznawczych to właśnie wielość i złożoność relacji między nielicznymi elementami (na przykład w procesie wnioskowania przez analogię są to „tylko” dwa elementy) stanowi o trudności zadania.

Obszar bezpośredniego dostępu obejmuje 3–4 zaktywowane reprezentacje, których dostępność odpowiada pozycji w mentalnym układzie odniesienia (*mental coordinate system*). Jest to swego rodzaju przestrzeń umysłowa, gdzie są umiejscawiane elementy lub schemat z wolnymi miejscami, które mogą zostać zajęte przez wzbudzone informacje. Informacje te są dostępne w zależności od ich pozycji w układzie współrzędnych, którego podstawą jest poziom aktywacji. W eksperymentach nad przechowywaniem dwóch niedużych list cyfr, z których jedna miała być użyta w zadaniu arytmetycznym, a druga jedynie pamiętana, uzyskano wyniki wskazujące na przydatność zaproponowanego przez niego podziału (Oberauer, 2002). Podobnie McErlee (2001) twierdzi, że w ognisku uwagi może znajdować się tylko jeden element, a poza ogniskiem dostępne są jeszcze około 3–4 elementy. Analizując zjawisko przetargu między poprawnością a czasem wydobywania, McErlee zauważył, że dostępność (*availability*) reprezentacji informacji pogarsza się w sposób ciągły aż do osiągnięcia asymptoty. Szybkość przypominania jest z kolei zasadniczo dwuwartościowa: jest podobna dla wszystkich pozycji w serialnie prezentowanym materiale, z wyjątkiem ostatniego elementu, do którego czas dostępu jest istotnie krótszy.

Dociekając natury ograniczenia pojemności WM, Oberauer i Kliegl (2001) porównali pięć modeli będących propozycjami wyjaśnienia owej natury, to jest model limitowanych zasobów, magazynowy (stała pojemność wyrażona w liczbie jednostek informacyjnych), zaniku dostępu w funkcji czasu, interferencji wywołanej podobieństwem bodźców oraz rywalizacją pomiędzy elementami zestawu pamięciowego. W badaniach zastosowano paletę zadań wymagających odświeżania zawartości WM, manipulując obciążeniem pamięci. Najlepsze dopasowanie do danych empirycznych wykazały modele interferencji wywołanej podobieństwem i zaniku śladu pamięciowego w wyniku upływu czasu (z odświeżaniem jako mechanizmem zapobiegania zanikowi). Ze względu na prostotę Oberauer opowiada się jednak za pierwszym z tych modeli (zob. też Oberauer, Kliegl, 2006). W tych modelach źródłem ograniczenia pojemności WM jest interferencja wynikająca z podobieństwa między reprezentacjami kolejnych elementów pamięciowych. Skutkiem tego podobieństwa jest nadpisywanie cech nowo napływających bodźców, współdzielonych z cechami elementów przechowywanych w pamięci, albo swego rodzaju „zmiksowanie” reprezentacji podobnych elementów.

Teorie pamięci roboczej jako systemu uwagi, inspirowane pracami Cowana, doczekały się wielu innych interesujących rozwinięć. Na przykład Engle w swojej teorii uwagi kontrolującej (Engle, Kane, Tuholski, 1999) również przyjmuje założenia o jednorodnej naturze pamięci i aktywacyjnym mechanizmie krótkotrwałego przechowywania informacji. Dla Engle’a jednak zasadniczo najważniejszą strukturą WM jest uwaga kontrolna, sprawująca nadzór nad zadaniami systemu, wśród których jest również aktywowanie, utrzymywanie i hamowanie aktywacji informacji zawartych w LTM. To ostatnie zadanie odbywa się z uwzględnieniem bieżących celów oraz rozwiązywaniem konfliktów, które mogą pojawiać się w wyniku ich realizacji. Według Engle’a wydobywanie informacji z pamięci może odbywać się dzięki dwóm mechanizmom. Pierwszy jest rezultatem automatycznego rozprzestrzenia-

nia się pobudzenia, i choć proces ten sam w sobie nie wymaga udziału procesów kontrolnych, to dalsze przetwarzanie wzbudzonych informacji angażuje uwagę kontrolną. Drugim mechanizmem jest wydobycie informacji z LTM będące skutkiem kontrolowanego przeszukiwania. Engle i współpracownicy (1999) na poparcie tezy o podstawowej funkcji uwagi kontrolnej w pamięci roboczej skorzystali z wyników badań różnicowych i na podstawie analizy baterii zadań pamięciowych zidentyfikowali odrębne czynniki odpowiedzialne za pamięć roboczą i pamięć krótkotrwałą. Badaczom nie chodziło jednak o wykazanie odrębności tych konstruktów, lecz o uchwycenie w pierwszym przypadku współwystępowania funkcji przechowywania danych i kontroli przetwarzania, a w drugim – tylko przechowywania. Po wyeliminowaniu wariacji wspólnej dla obu rodzajów zadań różnicujący je czynnik uznali za czysty wskaźnik uwagi kontrolnej. Po skorelowaniu czynnika kontrolnego i pamięciowego z poziomem inteligencji płynnej (mierzonej Testem Matryc Progresywnych Ravena) okazało się, że istotny związek dotyczy tylko pierwszego z nich. W wielu innych badaniach uzyskano podobne rezultaty (Conway, Cowan, Bunting, Therriault, Minkoff, 2002; Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne, Engle, 2004). Założenie, że funkcje WM można sprowadzić do kontroli uwagowej, jest obecnie jednym z najgorętszych tematów badawczych. Problem jest jednak niesłychanie złożony, szczególnie w zakresie zrozumienia mechanizmu kontroli. Na razie nie wydaje się, żeby łatwo i szybko pojawiła się zgoda co do liczby i rodzaju tych funkcji, a tym bardziej w kwestii istoty owego mechanizmu.

Analiza krytyczna

Wydaje się, że są pewne obszary w teoriach WM, w których między badaczami istnieje zgoda. Przy bliższym przyjrzeniu się tym obszarom okazuje się jednak, że propozycje teoretyczne znacząco różnią się w kwestiach szczegółowych. Po pierwsze, niemal wszyscy badacze zgadzają się, że WM ma ograniczoną pojemność/wydajność (*capacity-limited*)¹, choć nie ma jasności co do tego, jakie są to ograniczenia, a przede wszystkim – jaka jest ich natura. W obliczu rozmiaru pamięci długotrwałej ograniczenie to jest na tyle duże, że właściwie pojemność WM można byłoby w tym kontekście zaniedbać. Problem jednak w tym, że gdyby ewolucja dokonała takiego zaniedbania, najpewniej stracilibyśmy w ten sposób zdolność wykonywania wszelkich złożonych zadań poznawczych albo zdolność ta zostałaby poważnie ograniczona. Cowan (1995) uważa, że aktywne w danym momencie mogą być nie więcej niż cztery elementy, co zdaniem Oberauera (2002) i tak jest przeszacowane. Fokus

¹ Zdaniem Cowana (2007) nie jest to jednak założenie powszechne. Istnieją teoretycy, którzy nie do końca podzielają to założenie, na przykład Ericsson i Kintsh (1995) w swojej koncepcji długotrwałej pamięci roboczej (*long-term working memory*) czy Meyer i Kieras (1997a; 1997b), autorzy teorii konfliktu (*theory of task conflict*).

uwagi zwykle obejmuje nie więcej niż jeden element pamięciowy, który jest przetwarzany w danym momencie. Różnice w szacowaniu pojemności pamięci roboczej są więc znaczące, choć nie zaskakują tak bardzo, jeśli uwzględni się różne kryteria ich szacowania, jakie brali pod uwagę ich autorzy. Wydaje się zatem, że WM jest systemem o niewielkiej pojemności, lecz o ogromnym znaczeniu dla rozlicznych zadań systemu poznawczego.

Nie ma zgody co do tego, jaka jest natura ograniczenia pojemności WM. Początkowo, wzorując się na modelach STM, ograniczenie to było rozumiane bardziej strukturalnie, jako górny limit pojemności każdego z buforów pamięciowych (*subsystems*) (Baddeley, Hitch, 1974). Tego typu ujęcie, mające źródła w magazynowej metaforze pamięci, może być atrakcyjne, gdyż pozwala łatwo generować wyjaśnienia wyników związanych z różnicami w przechowywaniu materiału różnych modalności. Na przykład Kieras i Meyer (1994; Kieras, Meyer, Mueller, Seymour, 1999) wyodrębniają *de facto* cztery magazyny pamięci roboczej przechowujące informacje: wzrokowe, słuchowe, dotykowe i motoryczne. Obecnie Baddeley (2007) nie akcentuje już tak dobitnie strukturalnej odrębności podsystemów WM, ale nie rezygnuje z ujęcia strukturalnego. Dopiero jednak teorie aktywacyjne dały możliwość interpretacji ograniczeń pojemności WM w kategoriach procesualnych, a nie strukturalnych, to jest jako skutek różnic indywidualnych w zakresie zdolności zarządczych (*executive ability*) czy kontroli uwagowej (*attentional control*; Conway, Engle, 1994; Engle, Kane, Tuholski, 1999; Engle, Tuholski, Laughlin, Conway, 1999; Kyllonen, Christal, 1990). Czynnikiem ograniczającym ilość informacji, która może być przechowywana i przetwarzana z udziałem WM, upatruje się również w dostępności zasobów (*available activation resources*), które mogą zostać przydzielone procesowi utrzymywania informacji (Engle, Cantor, Carullo, 1992; Just, Carpenter, 1992), szybkości procesów przetwarzania (*processing speed*; Salthouse, 1996) czy efektywności mechanizmu inhibicji (*inhibitory abilities*; Hasher, Lustig, Zacks, 2007; Hasher, Zacks, 1988; Stoltzfus, Hasher, Zacks, 1996; zob. też Cowan, 2007). Oberauer (2001; 2006) ograniczenie pojemności WM wiąże przede wszystkim z efektywnością radzenia sobie z interferencją, ale – być może – również z mechanizmem odświeżania zanikających śladów pamięciowych. Pojawia się także coraz więcej prób łączenia powyższych mechanizmów w ramach jednego zintegrowanego modelu. Przykładowo Barrouillet ze współpracownikami (Barrouillet, Bernardin, Camos, 2004) ujmuje wydajność WM w kategoriach zdolności do czasowego przydzielenia zasobów uwagowych informacjom przechowywanym lub procesom zachodzącym w WM. Bardzo niewielka pojemność WM nie jest więc skutkiem ograniczeń strukturalnych, lecz wynikiem limitu szybkości przetwarzania informacji w zakresie dzielenia limitowanych zasobów. Im bardziej efektywny jest czasowy podział zasobów, dzięki szybkiemu przenoszeniu ogniska uwagi z elementu na element oraz przełączania się między przetwarzaniem i przechowywaniem informacji, tym większa jest ich dostępność. Zasadnicza oś niezgody dotyczy tego, czy ograniczenie wydajności WM jest związane z limitowanymi możliwościami chwilowego przechowywania informacji, czy też efektywnej kontroli procesów ich przetwarzania. Osobny problem

to źródło tego ograniczenia. Trudno jednak odgadnąć, czy wynika ono z pułapu możliwości układu nerwowego (na przykład Miller, 1956), ograniczeń rozwojowych (Daneman, Merikle, 1996; Gathercole, Baddeley, 1993), czy też z optymalnego zastosowania ewolucyjnego do zmagania się z określonymi problemami (MacGregor, 1987; Elman, 1993).

Zakłada się, że nadzór nad funkcjonowaniem WM pełni mechanizm kontrolny mający najczęściej charakter uwagowy. Mechanizm ten ma co prawda status homunkulusa, ale wielu badaczy właśnie w jego sprawności upatruje podłoża różnic indywidualnych w wydajności WM. Problem jednak w tym, że nie ma zgody co do szczegółowej listy procesów kontrolnych realizowanych przez system kontrolny WM. Miyake i Shah (1999) wyróżnili trzy podstawowe funkcje kontrolne WM, to jest hamowanie (*inhibition*), przełączanie między zadaniami (*task-switching*) i aktualizacja zawartości pamięci roboczej (*updating*). Analizy czynnikowe i korelacyjne przeprowadzone przez Miyake i współpracowników (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, Wager, 2000) potwierdziły trzyczynnikową strukturę kontroli w pamięci roboczej, co – rzecz jasna – nie zamyka problemu. Badania Oberauer wykazały, że efektywność aktualizacji słabo koreluje z pozostałymi funkcjami kontrolnymi, dlatego też badacz proponuje wyłączenie jej z tej listy, przynajmniej do momentu opracowania nowych zadań poznawczych (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007). Istniejące zadania diagnozujące efektywność procesu aktualizacji informacji w WM, na przykład zadanie *n-wstecz* (*n-back*), angażują bowiem jednocześnie przechowywanie i przetwarzanie danych, w związku z tym są miarami raczej wydajności, niż samej aktualizacji. Uznane miary kontroli poznawczej, takie jak przełączanie między zadaniami (*switching of task-set*), są słabo powiązane z wydajnością WM (Oberauer, Süß, Wilhelm, Wittman, 2003), co wskazuje na niedojrzałość koncepcji funkcji zarządczych w modelach WM, bynajmniej jednak nie wyklucza ich udziału w procesach pamięciowych. Wydaje się, że jeżeli funkcje zarządcze mają być częścią systemu pamięci roboczej, to powinny posiadać jakąś specyfikę, która będzie je odróżniać od kontroli innych procesów poznawczych. To mogłoby tłumaczyć brak związków miar wydajności WM z poziomem wykonania niektórych „typowych” zadań na kontrolę uwagową.

Problem dotyczący kontroli poznawczej w pamięci roboczej polega na tym, że pod tym nowoczesnie brzmiącym pojęciem prawdopodobnie kryje się homunkulus (zob. Miyake, Shah, 1999; Conway, Jarrold, Kane, Miyake, Towse, 2007). Wszelkie wersje centralnego systemu kontrolnego odpowiedzialnego za planowanie, monitoring i regulację procesów zachodzących w pamięci roboczej wydają się obarczone cichym założeniem, że w naszym umyśle mieszka „ktoś”, kto jest sprawcą owej kontroli. Badacze wkładają wiele wysiłku w rozwiązanie tego problemu, na przykład traktując kontrolę jako immanentną właściwość samowystarczalnego, dynamicznego systemu (*self-contained dynamic interactive network*; Munakata, Morton, O'Reilly, 2007). W tym momencie nie można jednak uznać, że kwestia ta została satysfakcjonująco rozwiązana. Jest też czysto teoretyczny temat relacji pamięć – uwaga, który docelowo powinno się rozwiązać, w tym bowiem momencie granice między nimi

coraz bardziej się rozmywają. Być może docelowo trzeba będzie zrezygnować z któregoś z tych pojęć albo ponownie dokonać redefinicji co najmniej jednego z nich. A być może koncepcje pamięci roboczej nie obejdują się bez uwagi kontrolnej, co w świetle historii tych pierwszych wydaje się bardzo prawdopodobne. Mechanizm kontrolny był przecież obecny już w koncepcjach pamięci krótkotrwałej, a Baddeley i Hitch (1974) jeszcze tę obecność ugruntowali, odwołując się do modelu Normana i Shallice'a (1986), którego składową jest nadzorczy system uwagowy (*supervisory attentional system*). Nowsze badania, prowadzone z użyciem technik neuroobrazowania, pokazują, że zadania angażujące pamięć przestrzenną i uwagę przestrzenną aktywują – w pewnej części – wspólne obszary mózgowie (Corbetta, Kincade, Shulman, 2002). Wydaje się zatem, że jest szansa na redukcję, a nie mnożenie hipotetycznych struktur poznawczych.

Istotne wydaje się również to, nad czym sprawowana jest kontrola, nie są to bowiem wyłącznie procesy związane z krótkotrwałym utrzymaniem danych. Te ostatnie są istotne, ale głównie w kontekście przetwarzania kierowanego celem (*goal-directed processing*). Wielu badaczy (zob. Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007) wyraźnie akcentuje podział na pierwotne procesy poznawcze (*primary cognitive processes*), wykonywane na reprezentacjach aktualnie przechowywanych w podsystemach pamięciowych (Baddeley) czy objętych fokusem uwagi (Cowan, Engle, Oberauer), oraz procesy zarządcze (*executive processes*), których zadaniem jest inicjowanie i monitorowanie poprawności realizacji procesów pierwotnych z punktu widzenia realizacji celów. Zaniedbywanie celu jest uznawane za jeden z przejawów słabej kontroli w WM.

Wśród badaczy istnieje zgoda co do podstawowej roli pamięci roboczej w efektywnym przebiegu procesów wyższego rzędu (*higher-order cognition*). Zarówno Baddeley (Baddeley, Hitch, 1974), jak i jego adwersarze, na przykład Cowan (2005c), Oberauer (2001) czy Conway (Conway, Jarrold, Kane, Miyake, Towse, 2007), podkreślają zgodnie, że pamięć robocza, wraz z jej ograniczeniami, odgrywa zasadniczą rolę w poznaniu wyższego rzędu; bierze udział w abstrakcyjnym myśleniu, a konkretniej w planowaniu, rozumowaniu, rozwiązywaniu problemów, podejmowaniu decyzji, czytaniu czy – bardziej ogólnie – przetwarzaniu języka oraz arytmetyce mentalnej. Korzystamy z niej również w „większości innych typów zadań poznawczych” (Cowan, 2005a, s. 2), co uwiarygodnia motywację do badań naukowych pamięci roboczej w różnych obszarach psychologii (i nie tylko psychologii), lecz może budzić obawy, że ponownie mamy do czynienia z przeformułowanym problemem homunkulusa.

Wyniki wielu badań pokazują, że to wydajność pamięci roboczej jest najlepszym pojedynczym predyktorem zdolności rozumowania (Kyllonen, Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, Schulze, 2002) oraz – powiązanego z nią – poziomu inteligencji płynnej (Ackerman, Beier, Boyle, 2002; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, Minkoff, 2002; Engle, Tuholski, Laughlin, Conway, 1999; Fry, Hale, 1996). Podstawowe pytanie, jakie stawiają sobie badacze zajmujący się tą tematyką, nie brzmi, czy związek ten istnieje, lecz co się za nim kryje i w jakim stopniu poszerza to naszą

wiedzę zarówno o pamięci roboczej, jak i o wyższych procesach poznawczych. Wyjaśnienie tej zagadki nie jest proste, choćby ze względu na złożoność i niejednorodność funkcjonalną, a może i strukturalną WM. Wśród badaczy są zwolennicy poglądu, że za ten związek odpowiada wyłącznie mechanizm zarządczy WM, inni z kolei wyjaśnień poszukują w sprawności elementarnych procesów poznawczych (przegląd: Chuderski, Orzechowski, 2005). Jedni i drudzy mają sporo danych, aby podeprzeć swoje stanowiska, lecz nieco mniej falsyfikujących stanowisko alternatywne.

Pomiar zakresu pamięci roboczej

Zadania służące do pomiaru zakresu pamięci roboczej (*span task*) to grupa zadań badających pojemność WM, opierających się na diagnozie maksymalnego możliwego jej obciążenia (Vandierendonck, De Vooght, Van der Goten, 1998; Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, Engle, 2006). Ten rodzaj zadań został pierwotnie zaprojektowany do określania pojemności pamięci krótkotrwałej (*simple span task*) bądź sprawności przetwarzania informacji (*complex span task*). W badaniach dotyczących pamięci roboczej zmodyfikowano te procedury, wymagając od osób badanych nie tylko przechowywania informacji, ale dodatkowo wykonywania określonych operacji na przechwywanym materiale. W poszczególnych procedurach wykorzystuje się różny materiał (na przykład werbalny, niewerbalny, równania matematyczne), a także różne metody szacowania zakresu pamięci roboczej. Najpopularniejsze odmiany tego zadania to zakres czytania (*reading span*; Daneman, Carpenter, 1980), zakres operacyjny (*operation span*; Turner, Engle, 1989), zakres liczenia (*counting span*; Case, Kurland, Goldberg, 1982) oraz procedura przekraczania zakresu (*supra span*; Drachman, Zaks, 1967; Vandierendonck, De Vooght, Van der Goten, 1998). W wielu przypadkach w badaniach nad pamięcią roboczą wykorzystuje się klasyczne procedury zakresu skonstruowane w paradygmacie zadań jednoczesnych. Przykładowo w zadaniu na zakres czytania zadaniem osoby badanej jest zazwyczaj głośne odczytywanie kolejnych zdań oraz jednoczesne zapamiętywanie i podtrzymywanie w pamięci ostatniego słowa z każdego z tych zdań.

Obok zadań jednoczesnych w badaniach różnych funkcji WM stosuje się również miary sprawności pamięci roboczej, które nie wymagają użycia paradygmatu zadań jednoczesnych, choć – jak się zakłada – wymagają zarówno przechowywania, jak i przetwarzania informacji. Przykładami tego rodzaju procedur są zadania *n-wstecz* (*n-back*; Cohen, Perlstein, Braver, Nystrom, Noll, Jonides, Smith, 1997) i pamięci bieżącej (*running memory*; Mayes, 1988). Zadanie *n-wstecz* wymaga detekcji w ciągu kolejno prezentowanych bodźców powtórzeń tylko na określonej (na przykład drugiej albo trzeciej) pozycji od końca ciągu. Oprócz przechowywania w pamięci zbioru prezentowanych bodźców zadanie wymaga ciągłej aktualizacji tego zbioru, z każdą bowiem kolejną ekspozycją zmienia się element będący na danej pozycji *n-wstecz*. Zadanie pamięci bieżącej polega z kolei na odtworzeniu ostat-

nich kilku bodźców długiego ciągu elementów lub rozpoznaniu wystąpienia wzorca wśród nich. Trudność polega na tym, że nie można przewidzieć, które elementy będą tymi ostatnimi w ciągu, ponieważ jego długość jest losowa. Zadanie wymaga zatem uaktualniania pamięci roboczej, czyli aktywnego „pozbywania się” starszych, to jest już niepotrzebnych elementów, nie tylko po to, aby zrobić miejsce na kolejne, ale przede wszystkim, aby zmniejszyć siłę interferencji proaktywnej. Bodźce irrelewantne, zalegające w WM, zwiększają bowiem ryzyko fałszywych alarmów, czyli reakcji pozytywnych w warunkach nieobecności bodźca docelowego.

Co ciekawe, badania wskazują, że związek pomiędzy zadaniami badającymi WM i STM jest silniejszy, ale też bardziej złożony, niż początkowo sądzono (por. Colom, Abad, Rebollo, Shih, 2005). Przykładowo przechowywanie informacji w zadaniach, w których należy zapamiętywać informację przestrzenną (na przykład położenie kropek w matrycy) lub odpamiętywać informację nieprzestrzenną według przestrzennego klucza (na przykład cyfry leżące na określonych, wskazanych wcześniej pozycjach w macierzy), jest bardzo wysiłkowe i w dużym stopniu angażuje procesy kontrolne pamięci roboczej. Zadania na przechowywanie informacji przestrzennej okazują się więc dobrymi testami pamięci roboczej, wysoko korelującymi z innymi, bardziej standardowymi jej miarami, nawet gdy nie zawierają zadania dodatkowego (Oberauer, 2005b). Również zadania werbalne, na przykład klasyczny eksperyment Sternberga (1966), pod warunkiem ograniczenia cichego powtarzania oraz zablokowania lub kontrolowania możliwości zbrylania informacji, wydają się trafnymi testami sprawności pamięci roboczej (Cowan, Elliott, Saults, Morey, Mattox, Hismjatullina, Conway, 2005).

Zadanie Saula Sternberga jako miara pamięci roboczej

Jedną z metod eksperymentalnych, stosowanych w badaniach nad krótkotrwałymi procesami pamięciowymi, jest zadanie wymagające przeszukiwania pamięci (Sternberg, 1966; 1969a). Operacyjnie rzeczy ujmując, zadanie wymaga rozpoznania, czy tak zwany element testowy (*test stimulus/probe*²) znajdował się w eksponowanym bezpośrednio przed nim ciągu elementów. W podstawowej wersji tego zadania w każdej próbie sekwencyjnie jest prezentowany ustalony albo zmienny zestaw bodźców (na przykład cyfr, liter, słów). W badaniach z 1966 roku Sternberg użył wariantu zadania ze zmiennym zestawem bodźców, w którym kolejne elementy były prezentowane w tempie co 1200 ms, przy czym ich ciąg mógł zawierać od jednego do sześciu elementów. Po zakończeniu ekspozycji wszystkich elementów zestawu i dwusekundowej przerwie jest prezentowany bodziec testowy, a zadaniem osoby

² Dla ułatwienia wyjątkowo będę używać dwóch terminów anglojęzycznych: *probe* na oznaczenie bodźca testowego oraz *target* na oznaczenie elementu zbioru pamięciowego zgodnego z bodźcem testowym.

badanej jest udzielenie odpowiedzi, czy znajdował się on w ostatnio zaprezentowanym zestawie. Do wyboru są dwie możliwości reakcji: „tak” (próba zgodna, gdyż występowała zgodność bodźca testowego z jednym z elementów zestawu) albo „nie” (próba niezgodna, oznaczająca brak owej zgodności). Standardowo pomiarowi podlega czas reakcji i poprawność, choć ta ostatnia jest zwykle na tyle wysoka, że wskazuje na efekt sufitowy. W klasycznej wersji zadania, użytej przez Sternberga, plan eksperymentalny miał dwa czynniki: 6 (rozmiar zbioru elementów: 1–6) x 2 (rodzaj próby: zgodna albo niezgodna). Zakłada się, że osoba badana musi krótkotrwanie zapamiętać dany zestaw, a następnie dokonać przeszukania pamięci, aby udzielić odpowiedzi na pytanie testowe.

Wyniki tego zadania oraz wnioski wyprowadzone na ich podstawie przez Sternberga (1966) znajdują się bodaj w każdym podręczniku psychologii poznawczej, niemniej początkowo okazały się pewnym zaskoczeniem. O ile bowiem rezultat przyrostu czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru był przewidywany przez badacza, o tyle brak istotnych różnic w czasie reakcji pomiędzy próbami zgodnymi i niezgodnymi był sprzeczny z hipotezami. Zdaniem Sternberga wyniki potwierdziły założenie, że przeszukiwanie STM jest procesem sekwencyjnym, o czym miał świadczyć pierwszy z uzyskanych wyników. Drugi wynik przeczył jednak hipotezie badacza, że przeszukiwanie ma charakter samowygaszający w próbach zgodnych, a wyczerpujący w niezgodnych. Założenie to miało racjonalne podłoże, wydaje się bowiem, że przeszukiwanie powinno zostać przerwane w momencie odnalezienia elementu zbioru, który jest zgodny z bodźcem testowym, czyli – o ile osoba badana nie popełnia błędu – wyłącznie w warunku zgodnym; próby niezgodne wymagają przeszukania całego zbioru, aby stwierdzić, czy nie ma w nim elementu zgodnego z bodźcem testowym. Te dwa tryby przeszukiwania generują różne predykcje dla czasu reakcji w warunkach identycznego obciążenia STM: przeszukanie zbiorów zawierających bodziec docelowy (*target*) powinno być istotnie szybsze niż zbiorów negatywnych, ponieważ kończy się średnio po przeszukaniu połowy zestawu. Sternberg zakładał, że funkcja (najprawdopodobniej liniowa) czasu reakcji od wielkości zestawu w warunku zgodnym będzie miała mniejsze nachylenie niż w warunku niezgodnym. Inaczej mówiąc, wraz ze wzrostem wielkości zbioru różnica w czasie reakcji między warunkiem zgodnym i niezgodnym będzie się zwiększać. Nic takiego nie wystąpiło.

Konkluzje z badań Sternberga (1966) dotyczyły głównie charakterystyki procesu przeszukiwania pamięci krótkotrwałej. Wyniki wskazywały, że przeszukiwanie STM jest procesem sekwencyjnym i wyczerpującym. Ten drugi rezultat badacz próbował wyjaśnić stopniem automatyzacji procesu przeszukiwania, którego koszt wygaszenia, po stwierdzeniu zgodności *probe* z jednym z elementów zestawu, byłby zbyt duży. W związku z tym, niezależnie od rodzaju próby, zawsze jest przeszukiwany cały zbiór. Jak widać, dla badacza przede wszystkim były interesujące analizy pozwalające na ustalenie dwóch formalnych parametrów procesu przeszukiwania pamięci, to znaczy architektury procesu (sekwencyjnej albo równoległej) i reguły stopu procesu (wyczerpującej albo samowygaszającej). Nie są to wszystkie parametry funkcjonowania systemu, które są istotne dla jego formalnego opisu (oraz nie są

to wszystkie możliwości, na przykład w zakresie architektury procesu). Van Zandt i Townsend (1993) uwzględniają jeszcze wydajność systemu (limitowaną, Nielimitowaną, superwydajną). Jeżeli przyjąć rozumienie wydajności zaproponowane na przykład przez Townsenda i Ashby'ego (1983) jako tempa przetwarzania, czyli stosunku ilości informacji przetworzonej do czasu przetwarzania, to każda z trzech wymienionych cech systemu może być analizowana na podstawie wskaźników czasu reakcji (*reaction time*, RT).

W kolejnym eksperymencie Sternberg manipulował dodatkowo poziomem degradacji bodźców. Celem tej manipulacji było testowanie hipotez dotyczących formy reprezentacji informacji w pamięci krótkotrwałej. Dylemat dotyczył wizualnej vs werbalnej reprezentacji informacji. Założono, że jeśli pamięć krótkotrwała operuje na kodzie wizualnym, mimo że bodźcami są na przykład cyfry, to degradacja bodźców spowoduje zwiększenie nachylenia funkcji czasu od wielkości zbioru pamięciowego (*set size*, SS) w porównaniu z warunkiem kontrolnym (niezdegradowanym). Miało to wynikać z większej złożoności procesu porównania zdegradowanych bodźców wizualnych, które mimo innego wyglądu semantycznie wykazują zgodność, a zatem konieczne jest ich głębsze przetworzenie w fazie porównania niż bodźców kontrolnych. Jeśli jednak bodźce są kodowane werbalnie (czy jakkolwiek symbolicznie), degradacja nie powinna wpłynąć na fazę porównywania, lecz wydłuży fazę kodowania informacji. Wówczas, nie zwiększając nachylenia funkcji RT(SS), istotnie wydłuży się czas reakcji w każdym ze zdegradowanych warunków zadania. Wyniki okazały się niekonkluzywne. Niemniej we wszystkich przeprowadzonych przez Sternberga badaniach powtarzał się efekt liniowego przyrostu czasu w funkcji wielkości zbioru, zasadniczo niezależny od tego, czy próby były zgodne, czy niezgodne. Chwilowo zawiesimy jednak rozważania nad mechanizmami procesu przeszukiwania pamięci roboczej z użyciem zadania Sternberga. Wrócimy do tego problemu w II części monografii.

Można zaryzykować tezę, że zadanie Sternberga zostało odkryte na nowo w kontekście badań nad pamięcią roboczą. Co prawda, pryncypialnie podchodząc do rzeczy, zadanie to należy uznać za miarę funkcjonowania STM. W badaniach z wykorzystaniem modelowania równań strukturalnych (*structural equation modelling*, SEM) zadanie Sternberga zwykle pojawia się właśnie jako miara pamięci krótkotrwałej. Badania wskazują jednak na silne korelacje między zadaniem Sternberga a różnymi miarami WM, dlatego też obecnie zadanie to jest uznaną miarą WM w badaniach behawioralnych (Oberauer, 2001; 2005b; Vinkhuyzen, van der Sluis, Boomsma, Geus, Posthuma, 2010) i neurobiologicznych (Brookes, Wood, Stevenson, Zumer, White, Liddle, Morris, 2011; Monks, Thompson, Bullmore, Suckling, Brammer, Williams, Simmons, Giles, Lloyd, Harrison, Seal, Murray, Ferrier, Young, Curtis, 2004; Wilde, Newsome, Bigler, Pertab, Merkle, Hantén, Scheibel, Li, Yallem-palli, Hunter, Levin, 2012). Wynika to zapewne z udziału mechanizmu kontrolnego w wykonaniu tego zadania. Ponieważ zakres tego, co jest interesujące w zadaniu Sternberga od pierwszych badań autora do dziś (por. Paulewicz, 2010), obejmuje głównie formalne charakterystyki procesu przeszukiwania pamięci, analiza mecha-

nizmów kontrolnych w tym zadaniu doczekała się tylko nielicznych opracowań. Według Oberauer (2001) zadanie Sternberga wymaga kontroli procesu aktualizacji informacji w WM. Wydaje się zatem, że zadanie Sternberga angażuje zarówno pamięciowe, jak i uwagowe zasoby systemu pamięci roboczej. W pierwszej serii badań zadanie to wykorzystano do weryfikacji predykcji wyprowadzonych z dwóch, zasadniczo odmiennych, modeli WM – wielokomponentowego modelu Baddeleya i aktywacyjnego modelu Cowana.

Struktura i ograniczenia pamięci roboczej – badania własne

W badaniach własnych nad funkcjonowaniem WM przydatną mapą problemu okazały się kryteria analizy podobieństw i różnic między różnymi koncepcjami WM zaproponowane przez Miyakego i Shaha (1999). Autorzy wyróżnili ich osiem: (1) podstawowe mechanizmy i sposób reprezentacji informacji w WM, (2) sposób kontroli i regulacji funkcjonowania WM, (3) jednorodność vs niejednorodność konstruktów WM, (4) natura ograniczeń WM, (5) rola, jaką odgrywa WM w złożonej aktywności poznawczej, (6) związek WM z pamięcią długotrwałą (LTM), (7) związek WM z uwagą i świadomością, oraz (8) biologiczne podłoże WM. W pierwszej serii badań własnych podjęto dwa z nich: problemy (3) jednorodności vs niejednorodności konstruktów WM i (4) natury ograniczeń WM. Kolejne dwie serie eksperymentów poświęcono – odpowiednio – problemowi (1) podstawowych mechanizmów i sposobu reprezentacji informacji w WM oraz (5) roli, jaką odgrywa WM w złożonej aktywności poznawczej. Problemy te zostały jednak istotnie ograniczone. Kwestię podstawowych mechanizmów WM zawężono do mechanizmów związanych z przechowywaniem i wydobywaniem informacji dzięki operacji przeszukiwania. Związki WM z poznaniem wyższego rzędu analizowano z kolei przede wszystkim w odniesieniu do wnioskowania przez analogię, choć w mniej klasycznym ujęciu.

Pierwszym zagadnieniem podjętym w ramach badań własnych, któremu przyjrzymy się teraz bliżej, jest problem struktury pamięci roboczej rozumianej jako jednorodność vs niejednorodność systemu WM. Podstawowe pytanie, jakie sobie zadano, dotyczy liczby podsystemów zakładanych w różnych modelach WM oraz – jeśli jest ich wiele – ich wzajemnych relacji. Wydaje się, że nie ma takiej koncepcji pamięci roboczej, która byłaby idealnie jednorodna. W każdej wyróżnia się pewną liczbę podsystemów pełniących zasadniczo różne funkcje. Wynika to z natury samego konstruktów – trudno wyobrazić sobie system, który w obrębie jednej struktury realizowałby funkcje przechowywania informacji oraz kontroli poznawczej. Niemniej pytanie o jednorodność wyróżnionych podsystemów wydaje się zasadne, i to zarówno w przypadku funkcji pamięciowych, jak i kontrolnych. W pierwszej serii badań skupiono się na jednorodności systemu pamięciowego, wychodząc od podstawowej sprzeczności między wielokomponentowym modelem Baddeleya (*multi-component*

model) a procesualnym modelem Cowana (*embedded-processes model*). W pierwszym zakłada się strukturalną odrębność pamięci długo- i krótkotrwałej, a w STM – odrębność podsystemów operujących różnym formatem danych. Zakłada się ponadto odrębność podsystemu danych zintegrowanych (*integrated episodes*). W drugim przyjmuje się, że system pamięciowy jest strukturalnie jednorodny. Co prawda pamięć jest funkcjonalnie zróżnicowana, ale zarówno procesy krótko-, jak i długotrwałego przechowywania realizowane są w obrębie jednej struktury. Odwołując się do mechanizmów aktywacji, można z powodzeniem wyjaśnić dane, które uprzednio interpretowano na rzecz odrębności systemów STM i LTM; w ujęciu procesualnym są one tylko wskaźnikami różnych stanów jednorodnego systemu pamięciowego. Dane zaś wskazujące na pogorszenie poziomu wykonania zadań jednoczesnych, kiedy dwa zdania operują w tym samym kodzie, w porównaniu do przetwarzania różnych kodów (Baddeley, 1986) nie są dowodem odrębności dedykowanych im struktur pamięciowych. Wyniki te mogą być skutkiem interferencji między zdaniami jednoczesnymi, silniejszej – kiedy obydwa angażują reprezentacje tej samej modalności. Wyjaśnienie to obywat się bez jakichkolwiek założeń co do liczby systemów, czyli dobrze pasuje do modelu jednorodnego. Dane neurobiologiczne, które wskazują na zróżnicowanie aktywności mózgowej w zadaniach pamięciowych z użyciem różnego rodzaju materiału (Jonides, Lacey, Nee, 2005; Postle, D'Esposito, 1999), również nie są wystarczającym dowodem odrębności podsystemów WM. Wydaje się, że to właśnie pamięć robocza jest „polem”, w którym są badane relacje między informacjami czy też dokonuje się ich integracja. Warto zaznaczyć, że Cowan twierdzi, iż nie jest wykluczone, że system pamięciowy jest zróżnicowany; nawet sam przyznaje, że konkretny bodziec – szczególnie jeśli jest złożony – może być kodowany na wiele różnych sposobów (Cowan, 2001). Towarzyszy temu aktywacja różnych systemów pamięci trwałej, ale niekoniecznie każdemu z nich musi odpowiadać wyspecjalizowany podsystem pamięci roboczej, a takie założenie wydaje się przyjmować Baddeley. Zatem dopóki posiadane dane dają się wyjaśnić w modelu jednorodnego systemu, należałoby choćby roboczo przyjąć to wyjaśnienie jako prostsze.

Drugi problem, który podjęto w tej części pracy, dotyczy podstawowego mechanizmu funkcjonowania pamięci roboczej i – w konsekwencji – natury ograniczenia WM oraz relacji między WM a LTM. W modelu Cowana funkcjonowanie WM opiera się na sterowanym centralnie mechanizmie aktywacji: pamięć robocza jest chwilowo aktywną częścią informacji zawartej w LTM. Tym samym model nie wymaga założenia o strukturalnej separacji WM i LTM. Zasadniczą właściwością śladów pamięciowych jest poziom ich aktywacji decydujący o ich dostępności w bieżącym przetwarzaniu i świadomości. Również ograniczenie pojemności WM jest wynikiem specyfiki mechanizmu aktywacyjnego – limitowana pojemność jest skutkiem ograniczonego zakresu fokusu uwagowego oraz spadku aktywacji w funkcji czasu. Są to ograniczenia o charakterze uwagowym. W modelu Baddeleya dość twardo przyjmuje się założenie o odrębności systemów WM i LTM, co jest prostą konsekwencją metafory magazynowej, na której opiera się ten model. Pamięć robocza bierze aktywny udział w kodowaniu i wydobywaniu informacji z LTM i – jeśli

jest to konieczne – pośredniczy w rekodowaniu jej z jednego kodu (na przykład semantycznego) do innego (na przykład wizualnego). Kodowanie informacji w LTM może zachodzić bez udziału procesów kontrolnych oraz angażowania podsystemów pamięciowych WM, czego dowodem jest na przykład mimowolne uczenie się, które trudno wyjaśnić w tym modelu. Model Cowana dość dobrze radzi sobie z tym problemem. Ze względu na wielość funkcji realizowanych przez WM Baddeley uważa mechanizm aktywacji za niewystarczający do wyjaśnienia jej funkcjonowania. Postulowane przez badacza struktury pamięciowe są wyposażone w bardziej wyrafinowane mechanizmy kodowania, podtrzymywania oraz wydobywania informacji, niż występuje to w modelu Cowana.

Trzecia kwestia dotyczy również natury ograniczeń WM, ale w konkretnym wymiarze jej pojemności. Pomimo konkretności tego problemu, nie jest on banalny między innymi ze względu na niejasność kryteriów szacowania tej pojemności oraz „jednostek miary”, w których miałyby ona się wyrażać. Jak wspomniano, poza różnicami w zakresie metodologii badań zróżnicowane wyniki szacowania pojemności WM są wynikiem przyjęcia innych założeń, na przykład prawdopodobieństwa odtworzenia, czasu retencji, miar pojemności informacyjnej itd. Przy czym warto zaznaczyć, że nie jest to tylko problem metryczny. Z poszczególnych koncepcji wynikają różne predykcje co do pojemności WM, które mogą być użyte jako argument w dyskusji na temat ich trafności.

Z góry warto zaznaczyć, że prezentowane poniżej wyniki nie rozstrzygają żadnego z tych problemów. Z pokorą trzeba przyjąć taką ewentualność, że w ogóle nie da się ich rozstrzygnąć, gdyż na przykład są źle postawione i wymagają nie tyle kolejnych prób rozstrzygnięcia, ile redefinicji. Badania własne, zaprezentowane w I części pracy, oparto na różnych wariantach zadania Sternberga (*item-recognition task*; Sternberg, 1966). Pierwsza grupa badań (eksperymenty 1.1–1.4) dotyczyła testowania wybranych predykcji teorii aktywacyjnych, formułowanych – o ile było to możliwe – w kontraście do predykcji wynikających z modelu wielokomponentowego. Predykcje te odniesiono do problemu struktury pamięci roboczej z naciskiem na poznawczy mechanizm krótkotrwałego podtrzymywania informacji.

Eksperyment 1.1. Pojemność pamięci roboczej w zależności od modalności materiału, rozmiaru zbioru pamięciowego i tempa prezentacji³

W pierwszym eksperymencie poddano analizie pojemnościowe charakterystyki pamięci roboczej z uwzględnieniem rodzaju przechowywanego materiału i tempa eks-

³ Eksperymenty 1.1 i 1.2 zrealizowano w ramach projektu badawczego „Struktura pamięci roboczej – weryfikacja dwufazowego modelu przeszukiwania pamięci w świetle wybranych koncepcji pamięci roboczej” finansowanego ze środków na BS 2003 Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej.

pozycji, wywiedzione z efektów pozycji w zadaniu Sternberga (Orzechowski, 2003). Był to zarazem eksperyment, który pozwolił na wyprowadzenie względnie precyzyjnych predykcji, dotyczących oczekiwanej poprawności reakcji w eksperymencie 1.2, który poświęcono głównej osi sporu między teoriami wielomodalnościowymi, przyjmującymi wielość strukturalnie odrębnych systemów pamięciowych, i aktywnymi, z jednorodnym systemem pamięciowym w WM.

Zgodnie z założeniami teorii aktywacyjnych, pojemność krótkotrwałego systemu pamięciowego jest wynikiem ogniskowania uwagi, które prowadzi do wzrostu pobudzenia wyselekcjonowanych elementów. Pobudzenie to spada w funkcji czasu, czemu system kontrolny może zapobiegać, ogniskując fokus uwagi na materiale. Ze względu na limitowany zakres pojemności fokusu uwagowego, mogą to być tylko nieliczne z niekiedy wielu informacji podlegających bieżącemu przetwarzaniu (mogą nimi być nie tylko reprezentacje obiektów, ale również wybrane ich cechy czy relacje zachodzące między nimi). To, czy zostaną wyselekcjonowane właściwe elementy, w dużej mierze decyduje o efektywności pracy całego systemu. W teoriach wielomodalnościowych mechanizm ten jest zupełnie inny. Zakłada się, że w podsystemach pamięciowych dedykowanych przechowywaniu informacji określonej modalności funkcjonują odrębne mechanizmy odświeżania, oparte na wewnętrznych powtórkach. Uwaga pełni funkcje kontrolne, ale nie uczestniczy bezpośrednio w odświeżaniu zawartości magazynów.

Pierwszy problem badawczy dotyczy pojemności WM. Biorąc pod uwagę szacunki w tej kwestii wynikające z koncepcji Baddeleya i Cowana, badacze nie różnią się znacząco, choć zasadniczo różnie wyjaśniają mechanizm ograniczenia pojemności WM. W nowszych pracach obydwaj badacze określają ją na około cztery porcje informacji, przy czym dopuszcza się pewne zróżnicowanie, wynikające na przykład z modalności czy złożoności materiału. Kontrowersje co do pojemności WM zachodzą natomiast w obrębie różnych koncepcji aktywacyjnych. Są one konsekwencją prób oszacowania pojemności poszczególnych obszarów WM różniących się poziomem dostępu. W kwestii pojemności ogniska uwagi – u Cowana są to cztery jednostki, McErliee uważa, że maksymalnie trzy, a Oberauer – że jedna. Oberauer dopuszcza jednak, iż w obszarze bezpośredniego dostępu (informacji aktywnej, ale poza ogniskiem uwagi) aktywnych może być dodatkowo do trzech elementów. Jak się wydaje, główne kontrowersje dotyczą pojemności struktury najbardziej aktywnego obszaru pamięci roboczej. Jeżeli Cowan ma rację, efekty pozycji w zadaniu Sternberga powinny wskazywać na równomierny spadek poprawności wraz z pozycją *targetu* na liście. Jeżeli jednak Oberauer ma rację, to poprawność powinna istotnie się obniżyć pomiędzy elementami znajdującymi się na ostatniej i przedostatniej (oraz dalszych) pozycji, co świadczyłoby o różnicy pomiędzy fokusem uwagi a obszarem bezpośredniego dostępu.

Drugi problem dotyczy charakterystyki przeszukiwania WM w zależności od jej obciążenia (*cognitive load*). Z założeń modeli przeszukiwania limitowanego zasobami (na przykład ACT-R – Anderson, Lebiere, 1998; CAPS – Just, Carpenter, 1992; *time-based resource-sharing model* – Barrouillet, Bernardin, Camos, 2004) wynika,

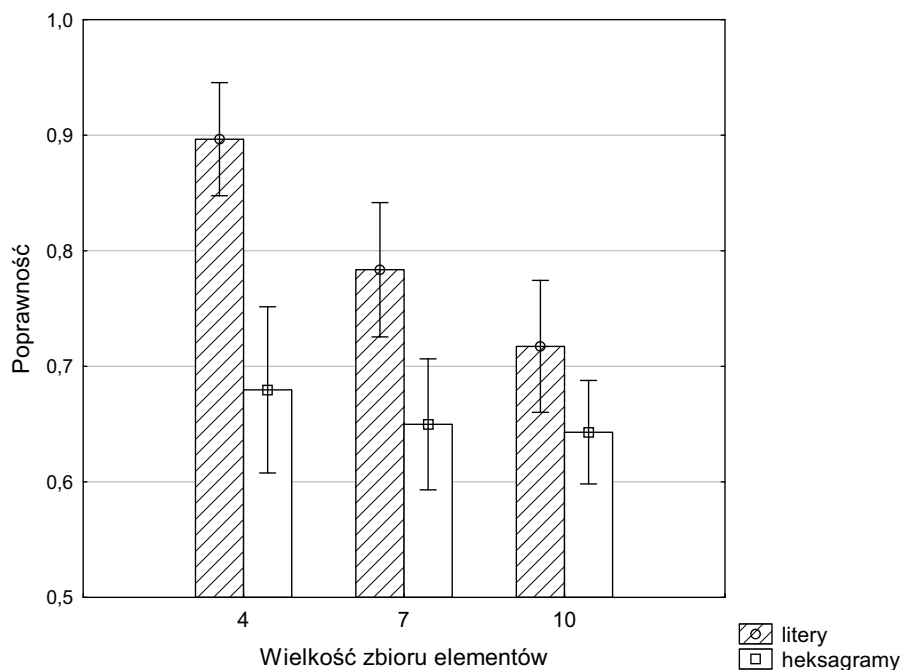
że im większe obciążenie pamięci w sensie liczby dyskretnych porcji informacji czy też konkurencyjnych procesów przetwarzania informacji, tym mniej zasobów może zostać przeznaczonych na każdy z nich. W rezultacie jest obserwowane spowolnienie czasu reakcji, a przy obciążeniu pamięci na granicy jej wydolności – pogorszenie poprawności reakcji. Teorie zasobowe, mające wielu przeciwników ze względu na ich metaforyczny charakter, wydają się dobrze wyjaśniać niektóre dane. Na przykład w badaniach z użyciem techniki fMRI przeprowadzonych w zespole Justa (Just, Carpenter, Keller, Emery, Zajac, Thulborn, 2001) użyto dwóch zadań: werbalnego testu rozumienia zdań i wizualnego zadania wymagającego rotacji mentalnych. Kiedy zadania były wykonywane osobno, zadania werbalne i wizualne aktywowały różne obszary mózgowie (odpowiednio: płaty skroniowe i ciemieniowe). Kiedy zadania te były wykonywane jednocześnie, wykryto identycznie zlokalizowane aktywacje, lecz istotnie niższe niż w warunkach jednego zadania. Wyniki te mogą być zinterpretowane na korzyść modelu zasobowego. Wydaje się bowiem, że ograniczone zasoby mentalne są dzielone pomiędzy reprezentacje specyficzne dla modalności. Teoria wielomagazynowa nie przewiduje tego rodzaju wyników. Podsystemy pamięciowe WM co prawda podlegają centralnemu systemowi wykonawczemu, lecz zachodzące w nich procesy – w tym podtrzymywanie zawartości – są zdaniem Baddeleya niezależne od systemu kontrolnego. Idąc tym tropem, nie ma podstaw, aby sądzić, że przeszukiwanie WM będzie przebiegać w odmienny sposób ze względu na obciążenie jej podsystemów. Jeśli będzie ono zbyt duże, to elementy zestawu pamięciowego niemieszczące się w podsystemach WM będą niedostępne procesowi przeszukiwania, który będzie odbywał się tylko na elementach skutecznie podtrzymywanych. Innymi słowy, dostępność materiału pamięciowego, estymowana na przykład poprawnością reakcji, powinna być podobna dla elementów zestawu mieszczących się w podsystemach pamięciowych (kilku ostatnich) bez względu na to, jaki jest rozmiar całego zestawu.

Trzecim aspektem badań było porównanie wzorców reagowania w zadaniu Sternberga w zależności od rodzaju użytej modalności materiału. Co prawda zakładany mechanizm pamięciowy krótkotrwałego przechowywania różnych bodźców jest odmienny w obu grupach teorii, lecz pod tym względem predykcje są podobne. Należy się zatem spodziewać większych trudności w wykonaniu zadania Sternberga z materiałem niewerbalnym niż werbalnym, jeśli porównamy warunki o tej samej wielkości zbioru. Są sposoby na „wyrównanie” obciążenia WM mimo zastosowania różnego rodzaju materiału pamięciowego (na przykład Sauls, Cowan, 2007), które z różnym skutkiem stosowano w kolejnych eksperymentach tej serii. Jednak w eksperymencie 1.1 wykorzystano zabieg eksperymentalny pozwalający na obserwację procesu przeszukiwania WM w warunkach różnego obciążenia WM, osiągniętego nie tylko manipulacją wielkością zbioru, ale również modalnością materiału. Zróżnicowanie rodzaju materiału miało ponadto na celu sprawdzenie, na ile uniwersalne są mechanizmy przeszukiwania WM, ponieważ mimo że badania neuropsychologiczne wykazują specyfikę przetwarzania bodźców różnych modalności, to nie uznano jej za wystarczający dowód odmienności poznawczego mechanizmu funkcjonowania WM dla różnych bodźców.

Manipulacje eksperymentalne zastosowane w eksperymencie 1.1, skonstruowanym w paradygmacie Sternberga, dotyczyły – zgodnie z pierwowzorem zadania – wielkości zbioru elementów i rodzaju próby (zgodnej albo niezgodnej). Zastosowano trzy różne wielkości zbioru – 4, 7 i 10 elementów – odpowiadające niskiemu, wysokiemu i przeciążającemu ładunkowi pamięciowemu. Kontrolowano pozycję *targetu* w zestawie (w każdym warunku eksponowano go czterokrotnie na każdej pozycji). Proporcja prób zgodnych do niezgodnych wyniosła 2 : 1. Manipulowano ponadto modalnością eksponowanego materiału pamięciowego i czasem ekspozycji. Zastosowano dwa rodzaje materiału: werbalny, którym były litery, oraz niewerbalny, którym były heksagramy. Pełna pula bodźców zawierała 16 liter i 16 heksagramów, z których losowano odpowiednią ich liczbę do prezentacji. Czas ekspozycji mógł przyjąć jedną z dwóch wartości, to jest 300 ms albo 700 ms na element. Pełny plan eksperymentalny wyglądał zatem następująco: 2 (rodzaj materiału) x 2 (czas ekspozycji) x 3 (wielkość zbioru) x 2 (rodzaj próby). W każdym z czterech warunków powstałych z kombinacji poziomów czynników rodzaju materiału i czasu ekspozycji zadanie składało się łącznie ze 128 prób: 16 (SS = 4 x 4 ekspozycje na każdą pozycję) + 28 (SS = 7 x 4) + 40 (SS = 10 x 4), czyli 84 próby w warunku zgodności *targetu* z *probe*. Dodatkowo zaprezentowano 42 próby w warunku niezgodnym (brak *targetu* w zestawie). Kolejność ekspozycji miała charakter losowy.

Zadanie wykonywane było – podobnie jak w kolejnych badaniach, o ile nie opisano szczególnych okoliczności – w Laboratorium Psychologii Eksperymentalnej w Instytucie Psychologii UJ wyposażonym w standardowe komputery PC. Bodźce wyświetlane były na monitorze (białe na czarnym tle), a reakcje rejestrowane za pomocą komputerowej myszy. Osoba badana otrzymywała pisemną instrukcję do zadania, potem wykonywała trening złożony z 12 prób, a następnie zadanie zasadnicze. Aby zminimalizować wpływ kolejności wykonywanej wersji zadania, zastosowano procedurę *counterbalancingu*. Badanych proszono, aby udzielali odpowiedzi szybko i bezbłędnie, ponieważ mierzony był czas i poprawność reakcji. W badaniu wzięły udział 43 osoby (30 kobiet i 13 mężczyzn, wiek: $22,9 \pm 2,7$ lat).

Przeprowadzona analiza wariancji wykazała efekt główny rodzaju materiału – czas reakcji okazał się krótszy ($F(1, 28) = 29,41, p < 0,001$), a poprawność reakcji wyższa ($F(1, 28) = 47,61, p < 0,001$) w warunku werbalnym niż w niewerbalnym. Średni czas reakcji wyniósł 1386 ms na bodźce werbalne i 1760 ms na heksagramy; poprawność – odpowiednio: 80% i 66%. Wystąpił również efekt wielkości zbioru, ale wyłącznie w przypadku poprawności ($F(2, 56) = 36,136, p < 0,001$), za który odpowiadał warunek werbalny, gdyż w warunku niewerbalnym efekt ten był statystycznie nieistotny (interakcja: rodzaj materiału x wielkość zbioru, $F(2, 56) = 16,75, p < 0,001$; zob. ryc. 1). Wydaje się, że może wynikać to z przeciążenia WM w warunku niewerbalnym, które wystąpiło już w warunku czterech elementów. Co ciekawe, poprawność nie spadała już jednak bardziej wraz ze wzrostem wielkości zbioru elementów (wszystkie kontrasty dla poprawności w różnych warunkach rozmiaru zbioru były nieistotne). Co prawda ogólny poziom wykonania zadania



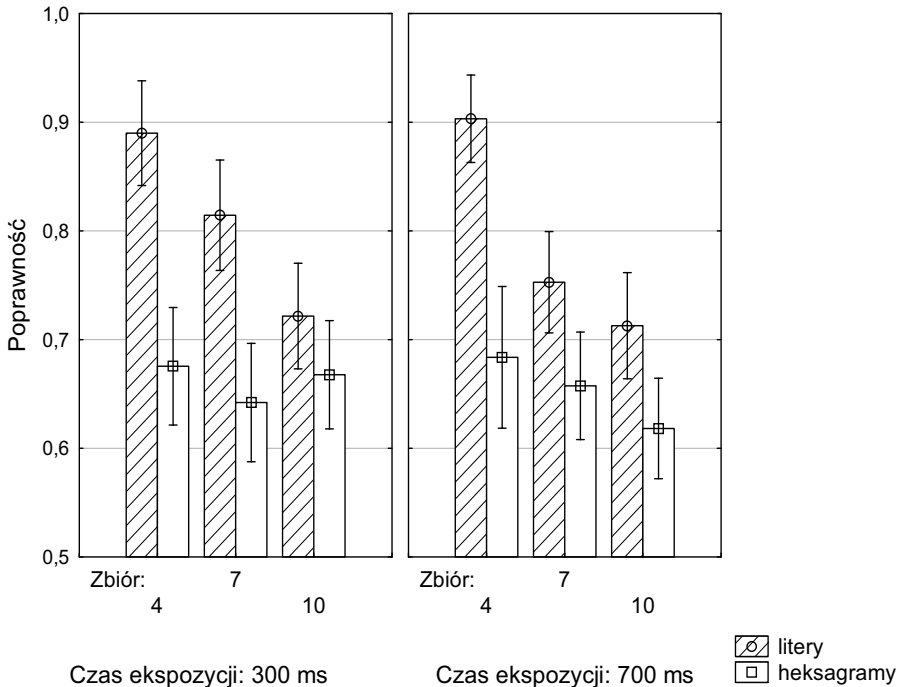
Ryc. 1. Średni odsetek poprawnych reakcji w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i rodzaju materiału (bodźce werbalne i niewerbalne); $F(2, 56) = 16,75, p < 0,001$. Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

był relatywnie niski, ale odległy od poziomu losowego. Gdyby osoby badane miały dostęp wyłącznie do kilku najświeższych elementów, zupełnie tracąc dostęp do pozostałych, średnia poprawność powinna spadać aż do poziomu losowego, który byłby wskaźnikiem utraty dostępu do tej części materiału. Wydaje się, że uzyskane wyniki przeczą predykcjom modeli zakładających ścisłe ograniczenie pojemności WM zasobami poznawczymi, których ogólna pula jest stała, więc przy rosnącej liczbie elementów do zapamiętania każdy z nich otrzymuje ich coraz mniej (por. Barrouillet, Bernardin, Camos, 2004).

W wypadku materiału werbalnego większe obciążenie WM prowadziło do spadku poprawności (kontrasty: SS 4 – 7: $F(1, 28) = 76,01, p < 0,001$; SS 7 – 10: $F(1, 28) = 27,57, p < 0,001$; SS 4 – 10: $F(1, 28) = 151,41, p < 0,001$), co z kolei przewidyują modele „zasobowe”. I nie ma tu znaczenia czas ekspozycji, w obu bowiem przypadkach (300 ms i 700 ms) efekt wielkości zbioru w warunkach werbalnych był istotny, a w niewerbalnym – nieistotny (interakcja: rodzaj materiału x czas ekspozycji: $F(2, 56) = 4,05, p < 0,03$; zob. ryc. 2).

Jeśli powyższe wnioskowanie jest poprawne, należy się spodziewać zróżnicowania w efektach pozycji ze względu na rodzaj materiału pamięciowego. W warunkach werbalnych efekt pozycji powinien być istotny, choć niekoniecznie liniowy: zgodnie

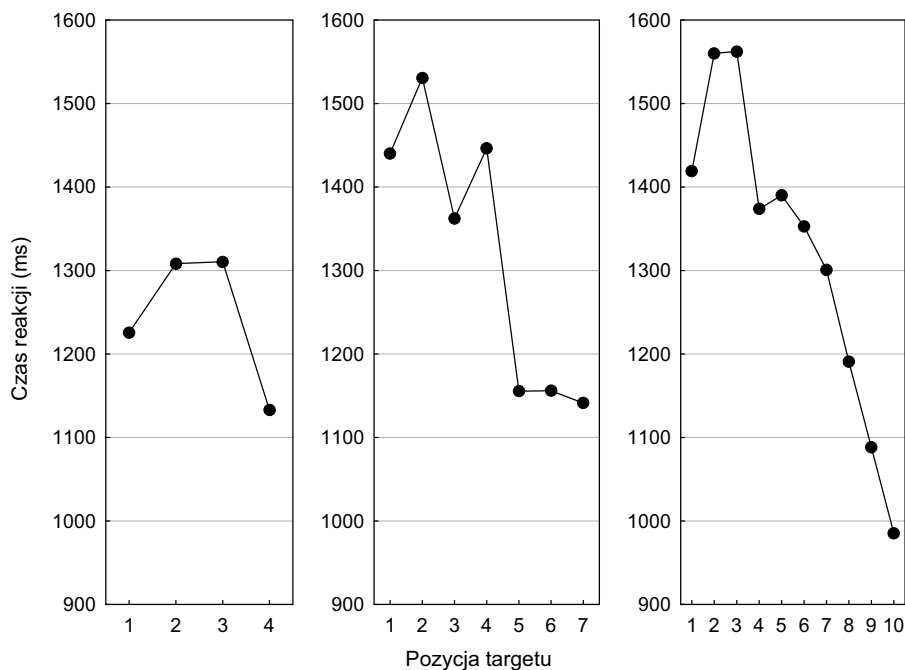


Ryc. 2. Średni odsetek poprawnych reakcji w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i czasu ekspozycji (300 ms i 700 ms); $F(2, 56) = 4,05, p < 0,03$. Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

z predykcyjami wyprowadzonymi z teorii aktywacyjnych należy spodziewać się raczej wykładniczego wzrostu RT oraz spadku poprawności wraz ze zmianą pozycji *targetu* (jeśli liczyć od końca zestawu). Wynika to z oczekiwanej podwyższonej dostępności kilku ostatnich elementów w porównaniu z resztą zestawu. W warunku niewerbalnym efekt pozycji powinien natomiast wskazywać na większą dostępność ostatniego elementu i niemal płaską funkcję czasu i poprawności od pozycji heksagramu na liście.

W analizie czasu reakcji w warunku werbalnym uzyskano istotne efekty pozycji we wszystkich warunkach wielkości zbioru elementów i czasu ekspozycji (300 ms: $SS = 4, F(3, 108) = 2,79, p < 0,05$; $SS = 7, F(6, 198) = 4,81, p < 0,001$; $SS = 10, F(9, 252) = 4,53, p < 0,001$; zob. ryc. 3; 700 ms: $SS = 4, F(3, 114) = 6,01, p < 0,001$; $SS = 7, F(6, 204) = 7,26, p < 0,001$; $SS = 10, F(9, 225) = 5,90, p < 0,001$; zob. ryc. 4). Efekt pozycji w warunku werbalnym pojawia się zatem systematycznie, bez względu na tempo ekspozycji informacji i obciążenie poznawcze wywołane manipulacją rozmiarem zbioru elementów. W warunku niewerbalnym uzyskano istotne efekty pozycji wyłącznie w jednym z sześciu warunków, to znaczy w warunku ekspozycji 300 ms w zbiorze 4-elementowym ($F(3, 96) = 3,93, p < 0,02$).

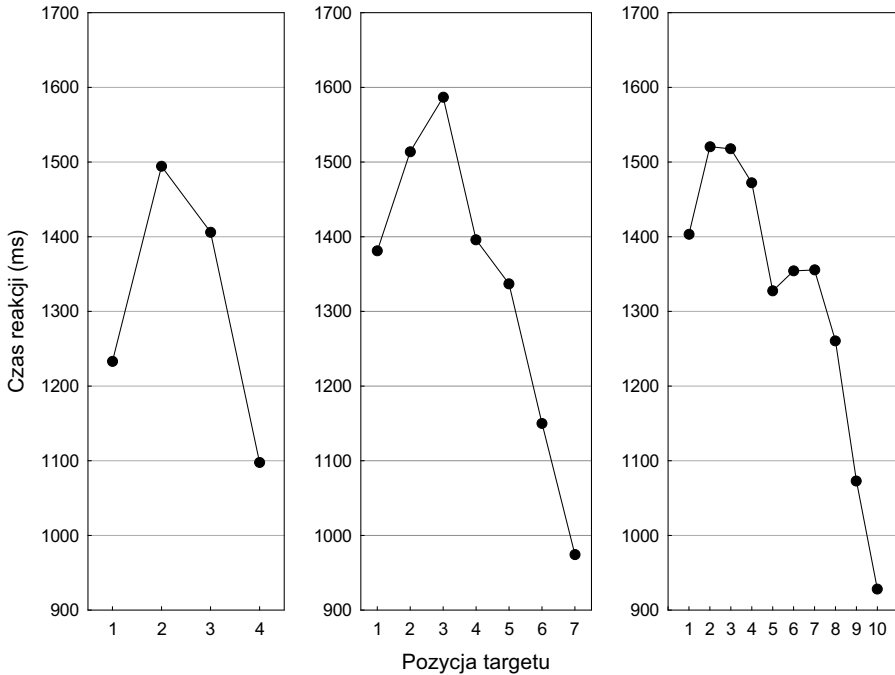


Ryc. 3. Średni czas reakcji w warunku materiału werbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 300 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 108) = 2,79, p < 0,05$; 7: $F(6, 198) = 4,81, p < 0,001$; 10: $F(9, 252) = 4,53, p < 0,001$.

Źródło: opracowanie własne.

Efekty pozycji wystąpiły również w analizie poprawności wykonania zadania, zarówno w warunku werbalnym, jak i niewerbalnym. W warunku werbalnym uzyskano istotne efekty pozycji dla poprawności we wszystkich warunkach wielkości zbioru elementów i czasu ekspozycji (300 ms: $SS = 4, F(3, 108) = 6,46, p < 0,001$; $SS = 7, F(5, 170) = 11,01, p < 0,001$; $SS = 10, F(9, 252) = 14,06, p < 0,001$; zob. ryc. 5; 700 ms: $SS = 4, F(3, 114) = 6,69, p < 0,001$; $SS = 7, F(5, 175) = 16,09, p < 0,001$; $SS = 10, F(8, 224) = 10,90, p < 0,001$; zob. ryc. 6).

Również w warunku niewerbalnym uzyskano istotne efekty pozycji dla poprawności we wszystkich warunkach wielkości zbioru elementów i czasu ekspozycji (300 ms: $SS = 4, F(3, 114) = 12,32, p < 0,001$; $SS = 7, F(6, 144) = 3,65, p < 0,005$; $SS = 10, F(9, 225) = 3,05, p < 0,002$; zob. ryc. 7; 700 ms: $SS = 4, F(3, 96) = 8,20, p < 0,001$; $SS = 7, F(5, 170) = 11,01, p < 0,001$; $SS = 10, F(9, 252) = 14,06, p < 0,001$; zob. ryc. 8). Biorąc pod uwagę wskaźnik poprawności, efekt pozycji pojawia się systematycznie, zarówno w warunku werbalnym, jak i niewerbalnym, niezależnie od rodzaju materiału, wielkości zbioru i czasu ekspozycji.

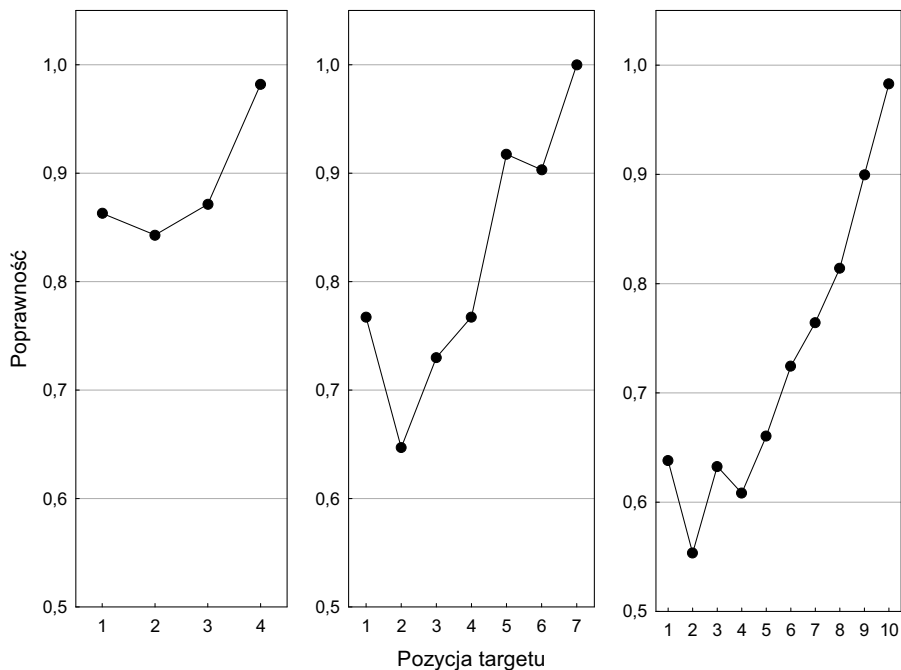


Ryc. 4. Średni czas reakcji w warunkach materiału werbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 700 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 114) = 6,01, p < 0,001$; 7: $F(6, 204) = 7,26, p < 0,001$; 10: $F(9, 225) = 5,90, p < 0,001$.

Źródło: opracowanie własne.

Efekt pozycji jest zjawiskiem regularnie występującym w zadaniu Sternberga. Zauważono, że pojawia się on, kiedy stosuje się specyficzny porządek w prezentacji stymulacji, na przykład temporalny (Clifton, Birenbaum, 1970; Forrin, Cunningham, 1973), a szczególnie gdy odstęp pomiędzy prezentowanym zestawem a *probe* jest krótki (Clifton, Birenbaum, 1970). Co jednak istotne, niezależnie od warunków prezentacji, efekt ten rejestruje się, gdy zadanie indukuje określoną kolejność przeszukiwania ze względu na naturę stymulacji albo instrukcję (Townsend, Roos, 1973; Hockley, 1984; Harris, Shaw, Altom, 1985).

Analiza efektów pozycji w przeprowadzonym eksperymencie 1.1 wskazuje na wyższą dostępność ostatniego elementu niezależnie od zastosowanego materiału, wielkości zbioru elementów i czasu ekspozycji. W przypadku warunków werbalnych wydłużenie czasu reakcji i spadek poprawności wraz z kolejnością *targetu* w zestawie ma charakter wykładniczy i wskazuje na podwyższoną dostępność ostatnich 3–4 elementów. W warunkach niewerbalnych efekt pozycji dla czasu reakcji – poza jednym zestawem – jest nieistotny, a w przypadku analizy poprawności wskazuje na większą dostępność 1–2 ostatnich elementów. Następnie funkcja po-

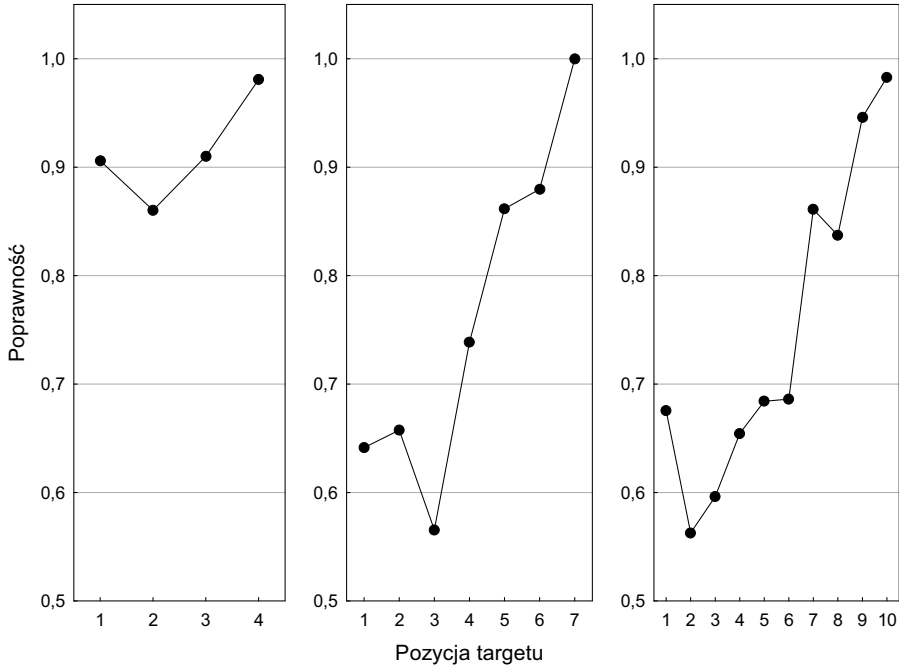


Ryc. 5. Średnia poprawność w warunku materiału werbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 300 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 108) = 6,46, p < 0,001$; 7: $F(5, 170) = 11,01, p < 0,001$; 10: $F(9, 252) = 14,06, p < 0,001$.

Źródło: opracowanie własne.

prawności staje się płaska (brak istotnych różnic między poprawnością na kolejnych pozycjach), oscylując w zakresie 60–70% poprawnych wskazań *targetu*.

Wydaje się, że wyniki przemawiają za hipotezą jednego elementu w ognisku uwagi oraz zróżnicowanej ze względu na rodzaj materiału wielkości obszaru podwyższonej dostępności. Przeprowadzono jednak dalsze analizy celem sprawdzenia, czy występuje przewidywane przez Oberauera skokowe zróżnicowanie dostępności w obrębie kilku najbardziej aktywnych elementów. Element objęty ogniskiem uwagi powinien być istotnie bardziej dostępny niż pozostały materiał zawarty w obszarze bezpośredniego dostępu. Aby poddać tę hipotezę weryfikacji, nie wystarczy wykazać istotnej różnicy w dostępności ostatniego i przedostatniego elementu. Wydaje się, że różnica ta – wynikająca w oczywisty sposób z efektu pozycji – powinna być większa niż różnica w dostępności przedostatniego i kolejnego elementu. Innymi słowy, jeżeli wzrost RT lub liczby błędów dla kolejnych pozycji (licząc od końca ciągu) będzie istotnie większy w przypadku pary sąsiadujących elementów, na przykład 2 i 3, niż pary na przykład 3 i 4, to będzie to świadczyć o skokowej zmianie dostępności między drugim a trzecim elementem. W interpretacji teoretycznej stanowi-



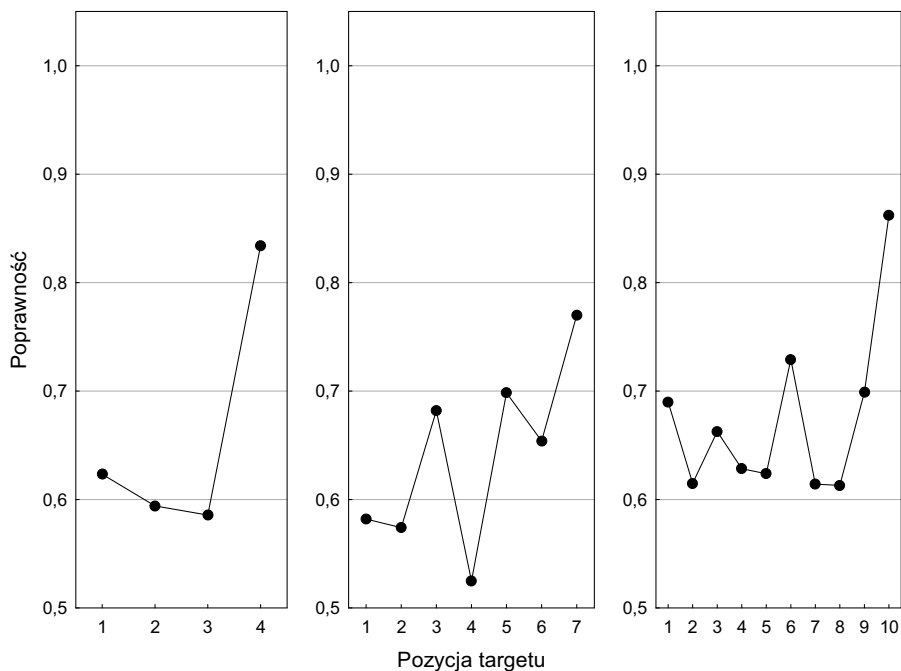
Ryc. 6. Średnia poprawność w warunku materiału werbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 700 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 114) = 6,69, p < 0,001$; 7: $F(5, 175) = 16,10, p < 0,001$; 10: $F(8, 224) = 10,90, p < 0,001$.

Źródło: opracowanie własne.

łoby to argument przemawiający za niejednorodnością obszaru pamięci roboczej odpowiedzialnego za krótkotrwałe przechowywanie informacji. Jeżeli jednak struktura tego obszaru pamięciowego WM jest jednorodna, estymowana w ten sposób zmiana dostępności kolejnych elementów nie będzie istotnie różna dla sąsiadujących par elementów.

Ponieważ analiza kontrastów w efektach pozycji może dać odpowiedź co najwyżej na pytanie o istotność różnic pomiędzy średnimi (a nie o istotność różnic między różnicami), utworzono osobne wskaźniki przyrostu czasu reakcji i spadku poprawności⁴ w zależności od pozycji *targetu* na liście. Wskaźnik przyrostu RT obliczono jako różnicę pomiędzy czasem reakcji na sąsiadujące elementy zestawu, czyli: $RT_{12} = RT_{(n-1)} - RT_{(n)}$, $RT_{23} = RT_{(n-2)} - RT_{(n-1)}$, $RT_{34} = RT_{(n-3)} - RT_{(n-2)}$, gdzie n oznacza rozmiar danego zestawu. W pierwszej analizie uwzględniono tylko te trzy wskaźniki, to jest maksymalną ich liczbę, którą można policzyć z wszystkich danych, czyli również z uwzględnieniem najmniejszego 4-elementowego zestawu. Pozwoliło to na

⁴ Chodziło o to, aby obydwa wskaźniki miały podobną interpretację – im wyższa wartość wskaźnika, tym większy spadek dostępności *targetu* na danej pozycji.

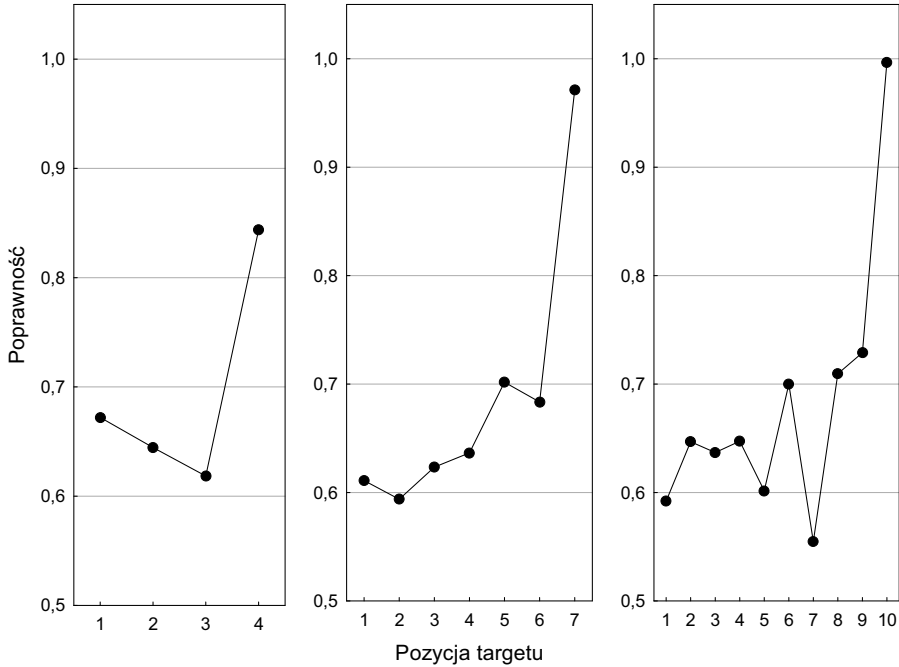


Ryc. 7. Średnia poprawność w warunku materiału niewerbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 300 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 114) = 12,31, p < 0,001$; 7: $F(6, 144) = 3,65, p < 0,005$; 10: $F(9, 225) = 3,05, p < 0,002$.

Źródło: opracowanie własne.

przeprowadzenie analiz wszystkich warunków wielkości zestawu w jednym modelu czynnikowym. Wskaźniki te można interpretować jako czasowe koszty poznawcze, które system WM musi ponieść, aby odnaleźć *target*, gdy jego pozycja w zbiorze oddala się od końca zestawu o jeden. Dla ułatwienia wskaźnik ten będzie dalej nazywany krótko kosztem. Im większy przyrost czasu reakcji, tym wyższa wartość wskaźnika kosztu, a zatem wyraźniejsze zmniejszenie dostępności *targetu*. Przyjęto, że uzyskanie statystycznie istotnej różnicy między wskaźnikami kosztu dla sąsiadujących elementów będzie oznaczać skokową zmianę w ich dostępności. Na przykład istotna różnica między RT_{12} a RT_{23} będzie oznaczać, że system pamięci roboczej poniósł znacząco większe koszty poznawcze wynikające z przesunięcia *targetu* z pozycji pierwszej na drugą niż z drugiej na trzecią, licząc od końca zestawu. Można byłoby zatem przypuszczać, że występuje jakościowa różnica w dostępności ostatniego elementu zestawu w porównaniu z drugim od końca, podczas gdy różnica ta (o ile w ogóle występuje) jest znacząco mniejsza pomiędzy elementem drugim i trzecim.

Podobne wskaźniki obliczono dla poprawności reakcji według następujących wzorów: $AC_{12} = AC_{(n)} - AC_{(n-1)}$, $AC_{23} = AC_{(n-1)} - AC_{(n-2)}$, $AC_{34} = AC_{(n-2)} - AC_{(n-3)}$. Rozumowanie było podobne jak w przypadku operacjonalizacji wskaźników kosztu



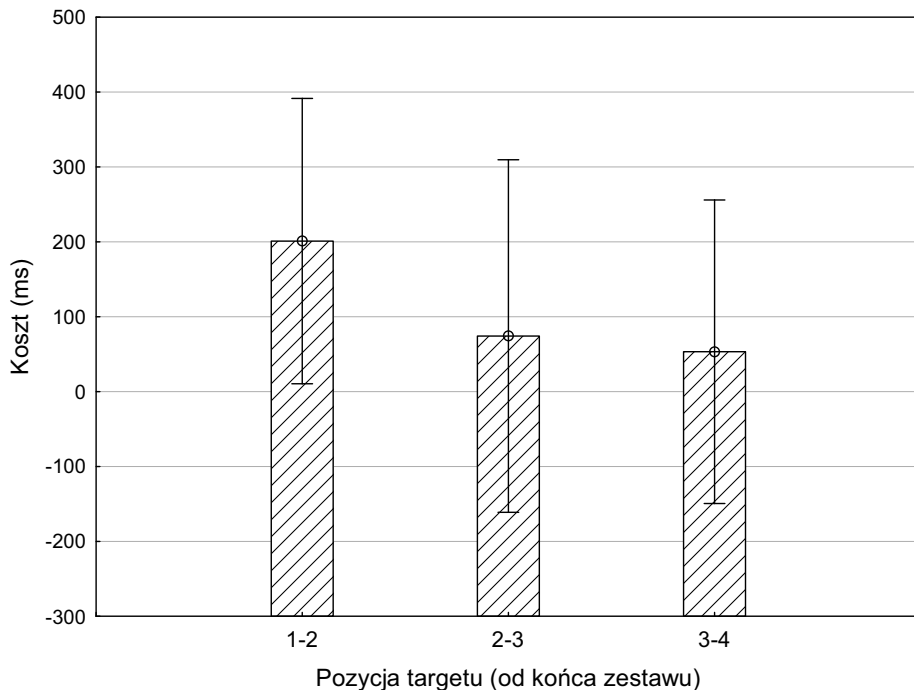
Ryc. 8. Średnia poprawność w warunku materiału niewerbalnego w zależności od rozmiaru zbioru elementów (4, 7 albo 10) i pozycji bodźca docelowego w zestawie; czas ekspozycji: 700 ms, rozmiar zbioru: 4: $F(3, 96) = 8,20, p = 0,001$; 7: $F(6, 168) = 12,54, p < 0,001$; 10: $F(9, 252) = 14,06, p < 0,001$.

Źródło: opracowanie własne.

czasowego – im większy spadek poprawności, tym wyższa wartość wskaźnika kosztu, a zatem wyraźniejsze zmniejszenie dostępności *targetu*.

Pełny model czynnikowy zastosowany w analizie wygląda następująco: 2 (rodzaje materiału) x 2 (czas ekspozycji) x 3 (wielkość zbioru elementów) x 3 (koszt). Istotne efekty główne, gdyby interakcje czynników okazały się nieistotne, byłyby wskaźnikiem względnej uniwersalności przeszukiwania WM, na przykład niezależnie od czasu ekspozycji. Pojawienie się istotnych interakcji należałoby z kolei interpretować jako przejaw specyfiki funkcjonowania WM, a czynniki wchodzące z sobą w interakcję byłyby predyktorami zróżnicowania procesu przeszukiwania WM, na przykład jego zależności od rodzaju materiału.

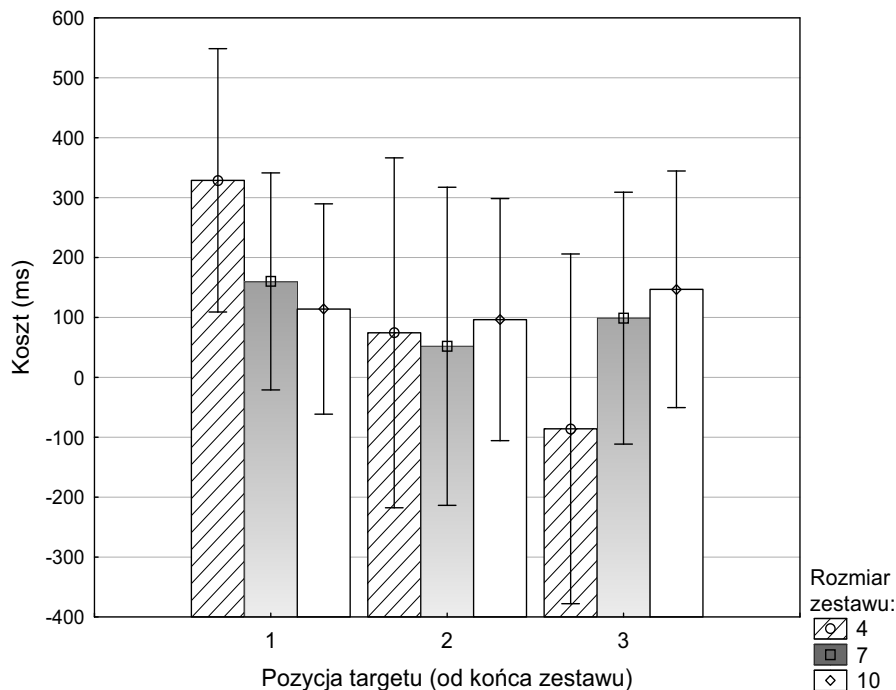
W analizie wskaźników obliczonych na podstawie czasu reakcji czynnik kosztu okazał się istotny statystycznie ($F(2, 84) = 5,67, p < 0,005$; zob. ryc. 9). Analiza kontrastów wykazała, że koszt RT_{12} jest istotnie większy niż RT_{23} ($F(1, 42) = 8,23, p < 0,007$), podczas gdy RT_{23} nie różni się istotnie od RT_{34} ($F(1, 42) = 0,15, p = n.i.$). Wskazuje to na istotnie wyższą dostępność ostatniego elementu zestawu w porównaniu z pozostałymi trzema uwzględnionymi w analizie. Efekt ten występuje niezależnie od rodzaju materiału, czasu ekspozycji i wielkości zbioru elementów.



Ryc. 9. Średni czasowy „koszt poznawczy”, czyli różnica czasu latencji dostępu do *targetów* ułożonych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach ($F(2, 84) = 5,67, p < 0,005$). Analiza przeprowadzona dla czterech najświeższych elementów, uśredniona dla różnego rodzaju materiału, czasu ekspozycji i rozmiaru zbioru. Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

Dalsze analizy wykazały jednak, że nie jest to efekt uniwersalny. „Pracuje” na niego warunek zbioru 4-elementowego ($F(4, 168) = 2,94, p < 0,03$; zob. ryc. 10). Analiza kontrastów przeprowadzona w tym warunku wykazała, że koszt RT_{12} był istotnie większy od RT_{23} ($F(1, 42) = 6,7, p < 0,02$). Również istotny okazał się kontrast kosztu RT_{12} w porównaniu zbiorów 4- i 7-elementowych ($F(1, 42) = 5,95, p < 0,02$) oraz 4- i 10-elementowych ($F(1, 42) = 11,24, p < 0,002$). Pozostałe kontrasty nie były istotne. Wydaje się, że rezultat ten dowodzi, iż dostępność czasowa ostatniego elementu zestawu jest istotnie wyższa niż pozostałych trzech, ale tylko w warunku niewielkiego obciążenia WM, kiedy zbiór obejmuje cztery elementy. Różnica czasu dostępu do ostatniego i przedostatniego elementu ciągu to ponad 300 ms, podczas gdy kolejne różnice nie przekraczają 150 ms i – co ważne – nie różnią się istotnie od siebie. W warunku przeciążenia WM, to jest zestawów 7- i 10-elementowych, czas reakcji nie wykazuje skokowej zmiany kosztu. Warto jednak zaznaczyć, że w warunkach 7- i 10-elementowych system poznawczy ponosi stały, wynoszący średnio 100 ± 50 ms, koszt czasowy wynikający z przesunięcia *targetu* na kolejne, coraz bardziej oddalone od końca pozycje zestawu. Wskazuje to na liniowy związek analizowanego kosztu



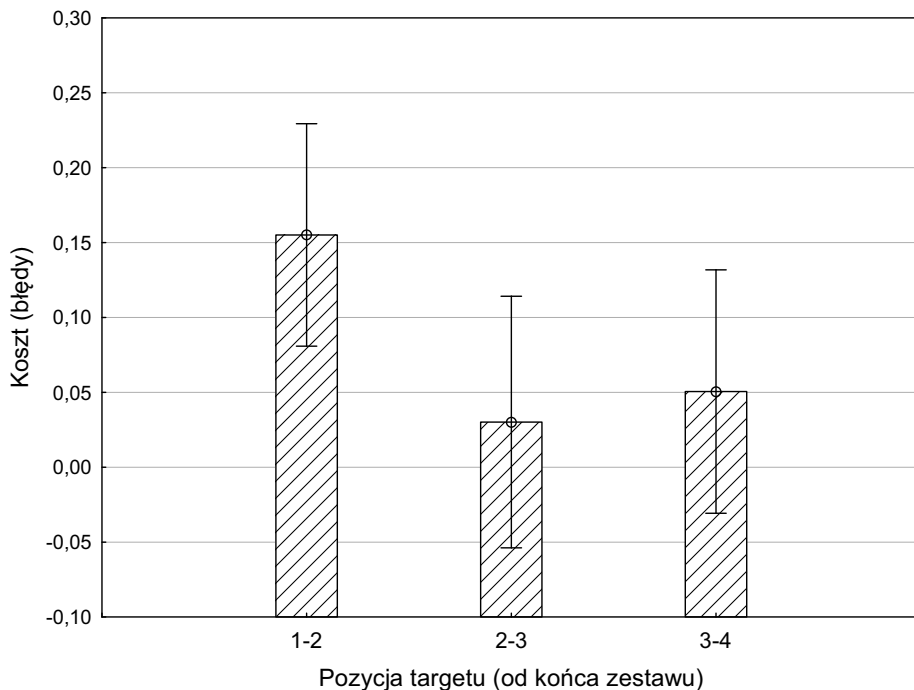
Ryc. 10. Średni czasowy „koszt poznawczy”, czyli różnica czasu latencji dostępu do *targetów* ułożonych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach w zależności od rozmiaru zbioru elementów ($F(4, 168) = 2,94, p = 0,022$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

poznawczego z pozycją *targetu* w zestawie. Interakcja czynników koszt i rodzaj materiału okazała się statystycznie nieistotna.

Ze względu na trudność zadania i siłę efektów pozycji bardziej wyrazistych wyników spodziewano się po analizie różnic kosztu opartego na wskaźniku poprawności. Przeprowadzona analiza wariancji ujawniła istotny efekt główny kosztu ($F(2, 84) = 26,08, p < 0,001$; zob. ryc. 11). Analiza kontrastów wykazała, że koszt AC_{12} był istotnie większy od AC_{23} ($F(1, 42) = 39,38, p < 0,001$), a ten ostatni nie różnił się istotnie od AC_{34} ($F(1, 42) = 0,92, p = n.i.$). Wskazuje to – ponownie – na większą dostępność ostatniego elementu zestawu w porównaniu z kolejnym, podczas gdy dalszy spadek poprawności jest niewielki i nie różnicuje kolejnych pozycji.

W kolejnych analizach okazało się, że powyższy efekt był zróżnicowany ze względu na rodzaj materiału ($F(2, 84) = 9,33, p < 0,001$; zob. ryc. 12). Spadek poprawności pomiędzy ostatnim i przedostatnim elementem zestawu był istotnie większy niż w przypadku kolejnych elementów, ale wyłącznie w warunku niewerbalnym: kontrast między AC_{12} a AC_{23} był w tym warunku istotny ($F(1, 42) = 42,20, p < 0,001$). W warunku werbalnym nie wykryto istotnych różnic w dynamice spadku poprawności pomiędzy ostatnimi czterema elementami zestawu (wszystkie kontrasty były

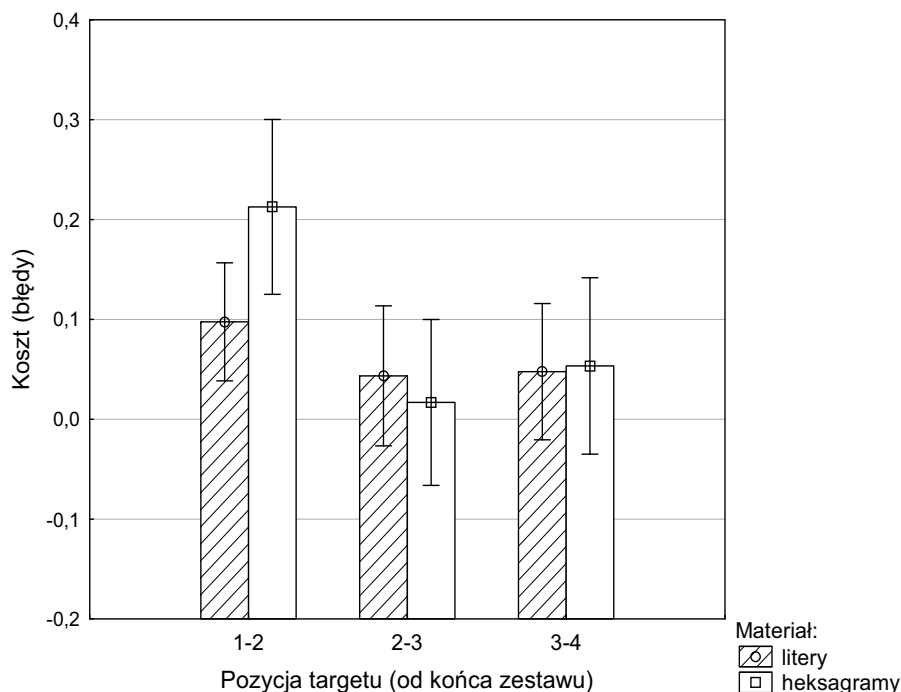


Ryc. 11. Średni „koszt poznawczy” w zakresie poprawności, czyli różnica poziomu poprawności dostępu do *targetów* ulokowanych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach ($F(2, 84) = 26,08, p < 0,001$). Analiza przeprowadzona dla czterech najświeższych elementów, uśredniona dla różnego rodzaju materiału, czasu ekspozycji i rozmiaru zbioru. Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

nieistotne). Koszt AC_{12} okazał się ponadto istotnie większy w warunkach niewerbalnym niż w werbalnym ($F(1, 42) = 28,67, p < 0,001$). Efekt kosztu był również zależny od wielkości zbioru elementów ($F(4, 168) = 4,6, p < 0,002$). Początkowy koszt był podobny we wszystkich warunkach rozmiaru zbioru, lecz w miarę oddalania się od końca ciągu wykazywał on coraz większe zróżnicowanie. Wynika to przede wszystkim z istotnego spadku kosztu między AC_{12} a AC_{23} . Później koszty te okazały się niemal zerowe.

Powyższe wyniki wskazują, że o ile można mówić o ognisku uwagi w pamięci roboczej, o tyle w przypadku złożonego materiału niewerbalnego obejmuje ono jeden element, przy czym dostępność pozostałych – choć obiektywnie niska – jest nielosowa i niezależna od wielkości zestawu (w granicach 1–10). W przypadku bodźców werbalnych okazuje się, że nie ma wyraźnej preferencji dla ostatniego elementu, jeśli za taką uznamy skokowy spadek dostępności kolejnych elementów w zestawie. Przeprowadzone analizy nie były jednak w stanie wykazać, czy tego rodzaju „jakościowy” spadek dostępności występuje – jak przewiduje to Cowan – dopiero powyżej

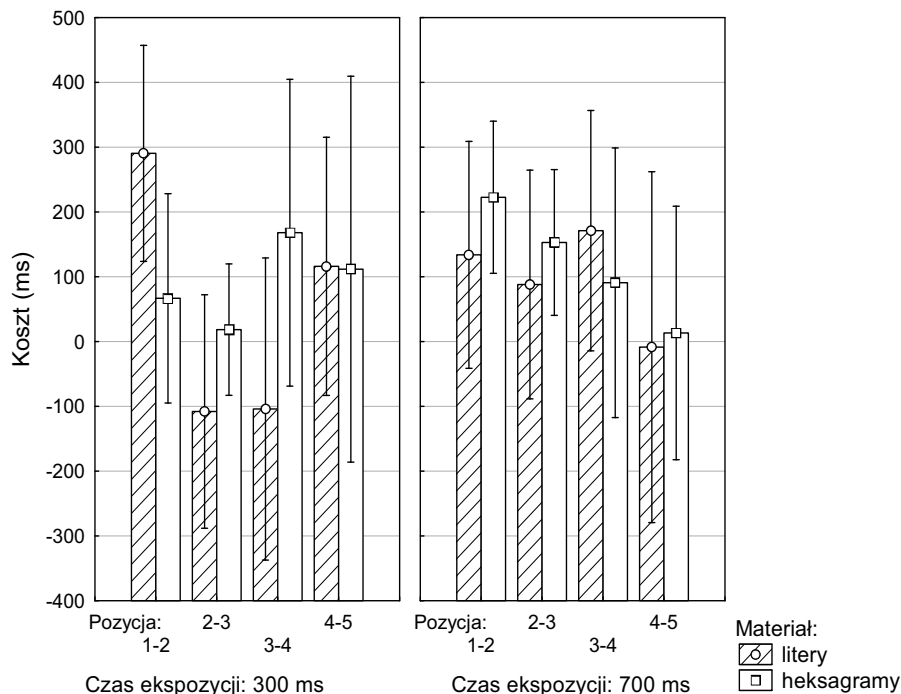


Ryc. 12. Średni „koszt poznawczy” w zakresie poprawności, czyli różnica poziomu poprawności dostępu do *targetów* ulokowanych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach w zależności od rodzaju materiału: werbalnego albo niewerbalnego ($F(2, 84) = 9,33, p < 0,001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

czterech elementów. Dlatego też przeprowadzono kolejną analizę z uwzględnieniem różnicy w czasie reakcji i poprawności pomiędzy pozycjami od 1 do 5. Tego rodzaju obliczenia były jednak możliwe wyłącznie w warunkach zestawów 7- i 10-elementowych. Utworzono zatem dwa dodatkowe wskaźniki kosztu: $RT_{45} = RT_{(n-4)} - RT_{(n-3)}$ i $AC_{45} = AC_{(n-3)} - RT_{(n-4)}$. Analiza obejmowała zatem następujący model czynnikowy: 2 (rodzaje materiału) x 2 (czas ekspozycji) x 2 (wielkość zbioru elementów) x 4 (koszt).

Analiza wskaźnika czasowego kosztu wykazała brak jego zróżnicowania dla kolejnych pozycji zestawu: pomiędzy RT_{34} i RT_{45} nie było istotnych różnic. Koszt czasowy, analizowany dla wszystkich jego wskaźników, okazał się zróżnicowany ze względu na rodzaj materiału i czas ekspozycji ($F(3, 126) = 3,95, p < 0,001$; zob. ryc. 13). W warunkach werbalnych występowała istotna różnica między RT_{12} a RT_{23} oraz między RT_{34} a RT_{45} przy krótszej ekspozycji – 300 ms na element. Przy dłuższej ekspozycji (700 ms) istotna zmiana kosztów dotyczyła z kolei wyłącznie różnicy pomiędzy RT_{34} a RT_{45} . W warunku niewerbalnym istotny spadek czasu reakcji wystąpił przy krótszej ekspozycji między RT_{23} a RT_{34} , co wskazuje na skokowy spadek



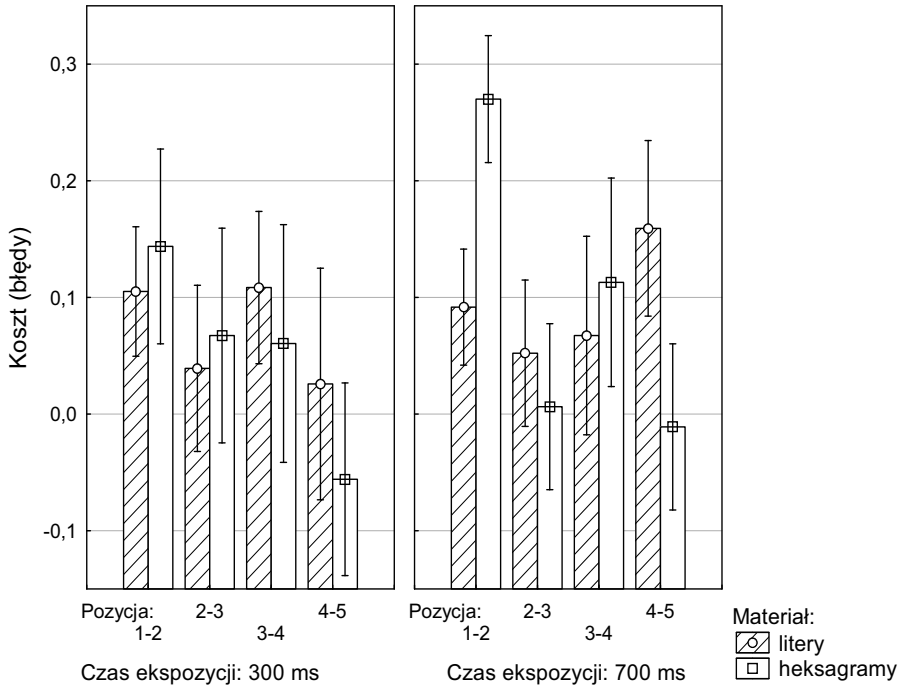
Ryc. 13. Średni czasowy „koszt poznawczy”, czyli różnica czasu latencji dostępu do *targetów* ulokowanych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach w zależności od rodzaju materiału i czasu ekspozycji ($F(3, 126) = 3,95, p < 0,001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

dostępności po trzecim elemencie. W warunku dłuższej ekspozycji nie wykryto skokowych zmian dostępu między kolejnymi pozycjami zestawu.

W przypadku analizy wskaźników kosztu opartych na poprawności wykazano istotne zmniejszenie się wartości tego wskaźnika dla kolejnych pozycji zestawu, to jest pomiędzy wartościami AC_{34} i AC_{45} ($F(1, 42) = 5,77, p < 0,03$). Koszt okazał się również zróżnicowany ze względu na rodzaj materiału i czas ekspozycji ($F(3, 126) = 3,46, p < 0,02$; ryc. 14). W warunku szybkiej ekspozycji (300 ms) koszt spadał linowo wraz z oddalaniem się *targetu* od końca zestawu, ale tylko w warunku niewerbalnym. W warunku dłuższej ekspozycji (700 ms) wyraźnie największa redukcja kosztu wystąpiła w przypadku bodźców niewerbalnych między AC_{12} a AC_{23} . W warunku werbalnym istotna różnica dotyczyła natomiast AC_{34} i AC_{45} , co sugeruje wzrost kosztu przeszukiwania WM od czwartego, licząc od końca, elementu zestawu.

Podsumowując, przedmiotem eksperymentu była weryfikacja predykcji różnych modeli teoretycznych struktury pamięci roboczej. Po pierwsze, wydaje się, że niezależnie od wielkości zbioru elementów, modalności stymulacji i czasu ekspozycji cały prezentowany materiał jest w pewnym stopniu dostępny przeszukiwaniu. Dostępność



Ryc. 14. Średni „koszt poznawczy” w zakresie poprawności, czyli różnica poziomu poprawności dostępu do *targetów* ulokowanych w zestawie pamięciowym na sąsiadujących pozycjach w zależności od rodzaju materiału i czasu ekspozycji ($F(3, 126) = 3,46, p < 0,02$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

ta istotnie spada wraz z pozycją *targetu* w zestawie, przy czym szybciej w przypadku złożonych i nowych bodźców niewerbalnych niż znanych bodźców werbalnych. Wskazują na to analizy efektów pozycji przeprowadzone na wskaźniku poprawności reakcji, które wykazały nielosowy poziom rozpoznania *targetu* w każdym z warunków zadania. Wynik ten można wyjaśnić przez odwołanie się do dwóch procesów przeszukiwania WM – przeszukiwania opartego na ocenie znajomości (*familiarity*) i na przypominaniu (*recollection*) (McElree, Doshier, 1989; Yonelinas, 2002). W bardziej wymagających dla systemu pamięci roboczej warunkach z bodźcami niewerbalnymi przypominanie sprawdza się właściwie tylko w przypadku ostatniego elementu. Reszta zestawu jest przeszukiwana dzięki ocenie znajomości, co tylko niekiedy się sprawdza. Zaskakujące jest jednak to, że ocena znajomości obejmuje swym zasięgiem cały zaprezentowany zbiór bez względu na jego rozmiar. W przypadku zestawów werbalnych przypominanie wydaje się efektywne dla kilku ostatnich elementów, a później również włącza się przeszukiwanie oparte na ocenie znajomości.

Po drugie, uzyskane rezultaty wskazują, że pewna część prezentowanego materiału jest bardziej dostępna w procesie przeszukiwania niż reszta, przy czym wiel-

kość tego obszaru podwyższonej dostępności jest wrażliwa w zasadzie na wszystkie czynniki, którymi manipulowano w zadaniu Sternberga. Efekty pozycji, zarówno w analizie czasu reakcji, jak i poprawności, wskazują co prawda na ogólnie większą dostępność kilku elementów z końca zestawu, ale – według przyjętych kryteriów – nie wystarczają do wnioskowania na temat jednorodności struktury obszaru podwyższonej dostępności. Wydaje się, że dopiero analiza kosztów poznawczych z uwzględnieniem pozycji *targetu* w zestawie pamięciowym pozwala na ostrożne wnioskowanie o owej strukturze. Istotnymi czynnikami różnicującymi dostęp do materiału w pamięci roboczej okazały się rodzaj zastosowanego materiału, czas ekspozycji i rozmiar zbioru elementów. W warunku werbalnym co prawda dostępność materiału spada wraz z oddalaniem się od ostatniego, najbardziej aktywnego elementu, ale skokowa zmiana – biorąc pod uwagę poprawność reakcji – pojawia się dopiero wówczas, gdy *target* znajduje się na piątej pozycji od końca. Podobny wniosek wynika z analizy czasu reakcji, wyniki wskazują bowiem na skokową zmianę tak zoperacjonalizowanej dostępności po elemencie czwartym od końca, przy czym skokowa różnica dostępności występuje również pomiędzy elementem ostatnim a przedostatnim. Mocny wniosek byłby więc taki, że obszar podwyższonej dostępności obejmuje cztery elementy werbalne, a jej spadek jest liniowy i wynika najprawdopodobniej z upływu czasu i sekwencyjnego charakteru przeszukiwania WM. Można również postawić słabszy wniosek, że element ostatni na liście jest w pewien sposób uprzywilejowany, co przejawia się w istotnie szybszym dostępie do niego. Pojemność obszaru bezpośredniego dostępu dla bodźców niewerbalnych jest z kolei bardzo mała i obejmuje jeden element, i to pod warunkiem że czas ekspozycji będzie na tyle długi (700 ms), aby możliwe było jego zakodowanie. Wówczas, jak się wydaje, możliwe jest uruchomienie efektywnego procesu przypominania (*recollection*). Pomimo dużej złożoności heksagramów w warunkach 7- i 10-elementowych poprawność wskazania *targetu* na ostatniej pozycji jest bardzo wysoka (odpowiednio 97% i 98%). Kiedy czas ekspozycji jest krótki (300 ms), zmiana dostępności *targetu* pomiędzy ostatnią i przedostatnią pozycją w zestawie jest znacznie mniejsza, ale też wyjściowy poziom poprawności jest niższy niż w warunku 700 ms (odpowiednio 77% i 86%). Wydaje się, że czas ekspozycji 300 ms na element jest niewystarczający do efektywnego zakodowania tak złożonej stymulacji. Łagodny spadek kosztu dostępu i ogólnie niska poprawność w tym warunku wydają się wskazywać na przeszukiwanie pamięci z użyciem oceny znajomości (*familiarity*).

Czynnik wielkości zbioru zwiększający obciążenie pamięci roboczej (*cognitive load*) również wpływa na funkcjonowanie obszaru bezpośredniego dostępu. Przede wszystkim wraz z rosnącym rozmiarem zbioru spada poprawność reakcji, zarówno dla całego zadania, jak i dla ostatnich, najbardziej aktywnych elementów. Bez względu jednak na obciążenie WM różną liczbą elementów ostatni z nich jest bardziej dostępny niż kolejne. W warunkach dużego obciążenia ($SS = 7$ i $SS = 10$) dostępność kolejnych elementów nadal spada, generując niezerowe koszty poznawcze, podczas gdy w zbiorze 4-elementowym koszty te oscylują wokół zera. Wskazuje to na większą dostępność ostatniego elementu niż pozostałych i istotnie niższą, zbliżoną do-

stępność kolejnych trzech w najmniejszym zbiorze. W tym warunku – jako jedynym – pojawił się również istotny koszt czasowy przesunięcia *targetu* z pozycji ostatniej na przedostatnią.

Przeprowadzone badania wskazują na elastyczną pojemność i niejednorodną strukturę pamięci roboczej, falsyfikując tym samym oba skrajne stanowiska: magazynowe, z założeniem stałej pojemności podsystemów pamięciowych WM, i aktywacyjne, zakładające jednolitą strukturę WM. Gdyby wyabstrahować czynniki wyjaśniające uzyskane wyniki, wykazujące zróżnicowanie ze względu na modalność bodźców, tempo ich prezentacji i rozmiar materiału, to można postawić kilka wniosków. Wydaje się, że struktura podsystemu pamięciowego WM nie jest jednorodna i obejmuje trzy poziomy aktywacji materiału. Pierwszy – który można byłoby nazwać ogniskiem uwagi w takim rozumieniu, jak proponuje Oberauer – obejmuje tylko jeden aktywny element, którego dostępność jest istotnie wyższa niż pozostałych. Drugi poziom aktywacji – nazwijmy go obszarem bezpośredniego dostępu – jest niższy w porównaniu do zawartości ogniska uwagi, ale wyższy niż pozostałych bodźców w zestawie, o ile zestaw jest wystarczająco obszerny. Obszar ten obejmuje kolejne dwa elementy werbalne (niezależnie od tempa prezentacji) i ani jednego niewerbalnego. W werbalnym zbiorze 4-elementowym mogą to być wyjątkowo trzy bodźce, prawdopodobnie z powodu efektu pierwszeństwa wpływającego na wyższą dostępność pierwszego z nich. Efekt ten należałoby jednak tłumaczyć udziałem pamięci długotrwałej w kodowaniu materiału. Ponieważ skokowy spadek poprawności w większych zbiorach występuje właśnie po trzecim elemencie, wydaje się, że pojemność obszaru podwyższonej dostępności wynosi właśnie dwa elementy werbalne. W przypadku bodźców niewerbalnych elementy inne niż ostatni niemal natychmiast stają się bardzo słabo dostępne. Trzeci poziom aktywacji, który obejmuje elementy od drugiego w zbiorach niewerbalnych i od czwartego w zbiorach werbalnych, to obszar o niewielkiej, ale wyższej od poziomu losowej dostępności materiału. Jego pojemność jest trudna do oszacowania – w przeprowadzonych badaniach obejmuje wszystkie elementy poza ogniskiem uwagi i obszarem podwyższonej dostępności oraz – ewentualnie – pierwszym elementem, który wynika z efektu pierwszeństwa.

Być może kluczem do zrozumienia tak zróżnicowanej dostępności materiału w WM jest proces kodowania informacji w trakcie prezentacji materiału. Bodźce niewerbalne, które są nowe dla osób badanych, są też bardziej niż materiał werbalny wrażliwe na tempo prezentacji, które – jeśli jest zbyt szybkie – uniemożliwia zakodowanie wszystkich niezbędnych ich właściwości. Wówczas tylko ostatni element, objęty fokusem uwagi, jest w pełni dostępny. Pozostałe są kodowane powierzchownie, co nie pozwala na uruchomienie przeszukiwania opartego na przypominaniu (wnioskujemy to z braku efektu pozycji we wskaźniku czasu reakcji), ale wystarcza do – równie powierzchownego – przeszukania dzięki ocenie znajomości. Bodźce werbalne, kodowane automatycznie, są mniej wrażliwe na tempo prezentacji, ponieważ system poznawczy radzi sobie z ich zapamiętywaniem nawet przy krótkich prezentacjach. Ich dostępność jest więc większa – można ją przeliczyć średnio na

trzy elementy – ale jednak zróżnicowana (jeden element w ognisku uwagi i dwa w obszarze podwyższonej dostępności).

Wyniki analiz wydają się falsyfikować predykcje modelu Baddeleya, który co prawda uwzględnia różnice w specyfice przechowywania bodźców werbalnych i niewerbalnych, lecz ogranicza je do efektu różnej pojemności informacyjnej podsystemów pamięciowych WM. I rzeczywiście pojemność ta jest różna, lecz wynika nie z magazynowych ograniczeń podsystemów, które mogą w ogóle nie istnieć, lecz z możliwości kodowania informacji i utrzymywania jej w stanie podwyższonej aktywności. W tym sensie jeden złożony i nowy bodziec pochłania pełne zasoby centralnego systemu wykonawczego, które mogą z powodzeniem wystarczyć trzem bodźcom werbalnym – prostszym i, przede wszystkim, znanym. Pojemność WM jest więc elastyczna, trudna do wyrażenia zarówno w porcjach informacji (bo mieści różną liczbę porcji danych w zależności od ich charakteru), jak i w bitach, ponieważ im wyższy poziom znajomości materiału, tym większą liczbą bitów informacji może operować system WM. Odpowiedź na pytanie o naturę mechanizmu pamięciowego powinna przybliżyć nas również do zrozumienia jednostek miary, w których ta pojemność byłaby jednoznacznie szacowana. Albo odwrotnie – z tego, że nie potrafimy posługiwać się precyzyjną miarą pojemności WM, możemy wnioskować, że nie rozumiemy jeszcze jej mechanizmów.

Z modelem Cowana natomiast niezgodne wydają się wyniki wskazujące na znacznie większą niejednorodność obszaru pamięciowego WM, niż badacz przewiduje. Uzyskane wyniki najbliższe są poglądom Oberauera, z tym że należałoby skorygować jego szacunki dotyczące pojemności obszaru bezpośredniego dostępu. Przede wszystkim jednak uzupełnienia wymaga mechanizm kodowania informacji w WM, ponieważ – jak się wydaje – to on w pierwszej kolejności odpowiada za jej pojemność informacyjną. Co istotne, mechanizm ten wydaje się zależny od zasobów centralnego systemu wykonawczego, w warunkach szybkiej ekspozycji nowego materiału albo przeciążenia WM rośnie bowiem ryzyko, że zawiedzie nawet w przypadku kilku najświeższych elementów. Dostępność materiału spoza obszaru bezpośredniego dostępu jest natomiast raczej niezależna od zasobów centralnego systemu wykonawczego. Wówczas można utrzymać – dobrze pasujący do wyjaśnienia dostępności materiału w obszarze najbardziej aktywnym – model pojemności limitowanej zasobami, jednak zawężony do procesów kodowania.

Do podobnych wniosków, analizując efekty pozycji w zadaniu Sternberga, doszli Balas, Stettner i Piotrowski (2005). Badacze zastosowali analogiczny do wyżej opisanego plan eksperymentalny, używając liter w warunkach werbalnym i japońskich ideogramów jako bodźców niewerbalnych. Japońskie ideogramy są mniej złożonym oraz – ze względu na specyficzne cechy dystynktywne – łatwiejszym do kodowania materiałem niż heksagramy. Autorów interesowało, czy wielkość ogniska uwagi jest stała, co postuluje Oberauer (2002), czy też – zgodnie z hipotezą Cowana (2005b) – jest elastyczna, to znaczy zależy na przykład od liczby zapamiętywanych informacji. Wyniki Balasa i zespołu wykazały istotne efekty pozycji w każdym z warunków zadania, to jest zarówno w przypadku ekspozycji 300 ms i 700 ms, jak i zbiorów

4-, 7- i 10-elementowych, lecz tylko dla wskaźnika poprawności. Niemniej interesujące badaczy wskaźniki poprawności i czasu reakcji dotyczące *targetu* umieszczonego na końcowych pozycjach w zestawie wskazywały na istotnie wyższą dostępność ostatniego elementu. Dowodzi tego najwyższa poprawność i najkrótszy czas reakcji w tym warunku zadania. W warunku werbalnym uzyskano wyniki świadczące o podwyższonej dostępności ostatnich trzech elementów, a w warunku niewerbalnym – jednego. Autorzy uznali zatem, że wyniki przemawiają za elastycznym, co do pojemności, ogniskiem uwagi.

Eksperyment 1.2. Jednorodność vs niejednorodność struktury pamięci roboczej

Zaprezentowane powyżej wyniki wydają się wskazywać na istotne zróżnicowanie funkcjonowania pamięci roboczej w zależności od rodzaju materiału, wielkości przechowywanego zbioru i tempa ekspozycji. Różnice te dotyczą przede wszystkim obszaru bezpośredniego dostępu, czyli informacji aktywnej, lecz chwilowo nieobjętej fokusem uwagi. Dostępność ostatniego elementu jest najwyższa i niezależna od innych czynników. Wskazuje to na niejednorodność systemu pamięciowego pod względem poziomu dostępności przechowywanych danych, za którą może kryć się hipotetyczny mechanizm aktywacyjny. Dane te nie pozwalają jednak na wnioskowanie o jednorodności systemu ze względu na format przechowywanych danych. Różnice w pojemności WM w zakresie bodźców werbalnych i niewerbalnych równie dobrze tłumaczy wielokomponentowy model Baddeleya, jak i aktywacyjny model Cowana. Nie wiadomo zatem, czy różnice te wynikają ze specyfiki funkcjonowania strukturalnie odrębnych podsystemów pętli artykulacyjnej i szkicownika wzrokowo-przestrzennego, czy też ze specyfiki kodowania bodźców różnych modalności w jednym systemie. W drugim eksperymencie badań własnych, dotyczącym jednorodności vs niejednorodności WM, podjęto próbę rozstrzygnięcia tej kontrowersji.

W zdaniu Sternberga użytym w eksperymencie 1.2 (Balas, Orzechowski, Stettner, Piotrowski, 2005; Orzechowski, Balas, 2005) manipulacji poddano rodzaj eksponowanego materiału. Ze względu na tę zmienną wprowadzono trzy warunki eksperymentalne: z materiałem werbalnym (cyfry), niewerbalnym (niewerbalizowalne heksagramy) albo mieszanym (zawierającym zarówno cyfry, jak i heksagramy). Warunek mieszany składał się z losowo dobranych i wymieszanych w ramach jednego zestawu bodźców werbalnych i niewerbalnych. Założono, że jeśli w podsystemie pamięciowym WM istnieją strukturalnie odrębne magazyny odpowiedzialne za krótkotrwałe przechowywanie materiału werbalnego i wzrokowego (Baddeley), to w warunku zawierającym materiał mieszany zostanie on rozdzielony do odpowiednich podsystemów: pętli artykulacyjnej albo szkicownika wzrokowo-przestrzennego. Co prawda, materiał „wielomodalnościowy” może być krótkotrwałe przechowywany z użyciem buforu epizodycznego, lecz tylko wówczas, gdy można

go zintegrować w spójne epizody. Taką ewentualność można wykluczyć w warunkach mieszanym, skoro użyte bodźce były niezależnymi elementami pewnej kategorii (to jest cyfr albo heksagramów), a ich dobór i kolejność ekspozycji była losowa. W obydwu z kolei warunkach materiału jednorodnego cały zestaw obciąży tylko jeden z dedykowanych mu podsystemów. Ryzyko werbalizacji materiału wizualnego zminimalizowano, stosując relatywnie krótki czas ekspozycji zapobiegający również zbrzydlaniu informacji w większe porcje.

Podobnie jak w eksperymencie 1.1, zdecydowano o użyciu heksagramów – trudnego do werbalizacji, a jednocześnie formalnie i percepcyjnie jednorodnego materiału bodźcowego. Oczekiwano wyraźnego zróżnicowania poziomu wykonania zadania pamięciowego w warunkach materiału werbalnego i niewerbalnego (na niekorzyść tego drugiego). Materiał werbalny i niewerbalny jest przetwarzany w różnych strukturach mózgowych, inne też są mechanizmy jego kodowania i wydobywania z LTM (zob. Hankała, 2009). Materiał werbalny, dobrze znany osobom badanym, jest kodowany z użyciem procesów kategoryzowania i werbalizacji, podczas gdy nieznan material wymaga stworzenia nowych reprezentacji, co jest stosunkowo powolnym i złożonym procesem. To wydaje się tłumaczyć istotne zróżnicowanie w zakresie poprawności w zadaniu Sternberga z użyciem liter i heksagramów. Można byłoby zastosować dobrze znany materiał niewerbalny, ale z dużym prawdopodobieństwem byłby on werbalizowany, czyli angażowałby – mówiąc językiem Baddeleya – zarówno szkicownik wzrokowo-przestrzenny, jak i pętlę fonologiczną, czego chciano uniknąć. Zastosowanie bardzo zróżnicowanego materiału niewerbalnego, o wyrazistych cechach dystynktywnych, na przykład wyróżniających się wielkością czy kolorem, zwiększyłoby natomiast efektywność kodowania (zob. Bar, 2003), lecz materiał straciłby walor jednorodności.

Zgodnie z modelem Baddeleya należałoby oczekiwać – porównując zestawy o takim samym rozmiarze, ale z różnym materiałem – wyższej poprawności wykonania zadania w warunkach mieszanym niż w warunkach tylko z materiałem werbalnym albo tylko z wizualnym. Przykładowo, jeśli w 8-elementowym zestawie bodźców znajdują się po cztery cyfry i heksagramy, to po rozdzieleniu ich do odpowiadających im podsystemów ich obciążenie będzie dwukrotnie mniejsze niż w obu jednorodnych warunkach zadania. Zatem w warunkach mieszanym prawdopodobieństwo poprawnej reakcji będzie wysokie nawet w dużych zestawach, które w warunkach jednorodnych znajdują się już poza granicą pojemności odpowiadających im podsystemów. Wyniki eksperymentu 1.1 wskazują, że zbiór 8-elementowy jest na tyle duży, iż wydaje się przekraczać pojemność jednego podsystemu bez względu na modalność stymulacji. W modelu Cowana (oraz innych modelach aktywacyjnych) zakłada się, że system pamięciowy jest jednorodny. Zarówno bodźce werbalne, jak i niewerbalne mogą zostać zaktywowane i krótkotrwale podtrzymywane, dzieje się to jednak w ramach jednego systemu. Za rezultaty zgodne z modelem jednorodnym można uznać poziom poprawności w warunkach mieszanym, który będzie średnią z poprawności w warunkach werbalnym i niewerbalnym. Wynika to z zaangażowania tylko jednego systemu do przechowywania zarówno jednorodnego, jak i mieszanego materiału.

W przypadku wskaźnika czasu reakcji można przyjąć, zgodnie z wynikami eksperymentu 1.1, że warunki jednorodne, podobnie jak w zakresie poprawności, będą różniły się istotnie – czas reakcji w warunku niewerbalnym będzie dłuższy niż w werbalnym. Pod tym względem modele wielomagazynowy i aktywacyjny nie generują odmiennych predykcji. W przypadku warunku mieszanego trudno o jednoznaczne predykcje co do czasu reakcji wynikające z modelu wielomodalnościowego. Z jednej strony, jeśli centralny system wykonawczy, uwzględniając kod reprezentacji bodźca testowego, musi „zdecydować”, który z buforów ma zostać przeszukany, to można spodziewać się wydłużenia czasu reakcji w porównaniu do warunków materiału jednorodnego. Mimo że żaden z buforów nie jest przeciążony (przechowuje przecież „zaledwie” połowę elementów zestawu), kontrola tak złożonego zadania może zająć dodatkowy czas. Jeśli jednak proces przeszukiwania inicjowany jest „oddolnie” i automatycznie, to czas reakcji będzie krótszy niż w warunkach jednorodnych, właśnie z powodu mniejszego obciążenia podsystemów. Bardziej jednoznaczne predykcje wynikają z modelu aktywacyjnego. Zestawiając z sobą warunki zrównoważone pod względem wielkości zbioru i zakładając istotną rozbieżność w czasie reakcji między zbiorem werbalnym a niewerbalnym, czas reakcji w warunku mieszanym powinien być średnią z obu warunków jednorodnych. Rozróżnienie obu modeli na podstawie wskaźnika czasu reakcji wydaje się – pomimo podjętych prób (Orzechowski, Balas, 2005) – wątpliwe. Dlatego też główne analizy dotyczyły poprawności wykonania zadania.

Aby nie faworyzować któregośkolwiek z porównywanych stanowisk, wprowadzono pewne rozwiązania metodologiczne, związane ze specyfiką warunku mieszanego. Przyjmując roboczo, że w etapie prezentacji bodźców funkcją centralnego systemu wykonawczego byłoby planowanie i monitorowanie wykorzystania podsystemów pamięciowych, uwzględniono dodatkowy czas potrzebny na ten proces. Co prawda jest to założenie hipotetyczne, niemniej przyjmuje się, że inicjowanie albo monitoring procesów automatycznych również mogą wymagać kontroli związanej z intencjonalnością i kierowaniem uwagi (Neumann, 1984). Dlatego też, pomimo że ekspozycja kolejnych elementów zestawu w zadaniu Sternberga w tempie 300–400 ms wydaje się wystarczająca do poprawnego wykonania zadania (por. Nęcka, 1997), czas ekspozycji ustalono na 700 ms. Nie zdecydowano się jednak na dłuższą ekspozycję, chociaż w oryginalnych badaniach Sternberga (1966) czas ten wynosił 1200 ms. Po pierwsze, ze względu na konieczność zastosowania dużych zestawów, które w warunkach jednorodnych miały przekraczać pojemność podsystemów pamięciowych. W przypadku ekspozycji takich zestawów krytyczna może okazać się nie tyle pojemność podsystemów, ile czas zaniku. Literalne zastosowanie oryginalnych warunków eksperymentalnych do 8-elementowego zbioru daje sumaryczny czas ekspozycji ciągu wynoszący 9,6 s, po czym – zgodnie z procedurą Sternberga – powinna nastąpić 2-sekundowa przerwa i dopiero po niej prezentacja bodźca testowego. Jeśli tempo prezentacji wynosi 700 ms na element, to cały zbiór złożony z 8 elementów jest ekspozycyjny w czasie 5,6 s, co w przybliżeniu jest równe wielkości parametru T_R , czyli średniego czasu przechowywania pełnej puli informacji w STM, który we-

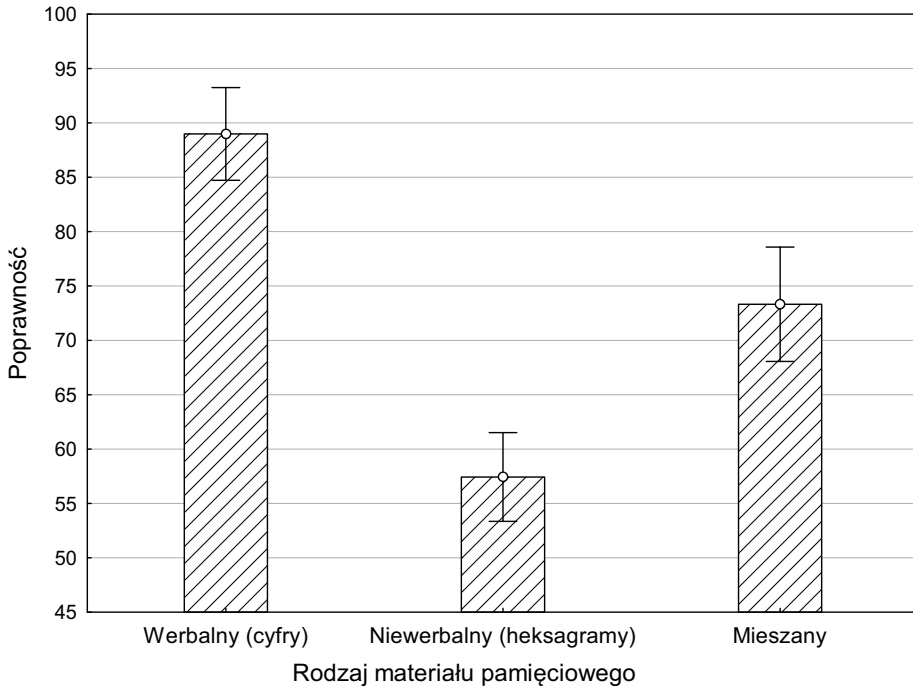
dług szacunków Lehrla i Fischera (1988) wynosi $5,4 \pm 0,8$ s. Po drugie, skrócenie czasu ekspozycji, zgodnie z intencją Nęcki (1997), miało służyć ograniczeniu stosowania wewnętrznych powtórek, co – jak założono – również nastąpi w prezentacji 700 ms. I po trzecie, krótsza prezentacja powinna utrudnić ewentualne próby werbalizacji heksagramów, które byłyby dodatkowym źródłem zakłóceń w warunku jednorodnego materiału niewerbalnego. Skrócenie czasu ekspozycji materiału werbalnego, również do 700 ms na element, miało z kolei zapobiec próbom stosowania mnemotechnik, a w szczególności zbrylania.

W przeprowadzonym eksperymencie wzięło udział 57 osób (34 kobiety i 23 mężczyźni; wiek: $21,5 \pm 1,8$ lat). Zadanie składało się z trzech serii: werbalnej, niewerbalnej i mieszanej. Pulę bodźców werbalnych stanowiło 10 cyfr arabskich (z zakresu 0–9), eksponowanych w postaci białych znaków na czarnym tle. Bodźcami niewerbalnymi było 10 heksagramów. W serii mieszanej eksponowane bodźce były losowane z połączonego zbioru 10 cyfr i 10 heksagramów, czyli łącznie z puli 20 elementów. Również kolejność serii była dobierana losowo w przypadku każdej osoby badanej.

Zadanie eksperymentalne oparto na procedurze Sternberga. Przed rozpoczęciem i na zakończenie ekspozycji każdego zestawu wyświetlano znak X, który spełniał rolę punktu fiksacji (przed zestawem) albo maski ostatniego elementu. Czas ekspozycji wynosił 700 ms na każdy element. Czas ekspozycji punktu fiksacji i maski wynosił 100 ms. Na zakończenie każdej próby prezentowano element testowy wraz z pytaniem „Czy ten znak występował? TAK/NIE”. Osoba badana udzielała odpowiedzi za pomocą komputerowej myszy. W eksperymencie manipulowano – oprócz rodzaju materiału – dwoma czynnikami: wielkością zbioru elementów (cztery, sześć albo osiem) i rodzajem próby (zgodna albo niezgodna). Plan eksperymentalny w każdej z trzech serii różniących się materiałem bodźcowym był identyczny. Łącznie w każdej serii zadanie zawierało 72 próby (po 12 w każdym z 6 warunków), czyli 216 w całym eksperymencie. Pomiędzy seriami osoby badane mogły zrobić sobie krótką przerwę. Rejestrowano czas i poprawność reakcji. Zadanie właściwe poprzedzono treningiem, w którym badani wykonywali 12 prób.

W wyniku manipulacji rodzajem materiału uzyskano istotną różnicę w poprawności reakcji ($F(2, 112) = 323,18, p < 0,0001$; zob. ryc. 15). Poprawność reakcji była najwyższa w warunku zawierającym bodźce werbalne (89%), a najniższa w warunku z heksagramami (58%). Poprawność w warunku mieszanym wyniosła 74% (kontrasty: warunek 1–2: $F(1, 56) = 601,34, p < 0,0001$; warunek 2–3: $F(1, 56) = 120,77, p < 0,0001$; warunek 1–3: $F(1, 56) = 272,69, p < 0,0001$). Interakcyjny wpływ czynnika rodzaju materiału (werbalny, niewerbalny, mieszany) i rozmiaru zbioru elementów (cztery, sześć, osiem) na poprawność reakcji okazał się istotny ($F(4, 224) = 5,12, p < 0,001$; zob. ryc. 16). Interakcja zmienia jednak tylko siłę efektów prostych, nie zmieniając ich kierunku w stosunku do efektów głównych.

Uzyskane rezultaty wydają się niezgodne z predykcjami wielomagazynowego modelu pamięci roboczej, a jednocześnie są dobrze dopasowane do predykcji wywiedzionych z koncepcji jednorodnych. Zgodnie z założeniami poprawność w serii

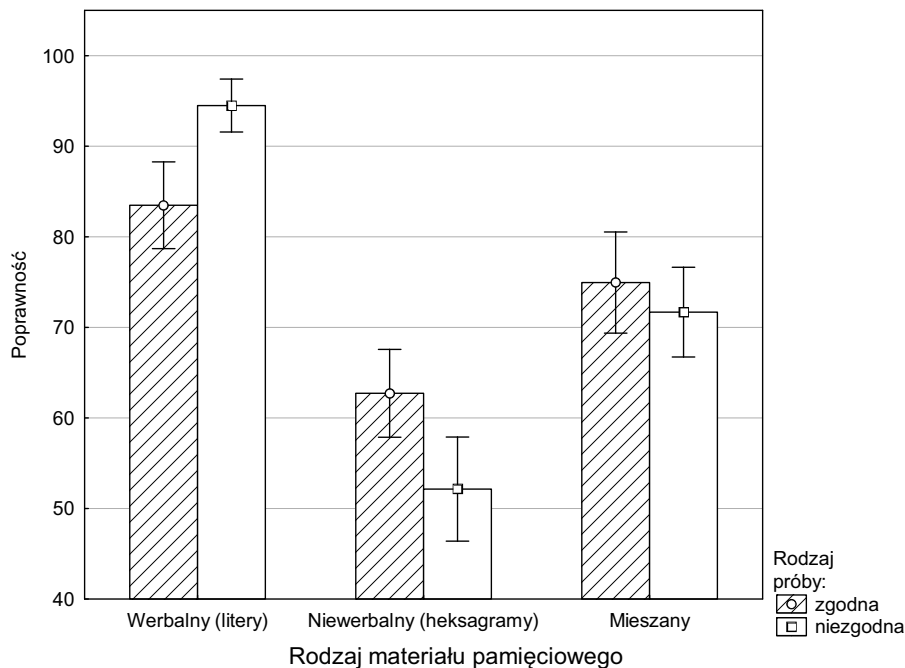


Ryc. 15. Średnia poprawność w zależności od rodzaju materiału ($F(2, 112) = 323,18, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: Orzechowski, Balas, 2005.

mieszanej okazała się wyższa niż w serii niewerbalnej, ale jednocześnie niższa niż w serii werbalnej. Co więcej, rezultat ten utrzymuje się niezależnie od obciążenia pamięci, to jest we wszystkich różniących się wielkością zbiorach elementów. Nie wydaje się zatem, aby system „odsylał” różnego rodzaju bodźce do odrębnych podsystemów, zyskując tym samym na ogólnej wydajności WM.

Uzyskano również istotny efekt interakcyjnego wpływu rodzaju materiału i typu reakcji na poprawność reakcji ($F(4, 224) = 5,12, p < 0,001$) – okazało się, że w serii werbalnej w próbach niezgodnych była ona wyższa niż w zgodnych (kontrast: $F(1, 56) = 54,91; p < 0,001$), a w serii niewerbalnej odwrotnie – poprawność reakcji niezgodnych była niższa niż zgodnych (kontrast: $F(1, 56) = 16,89, p < 0,001$). W warunkach mieszanym nie uzyskano istotnych różnic ze względu na typ próby. Szczególnie interesująca wydaje się różnica w poprawności w próbach zgodnych i niezgodnych, która sugeruje zmianę strategii wykonania zadania pomiędzy warunkami werbalnymi i niewerbalnymi. Różnica w ogólnej poprawności między nimi wskazuje, że skrajnie odmienny był poziom ich trudności, co może prowadzić do stosowania różnych strategii zgadywania w przeszukiwaniu WM (por. Chuderski, Orzechowski, 2005). O ile w łatwym warunkach werbalnym można było sobie pozwolić



Ryc. 16. Średnia poprawność w zależności od rodzaju materiału i typu reakcji ($F(4, 224) = 5,12$, $p < 0,001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: Orzechowski, Balas, 2005.

na strategię bardziej ryzykowną (więcej fałszywych alarmów, czyli błędnej detekcji zgodności), o tyle w trudnym warunku z heksagramami stosowano bardziej ostrożną strategię unikania ominięć (więcej błędnych reakcji stwierdzenia niezgodności).

Ekspertyment 1.3. Mechanizm dostępu do informacji w pamięci roboczej – efekt poprzedzania⁵

W kolejnym eksperymencie skupiono się na analizie ogólnego mechanizmu funkcjonowania WM (Orzechowski, Balas, 2005). O ile w koncepcji wielomodalnościowej Baddeleya mechanizmy te są złożone, o tyle w modelu Cowana uważa się, że mają one naturę aktywacyjną. Mechanizm kontrolny zarządza ogniskiem uwagi, dzięki któremu zmianie ulega poziom aktywacji wyselekcjonowanych informacji.

⁵ Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego „Uwagowe mechanizmy dostępu do informacji w pamięci roboczej” przyznanego przez Komitet Badań Naukowych (PB nr 2 H01F0 50 25).

Zmiana poziomu aktywacji elementów objętych ogniskiem uwagi wpływa na ich dostępność, za co za tym idzie na możliwość manipulowania nimi w bieżącym przetwarzaniu. Jeśli system kontrolny nie ma innych priorytetów, a tak jest w zadaniu, w którym osoba badana ma po prostu zapamiętać prezentowane jej bodźce, obserwuje się silny efekt pozycji. Użycie pamięci roboczej w sytuacjach naturalnych lub w złożonych zadaniach laboratoryjnych, w których trzeba selektywnie utrzymywać aktywność tylko wybranych informacji, stawia zatem o wiele większe wymagania systemowi pamięciowemu. Mechanizm aktywacyjny powinien pozwolić na efektywną manipulację aktywacją, przynajmniej do pewnego stopnia niezależnie od efektu pozycji. Założono więc, że manipulacja eksperymentalna poziomem aktywacji poszczególnych elementów znajdujących się aktualnie w pamięci roboczej powinna wpłynąć na proces przeszukiwania jej zawartości. Precyzując, jeśli eksperymentalnie zostanie zwiększony poziom aktywacji dowolnego elementu zapamiętanego zestawu, czyli również takiego, który może znajdować się poza ogniskiem uwagi, to element ten zostanie potraktowany priorytetowo w przeszukiwaniu. Wydaje się, że ocena znaczenia bodźca dla realizacji aktualnych celów powoduje jego większą dostępność, co jest zgodne zarówno z modelem wielomodalnościowym, jak i aktywacyjnym. W przeprowadzonym badaniu zastosowano jednak manipulację poziomem aktywacji, która nie dość, że nie miała związku z zadaniem, gdyż była niespecyficzna, to ponadto dokonywano jej suboptymalnie.

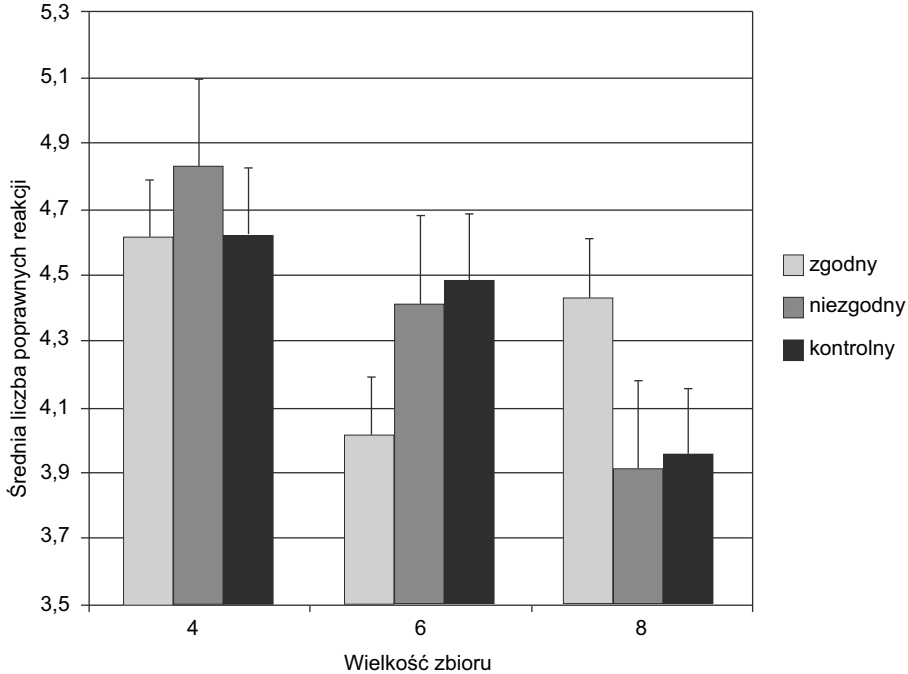
Manipulacja poziomem aktywacji elementów znajdujących się w WM polegała na okołoprogowym prezentowaniu osobom badanym bodźców przed ekspozycją bodźca docelowego. Skuteczność takiego sposobu manipulowania aktywacją zawartości pamięci wykazano w badaniach nad poprzedzaniem semantycznym z wykorzystaniem bodźców suboptymalnych (Marcel, 1980; 1983; zob. również Holender 1986). Konsekwencją aktywacyjnego charakteru mechanizmu podtrzymywania informacji w WM jest to, że manipulacja polegająca na suboptymalnej ekspozycji bodźców zgodnych albo niezgodnych z *targetem* powinna zmieniać poziom aktywacji odpowiadających im śladów pamięciowych. Założono, że suboptymalna ekspozycja bodźca zgodnego z *targetem*, który był obecny w prezentowanym wcześniej zbiorze elementów, powinna podwyższyć poziom jego aktywacji, a co za tym idzie również jego dostępność. W tej sytuacji należałoby spodziewać się wyższej poprawności reakcji niż w warunku kontrolnym. Suboptymalna ekspozycja bodźca niezgodnego z docelowym, ale takiego, który znajdował się we wcześniej prezentowanym zbiorze, powinna z kolei podnieść aktywację tego elementu, zwiększając prawdopodobieństwo błędu fałszywego alarmu. Pogorszenie poziomu wykonania zadania powinno wystąpić również w przypadku suboptymalnej ekspozycji nowego bodźca, to znaczy takiego, którego nie było w zestawie.

Założono, że w teorii Baddeleya poprzedzanie *targetu* bodźcem okołoprogowym nie powinno mieć wpływu na poziom wykonania zadania. Jeśli materiałem prezentowanym osobom badanym są bodźce werbalne, to trafiają one do pętli fonologicznej. Suboptymalnie natomiast eksponowany bodziec (również werbalny) albo w ogóle nie wpłynie na proces przeszukiwania pętli, gdyż nie jest przetwarzany

w pamięci roboczej, albo – przy zastosowaniu dłuższych czasów poprzedzania – trafi do szkieletownika wzrokowo-przestrzennego. W drugim przypadku również nie wpłynie na przeszukiwanie magazynu werbalnego ze względu na postulowany brak interferencji między informacją przechowywaną w odrębnych podsystemach pamięciowych. Interferencja mogłaby wystąpić, gdyby doszło do werbalizacji bodźca trafiającego do szkieletownika wzrokowo-przestrzennego, co w przypadku bodźców suboptymalnych wydaje się mało prawdopodobne.

W eksperymencie wzięło udział 35 osób (19 mężczyzn i 16 kobiet; wiek: $23,85 \pm 3,59$ lat). Bodźcami w zadaniu eksperymentalnym było 12 spółgłosek wybranych z alfabetu łacińskiego. Maskowanie następcze ekspozycji okołoprogowych stanowił znak #, kontrolnym zaś bodźcem podprogowym był znak E. Wszystkie bodźce były eksponowane w postaci czarnych znaków na białym tle. Eksperyment składał się ze 184 prób testowych podzielonych na dwa równoliczne bloki. Każda pojedyncza próba składała się kolejno z ekspozycji punktu fiksacji, serii liter, drugiej maski, bodźca suboptymalnego oraz litery docelowej. Czas ekspozycji masek i serii liter wynosił 300 ms na każdy bodziec. Bodźce suboptymalne eksponowano przez 50 ms, litera docelowa pojawiała się natomiast na ekranie aż do momentu wykonania reakcji. W badaniu manipulowano następującymi zmiennymi niezależnymi: (1) rodzaj wymaganej odpowiedzi na literę docelową (tak albo nie), (2) liczba liter w serii (4, 6 albo 8), (3) obecność bodźca poprzedzającego w zbiorze (tak albo nie), (4) zgodność bodźca poprzedzającego z literą docelową (tak albo nie). W warunkach kontrolnym bodziec poprzedzający należał do innej kategorii niż litery. Wszystkie zmienne niezależne były manipulowane wewnątrzgrupowo. Rejestrowano poprawność i czas reakcji. Osoby badane reagowały, używając myszy komputerowej (odpowiednio: prawy – TAK, lewy – NIE). Po przeprowadzeniu treningu złożonego z 12 prób badani przystępowali do właściwego eksperymentu.

Analiza poprawności reakcji nie wykazała istotnego efektu głównego rodzaju bodźca poprzedzającego, istotną jednak okazała się interakcja między rodzajem poprzedzania a wielkością zbioru ($F(4, 120) = 6,88, p < 0,001$; zob. ryc. 17). Poprzedzanie istotnie wpłynęło na poprawność reakcji, ale odmiennie w zbiorach o różnym rozmiarze. Z jednej strony, efekt poprzedzania zgodny z założeniami modelu aktywacyjnego pojawił się wyłącznie w warunkach zbioru 8-elementowego, lecz tylko w próbach niezgodnych ($F(4, 120) = 2,34, p = 0,07$; zob. ryc. 18). Poprawność była najwyższa w warunkach poprzedzania bodźcem zgodnym z *targetem*, niższa w warunkach kontrolnym i najniższa w warunkach poprzedzania bodźcem niezgodnym. Abstrahując od rodzaju próby (zgodnej vs niezgodnej), poprzedzanie bodźcem zgodnym generuje istotnie wyższą poprawność reakcji niż w pozostałych warunkach, między którymi nie wykryto istotnych różnic. W warunkach zbioru 4- i 6-elementowego – paradoksalnie – poprzedzanie bodźcem zgodnym z *targetem* prowadziło jednak do niższej poprawności wykonania zadania niż w warunkach bodźca niezgodnego. Z drugiej jednak strony, kiedy poddano analizie zmianę poprawności wraz ze wzrostem rozmiaru zbioru elementów, okazało się, że standardowo zachowywały się tylko warunki poprzedzania bodźcem niezgodnym z *targetem* oraz warunek kon-

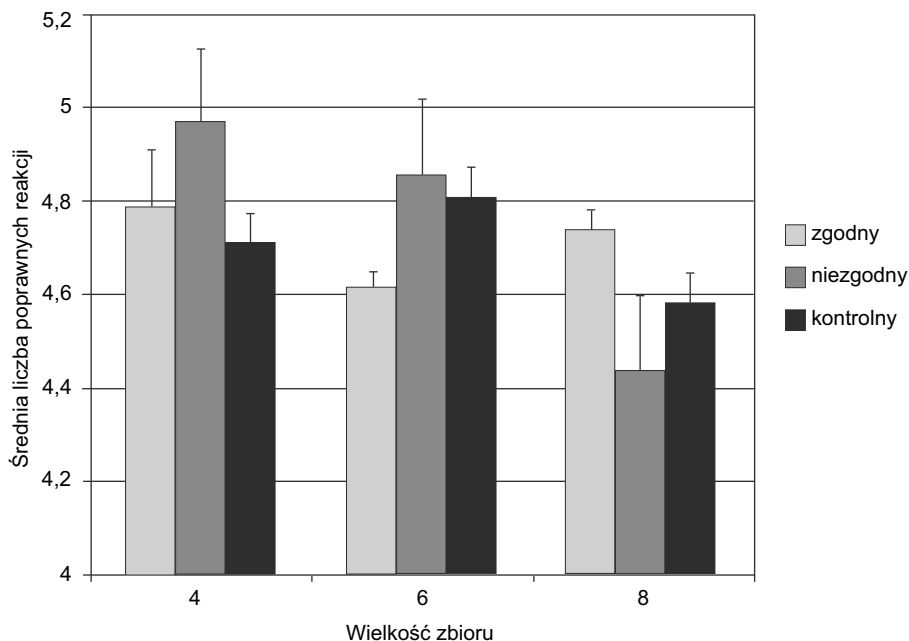


Ryc. 17. Średnia liczba poprawnych reakcji w zależności od wielkości zbioru (4, 6, 8) oraz zgodności bodźca poprzedzającego z bodźcem docelowym (zgodny, niezgodny, bodziec kontrolny) ($F(4, 120) = 6,88; p < 0,001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: Orzechowski, Balas, 2005.

kontrolny. W tych warunkach poprawność istotnie spadała wraz ze zwiększaniem się wielkości zbioru. W przypadku poprzedzania bodźcem zgodnym wyniki wydają się niespójne – początkowo poprawność spadała, a następnie rosła. W warunku reakcji negatywnych poprawność w warunku bodźca poprzedzającego zgodnego z *targetem* była jednak stała bez względu na wielkość zbioru.

Wyniki nie dają podstawy do jednoznacznej weryfikacji predykcji przedstawionych powyżej. Uzyskane rezultaty pozwalają na odrzucenie predykcji wyprowadzonych z teorii Baddeleya, choć jednocześnie nie pozwalają na bezkrytyczne przyjęcie teorii aktywacyjnej. Efekty suboptymalnego poprzedzania semantycznego mają wpływ na dostępność materiału zawartego w WM, ale wpływ ten nie daje czystego obrazu. Przede wszystkim jest to wpływ słaby i bardzo wrażliwy na inne czynniki w zadaniu Sternberga, a zwłaszcza na wielkość zbioru pamięciowego. W warunku 8-elementowym wyniki są najbliższe predykcjom modelu aktywacyjnego, lecz tak duży zbiór bodźców wydaje się przekraczać pojemność WM, jeśli przyjmiemy, że wynosi ona około 3–4 elementów werbalnych. Można jednak przyjąć, że jest to sytuacja typowa dla funkcjonowania pamięci roboczej, co niewątpliwie występuje w trakcie wykonywania złożonych zadań poznawczych. W takich sytuacjach mo-



Ryc. 18. Średnia liczba poprawnych reakcji w próbach niezgodnych w zależności od wielkości zbioru (4, 6, 8), zgodności bodźca poprzedzającego z bodźcem docelowym (zgodny, niezgodny, bodziec kontrolny) ($F(4, 120) = 2,34, p = 0,07$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: Orzechowski, Balas, 2005.

del aktywacyjny wydaje się dobrze dopasowany do uzyskanych rezultatów. Przy dużym obciążeniu WM, kiedy większość elementów zadania znajduje się nie tylko poza ogniskiem uwagi, ale nawet poza obszarem bezpośredniego dostępu, nawet relatywnie niewielka zmiana poziomu aktywacji ma wpływ na stopień dostępności bodźców. Wpływ ten jest szczególnie wyraźny w warunku niezgodnym, kiedy przeszukaniu podlega pełny zbiór elementów. Wówczas zmiana poziomu aktywacji elementów poza obszarem bezpośredniego dostępu ma znaczący wpływ na efektywność przeszukiwania – zmniejszając albo zwiększając ją w zależności od rodzaju poprzedzania.

Powyższe wnioski należy jednak ograniczyć tylko do sytuacji największego obciążenia pamięci roboczej. W warunkach 4- i 6-elementowych można byłoby spodziewać się słabszych efektów poprzedzania ze względu na wciąż relatywnie wysoki poziom aktywacji materiału pamięciowego. Wyniki paradoksalnie wskazują jednak na pozytywny wpływ poprzedzania bodźcem niezgodnym z *targetem* w porównaniu z warunkiem kontrolnym, a nawet z warunkiem bodźca pozytywnego. Przyjmując, że efekt wielkości zbioru (spadek poprawności w funkcji wielkości zbioru) jest naturalny, problem raczej wynika ze słabszego niż oczekiwano wpływu poprzedzania bodźcem zgodnym z *targetem* w zbiorach 4- i 6-elementowych. Nie udało się sa-

tysfakcjonująco wyjaśnić tego rezultatu, dlatego też do wyników eksperymentu 1.3 należy podchodzić z rezerwą.

Innego rodzaju próbę weryfikacji aktywacyjnego mechanizmu podtrzymywania informacji w WM z użyciem paradygmatu poprzedzania podjęli Piotrowski i Wierchoń (2005). Badacze w dwóch eksperymentach testowali wpływ poprzedzania na proces przeszukiwania pamięci roboczej z użyciem procedury Sternberga. Autorzy zainteresowali się tym, czy suboptymalne poprzedzanie zapamiętywanych bodźców z użyciem bodźców afektywnych wpłynie na zmianę dostępności materiału w pamięci roboczej. W przeciwieństwie jednak do poprzednio opisanego badania poprzedzaniu podlegał nie bodziec testowy, lecz jeden z elementów zestawu w fazie jego ekspozycji. Wychodząc od uwagowych koncepcji pamięci roboczej (Cowan, 1995; Engle, Oransky, 1999), badacze przewidywali, że bodźce afektywne automatycznie przyciągną uwagę (Dolan, 2000; Kensinger, Corkin, 2003). W procedurze poprzedzania suboptymalnego uwaga miałaby jednakże zostać skierowana nie na bodziec poprzedzający, lecz na występujący po nim bodziec poprzedzany. W rezultacie oczekiwano podniesienia poziomu aktywacji i wzrostu jego dostępności w procesie przeszukiwania WM. W wyniku podwyższenia aktywacji poprzedzanych afektywnie zapamiętywanych bodźców spodziewano się wydłużenia czasu zanikania informacji (krótszy czas reakcji i wyższa poprawność w porównaniu z warunkiem kontrolnym, to jest poprzedzanym bodźcem neutralnym).

W pierwszym eksperymencie badacze zastosowali zadanie Sternberga ze stałą wielkością zbioru (siedem elementów, którymi były litery alfabetu łacińskiego) z tempem ekspozycji 300 ms na element. Manipulacji eksperymentalnej podlegała obecność afektywnego bodźca poprzedzającego, którym było jedno ze zdjęć twarzy osób wyrażających złość, wybrane ze zbioru Ekmana i Friesena (1976). Wybrano właśnie emocję złości, gdyż zasadniczo emocje negatywne silniej niż pozytywne przyciągają uwagę (por. Williams, Mathews, McLeod, 1996). W warunku poprzedzania bodziec poprzedzający był prezentowany przez 20 ms zawsze przed bodźcem na czwartej pozycji w zbiorze, czyli teoretycznie poza ogniskiem uwagi i obszarem bezpośredniego dostępu. W warunku kontrolnym również suboptymalnie poprzedzano czwarty element zestawu, był to jednak bodziec neutralny i niesemantyczny – obraz wykorzystywany jako maska. Bodźce poprzedzające w każdym warunku były maskowane przez 20 ms. W drugim eksperymencie zrezygnowano z maskowania bodźców poprzedzających, a w warunku kontrolnym zastosowano poprzedzanie zdjęciem twarzy z neutralnym wyrazem mimicznym, wybranym również z zestawu Ekmana i Friesena.

W obu eksperymentach autorzy zaobserwowali istotny wpływ poprzedzania afektywnego na dostępność bodźca testowego mierzony poprawnością reakcji, tyle że odwrotny od zamierzonego. Dostępność bodźca poprzedzanego afektywnie zmniejszyła się w efekcie poprzedzania (choć to tylko szacunki wynikające z porównania do typowych efektów pozycji z literatury, a nie z przeprowadzonych analiz). W każdym razie nie zarejestrowano zwiększenia dostępności czwartego elementu w wyniku poprzedzania afektywnego, chociaż różnica między poprzedzaniem

bodźcem neutralnym i afektywnym była istotna w obu eksperymentach. Wyniki okazały się zaskakujące i niespójne: w pierwszym eksperymencie poprzedzanie bodźcem neutralnym zmniejszało, a w drugim – zwiększało poprawność, w porównaniu z prymowaniem bodźcami afektywnymi. Abstrahując od szczegółów, zarejestrowano wpływ poprzedzania afektywnego na poziom wykonania zadania pamięciowego, który – zgodnie z założeniami teoretycznymi – pokazuje, że można wpłynąć na poziom aktywacji przechowywanej informacji. Kierunek tego wpływu zależy od wielu czynników i często uzyskuje się sprzeczne wyniki (na przykład efekt kontrastu; Bargh, 1999; Godlewska, Ohme, 1997). Wpływ poprzedzania afektywnego na funkcjonowanie pamięci może być również negatywny, jeśli uwagę przyciąga afektywny wymiar złożonego bodźca, a inne jego aspekty, na przykład semantyka, są pomijane (por. Kensinger, Corkin, 2003; Williams, Mathews, MacLeod, 1996). W tym przypadku może to oznaczać przyciągnięcie uwagi przez afektywny bodziec poprzedzający o walencji negatywnej, jednocześnie odciągając od kodowania znaczenia bodźca poprzedzanego. Piotrowski i Wierzchoń powołują się na zjawisko ślepoty uwagowej (*attentional blink*; za: Keil, Ihssen, 2004), która mogła wystąpić chwilę po bodźcu afektywnym przyciągającym uwagę. Być może problemem jest też walencja bodźca – bodźce negatywne mogą wzbudzać lęk oraz tendencję do poszukiwania jego źródła, za które trudno uznać literę alfabetu. Niemniej wyniki wydają się wskazywać na możliwość zmiany dostępności elementów zbioru pamięciowego przez wpływ na poziom ich aktywacji. Stanowi to pewien argument przemawiający za modelem aktywacyjnym.

Eksperyment 1.4. Mechanizm dostępu do informacji w pamięci roboczej – efekt wyróżnienia

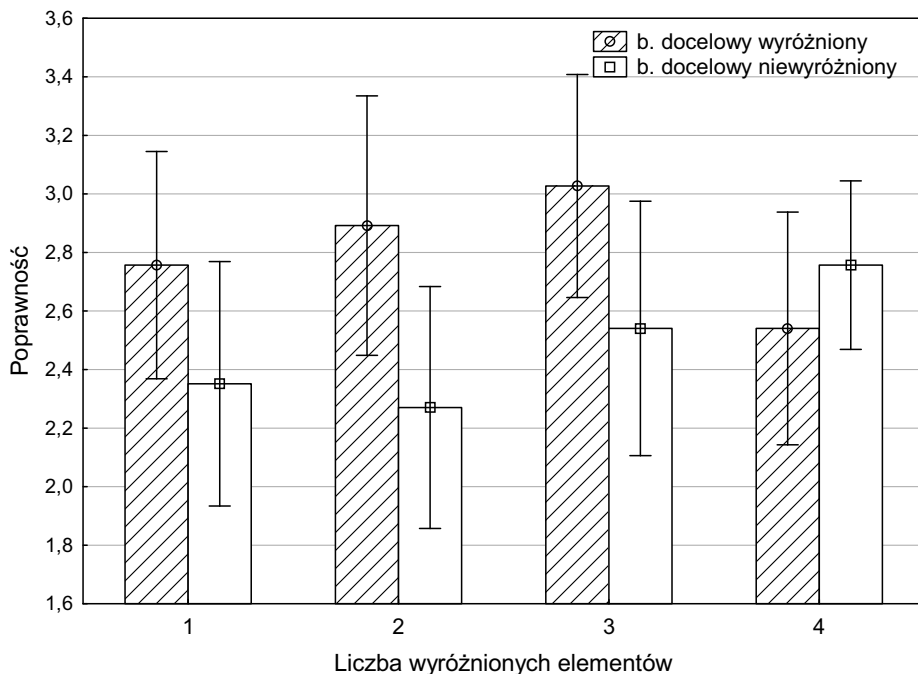
W kolejnym badaniu podjęto innego rodzaju próbę weryfikacji predykcji modelu aktywacyjnego (Balas, Stettner, Orzechowski, Piotrowski, 2005). W eksperymencie zaprojektowanym w paradygmacie Sternbega ponownie manipulowano poziomem aktywacji krótkotrwale zapamiętywanych bodźców w sposób, który miał zwiększać dostępność wybranych elementów, modyfikując tym samym klasycznie uzyskiwany efekt pozycji. Tym razem manipulacji poziomem aktywacji dokonywano w etapie prezentacji bodźców, czyli w momencie kodowania stymulacji. Podobnie jak w poprzednim eksperymencie, zakładano, że jeśli eksperymentalnie zostanie zwiększony poziom aktywacji dowolnego elementu zapamiętanego zestawu, czyli również takiego, który zgodnie z efektem pozycji powinien znaleźć się poza ogniskiem uwagi, to element ten zostanie potraktowany priorytetowo w przeszukiwaniu. Manipulacja polegała na wyróżnieniu za pomocą koloru (czerwonego) od jednego do czterech elementów prezentowanego ciągu cyfr (liczba wyróżnionych elementów związana z rozmiarem prezentowanego zbioru: w warunku czterech elementów wyróżniono

maksymalnie dwa elementy, a w warunku ośmiu elementów – maksymalnie cztery). Założono, że wyróżnienie kolorem będzie oddolnie (*stimulus driven*) nadawać priorytet takim bodźcom, zwiększając ich dostępność w momencie ekspozycji elementu testowego. Zwiększana dostępność wyróżnionych bodźców miała przyspieszyć czas i zwiększyć poprawność reakcji.

Wyniki eksperymentu pozwalają na próbę wnioskowania o pojemności ogniska uwagi (Cowan, 2001) czy obszaru bezpośredniego dostępu (Oberauer, 2002). Systematyczna manipulacja eksperymentalna dostępnością bodźców – w myśl założeń wspomnianych teorii – powinna prowadzić do kierowania na nie fokusu uwagi. Moment, w którym liczba bodźców wyróżnionych przekroczy pojemność ogniska uwagi, powinien uwidocznić się w zmniejszeniu dostępności materiału do poziomu bodźców niewyróżnionych. Jak wspomniano, szacunki dotyczące pojemności ogniska uwagi są odmienne u różnych badaczy, także w ramach teorii aktywacyjnych.

W przeprowadzonych badaniach zastosowano modyfikację zadania Sternberga. W zadaniu prezentowano zestawy cyfr (0–9) o rozmiarze czterech lub ośmiu elementów. W warunku czterech elementów kolorem wyróżniano jeden albo dwa elementy; warunek kontrolny nie zawierał wyróżnienia, to znaczy cały zestaw zawierał jednokolorowe, białe cyfry. W warunku ośmiu elementów wyróżniano od jednego do czterech elementów, i również wprowadzono warunek kontrolny bez wyróżnienia. Manipulacji eksperymentalnej podlegał ponadto typ próby (pozytywny/negatywny) oraz zgodność bodźca testowego z elementem wyróżnionym (zgodny/niezgodny). Czas prezentacji wynosił 300 ms na każdy element. W badaniu udział wzięło 37 osób (31 kobiet i 6 mężczyzn; wiek: $20,38 \pm 1,44$ lat).

Uzyskane wyniki wykazały istotny efekt główny wyróżnienia w zakresie poprawności reakcji ($F(1,36) = 24,81, p < 0,001$). Porównanie dotyczyło wyłącznie prób pozytywnych, kiedy *probe* był zgodny z jednym z elementów zestawu. W warunkach zgodności bodźca wyróżnionego kolorem z *probe* poprawność reakcji była istotnie wyższa niż w analogicznych warunkach, w których *target* był niewyróżniony. Istotna okazała się również interakcja czynników wyróżnienia oraz liczby wyróżnionych bodźców ($F(3, 108) = 2,53, p = 0,06$; zob. ryc. 19). Analiza kontrastów przeprowadzona w zestawach 8-elementowych wykazała istotne różnice w zakresie poprawności w warunkach wyróżnienia dwóch i trzech elementów w zbiorze. Zgodność bodźca testowego z elementem wyróżnionym istotnie podnosiła wówczas poprawność reakcji w porównaniu z warunkami, w których *probe* nie był wyróżniony. W warunkach jednego i czterech wyróżnionych elementów różnice te były natomiast nieistotne. Wynikają z tego dwa wnioski, interesujące z punktu widzenia mechanizmów funkcjonowania pamięci roboczej. Po pierwsze, manipulacja wyróżnieniem istotnie wpływała na dostępność wyróżnionych elementów, bez względu na ich pozycję w zestawie. Wyróżnienie było zatem wystarczającym sygnałem do nadania priorytetu losowym bodźcom w zestawie, podnosząc tym samym poziom ich aktywacji, co może się wiązać z ich utrzymaniem w obszarze bezpośredniego dostępu. Wskazuje na to zarówno efekt główny wyróżnienia, jak i kontrasty w warunkach dwóch i trzech wyróżnionych elementów. W przypadku wyróżnienia jednego elementu nie stwierdzono ana-



Ryc. 19. Średnia liczba poprawnych odpowiedzi w zależności od liczby wyróżnionych elementów i rodzaju *targetu* (wyróżnionego albo niewyróżnionego w eksponowanym zestawie).

Źródło: Balas, Stettner, Orzechowski, Piotrowski, 2005.

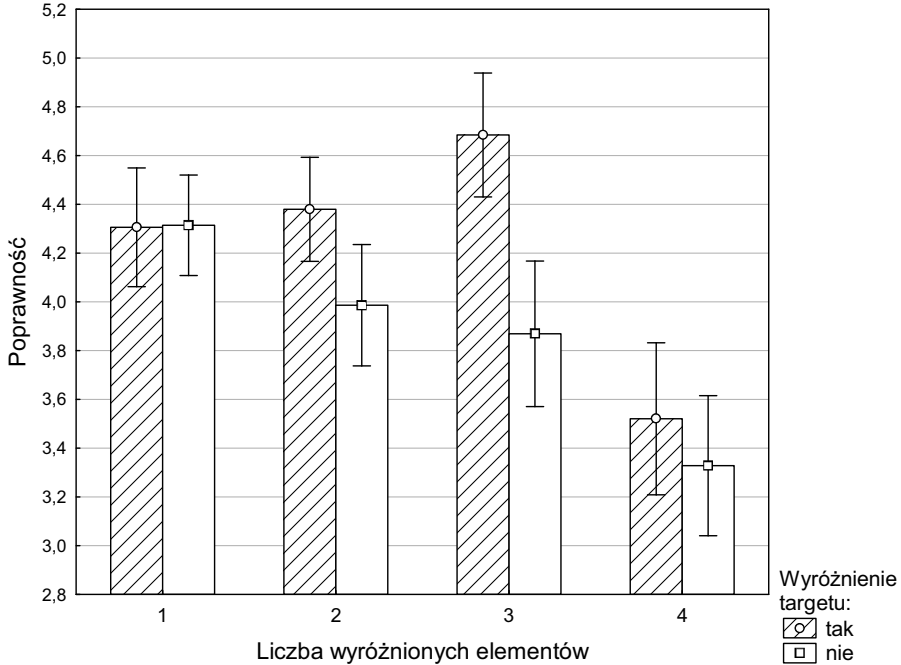
logicznej różnicy. Wynik ten wydaje się paradoksalny, dostępność jednego elementu powinna bowiem być jeszcze wyższa niż dwóch albo trzech. Przemawia on jednak na korzyść hipotezy Oberauera, który przyjmuje, że ognisko uwagi nadaje szczególny priorytet tylko jednemu elementowi, najczęściej temu, który jest najbardziej użyteczny w określonym zadaniu. Wskaźnikiem tej dostępności może być szczególna odporność na dystrakcję, to jest na przykład niezgodność bodźca docelowego z tym elementem. Wówczas, zarówno w sytuacji, w której *probe* jest zgodny, jak i kiedy jest niezgodny z najbardziej aktywnym bodźcem, poprawność reakcji nie będzie się różnić. Jeśli bowiem zgodność taka nie występuje – mechanizm kontrolny stosunkowo łatwo hamuje reakcję na ten bodziec, uruchamiając przeszukanie pozostałych elementów zestawu. W przypadku czterech wyróżnionych bodźców możemy natomiast mieć do czynienia z dwiema możliwościami interpretacji uzyskanych wyników. Po pierwsze, w tych warunkach może dochodzić do przekroczenia pojemności obszaru bezpośredniego dostępu, co obniża poprawność do poziomu porównywalnego z warunkiem, w którym *probe* pochodzi z niewyróżnionej części zestawu. Po drugie, wyróżnienie traci swoją moc dystynktywną, w zestawie jest bowiem tyle samo wyróżnionych co niewyróżnionych elementów. Wyjaśnienie drugie wydaje się jednak

mniej prawdopodobne, ponieważ: (1) wyróżnienie wpływa na dostępność materiału oddolnie i automatycznie, a więc działa nawet w sytuacji równowagi między liczbą elementów wyróżnionych i niewyróżnionych, oraz (2) ze względu na randomizację prób osoba badana nie wie, ile elementów zostanie wyróżnionych, zatem nawet gdyby ich aktywne podtrzymywanie było procesem intencjonalnym, to również w tych próbach powinno nadać priorytet wyróżnionym elementom. Wyniki wskazują więc na aktywacyjny charakter mechanizmów pamięciowych oraz na to, że pojemność obszaru o zwiększonej dostępności wynosi trzy elementy, przy czym jeden z nich, objęty fokusem uwagi, jest szczególnie uprzywilejowany. Rezultaty te są wykazują dużą zgodność z założeniami modelu pamięci roboczej Oberauera.

W kolejnym eksperymencie (Balas, Stettner, Orzechowski, Piotrowski, 2005) dokonano replikacji powyżej opisanego eksperymentu, z tym że oprócz bodźców werbalnych użyto bodźców niewerbalnych. Oczekiwano zasadniczo zbieżnych rezultatów w obydwu przypadkach, chociaż spodziewano się, że zastosowanie materiału niewerbalnego może prowadzić do niższej poprawności reagowania w porównaniu z warunkiem werbalnym. Interesujące dla autorów było jednak porównanie nie tyle bezwzględnych wartości wskaźnika poprawności między warunkami różniącymi się materiałem, ile wzorców reagowania wewnątrz obu warunków. Plan eksperymentalny był zatem identyczny jak w poprzednim eksperymencie. Manipulacja rodzajem materiału odbywała się w planie międzygrupowym. W warunku werbalnym ponownie użyto cyfr z przedziału 0–9, bodźcami niewerbalnymi było natomiast 10 wzorów schematycznych liści o jednakowym kształcie, lecz różnym układzie żyłek.

Uzyskano istotne efekty główne – rodzaju materiału: poprawność w warunku materiału niewerbalnego była istotnie niższa, a czas reakcji dłuższy niż w warunku materiału werbalnego; wielkości zbioru: poprawność była niższa, a czas reakcji dłuższy w warunku ośmiu elementów niż w warunku czterech elementów; rodzaju próby: w próbach negatywnych osoby badane uzyskiwały wyższą poprawność niż w pozytywnych. Istotny był również efekt wyróżnienia: poprawność w warunkach zgodności *probe* z bodźcem wyróżnionym kolorem była wyższa niż w warunku niezgodnym oraz kontrolnym (bez wyróżnienia). Istotna okazała się również interakcja czynników wyróżnienia oraz liczby wyróżnionych bodźców (por. ryc. 20). Analiza kontrastów przeprowadzona w zestawach 8-elementowych wykazała istotne różnice w zakresie poprawności w warunkach wyróżnienia dwóch i trzech elementów w zbiorze. Zgodność bodźca testowego z elementem wyróżnionym istotnie podnosiła wówczas poprawność reakcji w porównaniu z warunkami, w których *probe* nie był wyróżniony. W warunkach jednego i czterech wyróżnionych elementów różnice te były natomiast nieistotne.

Wydaje się zatem, że mechanizm aktywacyjny funkcjonuje zasadniczo podobnie w przypadku różnego rodzaju materiału. Zasadny, za Oberauerem, jest podział aktywnego obszaru pamięci roboczej na obszar bezpośredniego dostępu obejmujący maksymalnie trzy elementy oraz jeden element objęty fokusem uwagi. Co ciekawe, wniosek ten można rozciągnąć na różnego typu materiał (zarówno werbalny, jak i niewerbalny), chociaż ogólna dostępność bodźców niewerbalnych jest wyraźnie



Ryc. 20. Średnia liczba poprawnych odpowiedzi w zależności od liczby wyróżnionych elementów i rodzaju *targetu* (wyróżnionego albo niewyróżnionego w eksponowanym zestawie).

Źródło: Balas, Stettner, Orzechowski, Piotrowski, 2005.

niższa. Wynika to być może z dużego podobieństwa wizualnego bodźców niewerbalnych, które ponadto – w przeciwieństwie do cyfr – nie posiadają reprezentacji w LTM pozwalających je automatycznie różnicować. Pierwszy czynnik utrudnia dyskryminację stymulacji i prowadzi do silniejszej interferencji, drugi natomiast powoduje utrudnienie procesu kodowania bodźców, co – przy takim samym czasie prezentacji jak w warunkach werbalnych – obniża poprawność reakcji.

Podsumowanie

Podstawowym pytaniem, na które poszukiwano odpowiedzi w pierwszej serii badań, była kwestia struktury systemu pamięci roboczej oraz jej podstawowej charakterystyki, jaką jest jej pojemność informacyjna. Po pierwsze, prezentowane badania dostarczają argumentów zgodnych z tezą o niejednorodnej strukturze WM i jej ograniczonej pojemności informacyjnej. Dane uzyskane w eksperymencie 1.1 wydają się falsyfikować dwa skrajne stanowiska dotyczące struktury WM: niejed-

norodne magazynowe i jednorodne aktywacyjne. Analizując szczegółowo efekty pozycji w warunkach różnego rodzaju i wielkości materiału bodźcowego oraz tempa ekspozycji, wyróżniono trzy obszary w strukturze systemu pamięciowego WM: (1) ognisko uwagi, o stałej pojemności wynoszącej jeden element (niezależnie od rodzaju materiału, jego rozmiaru i tempa ekspozycji), (2) obszar bezpośredniego dostępu, o zmiennej pojemności wynoszącej 2–3 elementy werbalne i 0–1 element niewerbalny, (3) obszar podwyższonej dostępności, również o zmiennej pojemności powiązanej z rozmiarem zaprezentowanego zbioru elementów. Szczególną wrażliwość na manipulacje eksperymentalne zastosowane w zadaniu pamięciowym wykazuje obszar bezpośredniego dostępu, co może być związane z mocą dystryktywną materiału wynikającą z głębokości jego kodowania. Płytko kodowane reprezentacje bodźców, na przykład w związku z wysokim tempem prezentacji albo dużym rozmiarem nowych bodźców niewerbalnych, mogą nie zawierać wystarczających informacji do uruchomienia procesu przypominania (*recollection*) będącego wydajnym sposobem wydobywania informacji z WM. Wyniki te są bardzo blisko rozstrzygnięć proponowanych na przykład przez Oberauera. Wydaje się również, że ze względu na wrażliwość obszaru bezpośredniego dostępu na manipulacje eksperymentalne uzasadniona jest hipoteza Oberauera mówiąca o związku pojemności właśnie tego obszaru z efektywnością wykonania złożonych zadań poznawczych. Eksperyment 1.2 dostarczył również rezultatów pasujących lepiej do modeli jednorodnych ze względu na rodzaj materiału (werbalny vs niewerbalny), czyli w zasadzie większości modeli aktywacyjnych (na przykład Cowana, Oberauera, McErle'a, Engle'a). Uzyskane dane nie wskazują, aby w zadaniu wymagającym krótkotrwałego zapamiętania materiału mieszanego, zarówno werbalnego, jak i niewerbalnego, aktywną rolę odgrywały dedykowane różnym modalnościom niezależne podsystemy pamięciowe.

Podstawę mechanizmu systemu pamięciowego WM może ponadto stanowić mechanizm aktywacji, który wpływa na dostępność informacji, i co za tym idzie na przykład kolejność, w jakiej jest przeszukiwana zawartość pamięci. W modelu Cowana, podobnie jak w innych modelach aktywacyjnych, w tym mechanizmie upatruje się źródeł efektywnego funkcjonowania pamięci roboczej jako całości. Manipulacja za pomocą suboptymalnie prezentowanych bodźców semantycznych, zastosowana w eksperymencie 1.3, okazała się co prawda relatywnie słaba i efektywna w zasadzie tylko w warunkach największego obciążenia WM, uzyskane rezultaty świetnie jednak wydają się pasować do modelu aktywacyjnego. Co więcej, są one względnie spójne z innymi wynikami, w których poziomem aktywacji bodźców w WM manipulowano za pomocą podprogowych bodźców afektywnych (Piotrowski, Wierzchoń, 2005). Manipulacja wyróżnieniem części materiału pamięciowego, zastosowana w eksperymencie 1.4, również raczej potwierdza aktywacyjną naturę nie tylko śladów pamięciowych, ale i mechanizmu zapewniającego ich dostępność bieżącemu przetwarzaniu. Co istotne, uzyskany w ten sposób wpływ na dostępność materiału powodował „ulożenie” wyróżnionych bodźców w obszarze bezpośredniego dostępu bez względu na pozycję *targetu* w zestawie. Wpływ manipulacji oka-

zał się zatem bardzo silny, a jego wyjaśnienie jest dobrze dopasowane do predykcji teorii aktywacyjnych.

Za wcześnie byłoby twierdzić, że uzyskane dane są jednoznacznie sprzeczne z wielokomponentowym modelem Baddeleya. Można odnieść wrażenie, że badacz nie docenia jednakże znaczenia aktywacji jako centralnego mechanizmu odpowiedzialnego za kodowanie i manipulowanie informacją przechowywaną w pamięci roboczej. Można też założyć, że skoro prostszy model radzi sobie z wyjaśnieniem uzyskanych rezultatów, to roboczo należy przyjąć jego lepsze dopasowanie, choć nie bezkrytycznie. Model Cowana zdaje się nieco upraszczać strukturę WM, która nie wygląda na tak jednorodną, jak badacz sugeruje. Być może problem polega na zakładaniu jednorodności struktury na podstawie możliwości przetwarzania materiału różnej modalności w ramach jednego systemu. Uzyskane wyniki wskazują, że taka możliwość istnieje pomimo znaczących różnic w sposobie kodowania i operowania materiałem różnych modalności. W tym sensie WM byłaby „stołem roboczym”, na którym jest możliwe manipulowanie (na przykład poszukiwanie relacji) różnego rodzaju informacją. Struktura WM jest natomiast niejednorodna w zupełnie innym sensie, to jest w zakresie obszarów o różnym poziomie aktywacji, a co za tym idzie i dostępności. Zróżnicowanie to wynika z odmiennych mechanizmów poznawczych i ich właściwości, które wpływają na ową dostępność. Pod tym względem uzyskane wyniki potwierdzają przypuszczenia Oberauera. Wątek ten jeszcze powróci w próbie roboczej syntezy zaproponowanej w ostatniej części monografii.

Część II

**PROCES PRZESZUKIWANIA
PAMIĘCI ROBOCZEJ**

Przeszukiwanie pamięci roboczej

Podjęty w drugiej serii badań problem dotyczy jednego z najważniejszych procesów pamięciowych, którym jest przeszukiwanie zasobów pamięci roboczej. Podążając za rozważaniami Van Zandt i Townsenda (1993), celem analizy zadań poznawczych wymagających przeszukiwania, jakim jest na przykład zadanie Sternberga, jest opis formalnych parametrów tego procesu. Logan (2002) wyróżnia cztery dymensje pozwalające na dokonanie takiego opisu. Są to: (1) sekwencyjność – równoległość (*serial – parallel*), (2) dyskretność – ciągłość (*discrete – continuous*), (3) limitowane – Nielimitowane wydajnością (*limited – unlimited capacity*), (4) samowyczerpujące – wyczerpujące (*selfterminated – exhaustive*). Problem ten doczekał się wielu analiz, które poszerzają typologię Logana o dodatkowe możliwości. Rozwiązania metodologiczne umożliwiające wnioskowanie o powyższych charakterystykach procesów poznawczych zaczęły się pojawiać na przełomie lat 60. i 70. ubiegłego wieku (na przykład Das, Kirby, Jarman, 1975; Donders, 1968; Sternberg, 1969b) i nadal są przedmiotem analiz (na przykład Logan 2002; Pashler, Johnston 1989; Paulewicz, 2010; Townsend, 1990; 2001; Van Zandt, Townsend 1993). Pozwalają one na dopasowanie modelu przetwarzania informacji do wyników uzyskiwanych w szerokiej gamie zadań poznawczych (z formalizacją matematyczną włącznie; por. Snodgrass, Townsend, 1980; Townsend, Ashby, 1983; Van Zandt, Townsend, 1993). Prowadzone są również analizy, których celem jest formułowanie teorii wyjaśniających proces przeszukiwania nałożonych na konkretne modele pamięci (McErlee, Doshier, 1989; Yonelinas, 2002; Oberauer, 2001; Unsworth, Engle, 2005). W tej serii badań podjęto próbę analizy procesu przeszukiwania zarówno w perspektywie formalnej, jak i teoretycznej. Jej rezultatem było sformułowanie dwufazowego modelu przeszukiwania pamięci roboczej (Nęcka, Orzechowski, Florek, 2001; Nęcka, Orzechowski, Balas, w przygotowaniu) oraz seria badań, których celem była weryfikacja jego predykcji. W niniejszej pracy przedstawiono najnowszą wersję tego modelu.

Nie rozwijając nadmiernie wątków historycznych, przypomnijmy tylko, że konkluzje z badań Sternberga (1966) były takie, iż przeszukiwanie pamięci krótkotrwałej jest procesem sekwencyjnym i wyczerpującym. Sekwencyjna (*serial*) architektura procesu jest rozumiana jako następstwo procesów dyskretnych, które charakteryzuje się tym, że kolejna składowa złożonego procesu rozpoczyna się po zakończeniu poprzedniej. Procesy równoległe (*parallel*) rozpoczynają się i przebiegają natomiast w tym samym momencie, lecz czas ich wykonania może być różny. Założenie o dyskretności procesów oznacza, że wyniki realizacji pewnego procesu są przekazywane do następnego natychmiastowo i w całości po jego zakończeniu. Jeśli proces jest ciągły, przekazywanie jego wyników do kolejnych etapów przetwarzania odbywa się w częściach, co może oznaczać możliwość inicjacji innych procesów składowych

przed zakończeniem procesu ciągłego. W takiej sytuacji istnieje teoretyczna możliwość inicjacji nawet wielu procesów przebiegających przynajmniej częściowo równoległe z innymi. Wówczas proces ma architekturę kaskadową (McClelland, 1979).

Sekwencyjność procesu przeszukiwania pamięci oznacza, że proces porównania elementów zapamiętywanego zestawu z *probe* może zachodzić tylko dla jednego z elementów w danym momencie. O sekwencyjności przeszukiwania Sternberg wnioskuje na podstawie liniowego przyrostu czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru elementów. Jeśli przeszukiwanie byłoby równoległe, to, zdaniem Sternberga, funkcja czasu reakcji od wielkości zbioru elementów powinna być płaska. Przeszukiwanie wyczerpujące (*exhaustive*) oznacza z kolei, że obejmuje ono całość określonego materiału niezależnie od tego, czy poszukiwany sygnał został odnaleziony, czy nie. Przeszukiwanie samowygaszające (*self-terminated*) jest przerywane w momencie odnalezienia poszukiwanego sygnału albo popełnienia błędu fałszywego alarmu. W zadaniu Sternberga o tej tak zwanej regule stopu wnioskuje się na podstawie różnicy w czasie reakcji między próbami zgodnymi a niezgodnymi, czyli warunkami obecności i braku *targetu* w zestawie. Sternberg systematycznie nie uzyskiwał istotnych różnic między tymi warunkami zadania, co skłoniło go do przyjęcia wniosku o wyczerpującym charakterze przeszukiwania. O ile w przypadku prób niezgodnych jest to teoretycznie uzasadnione (żeby „wiedzieć”, że w zestawie nie ma *targetu*, trzeba porównać *probe* z wszystkimi dostępnymi elementami zestawu), o tyle jest to zaskakujące w próbach zgodnych. W tym wypadku przeszukiwanie mogło zostać wygaszone po stwierdzeniu zgodności bodźca docelowego z którymś z elementów zestawu, czyli powinno – średnio w dużej liczbie prób – odpowiadać przeszukaniu mniej więcej połowy zestawu. Czas reakcji w próbach zgodnych powinien być zatem istotnie krótszy niż w niezgodnych. Badacz wyjaśniał ten rezultat automatycznym charakterem przeszukiwania, którego jedną z właściwości jest tak zwana balistyczność (por. Nęcka, 2002). Proces automatyczny jest zintegrowaną całością, która po jej zainicjowaniu nie może być modyfikowana czy przerwana. Do dziś jest zagadkowe, dlaczego Sternberg nie uzyskał różnic w efekcie manipulacji rodzajem próby (zgodne/niezgodne). Niemniej wielokrotnie w późniejszych badaniach wykazano istotność tej różnicy wskazującą na model wyczerpującego przeszukiwania w przypadku prób niezgodnych i samowygaszającego w próbach zgodnych (na przykład Egeth, Jonides, Wall, 1972; Van Zandt, Townsend, 1993).

Architektura procesu i reguła stopu procesu to dopiero dwa z trzech wyróżnionych przez Van Zandt i Townsenda (1993) parametrów funkcjonowania systemu, które są istotne dla jego formalnego opisu. Badacze uwzględniają jeszcze wydajność systemu (limitowaną, Nielimitowaną, superwydajną) rozumianą jako stosunek ilości informacji przetworzonej do czasu przetwarzania. Jeśli wraz ze wzrostem obciążenia poznawczego rośnie czas wykonania zadania, wnioskuje się o limitowanej wydajności systemu. I odwrotnie, jeśli wzrost ładunku nie powoduje zmiany w czasie wykonania, proces jest Nielimitowany. Istnieje też teoretycznie jeszcze taka możliwość, że wzrost ładunku powoduje skrócenie czasu reakcji. Wówczas proces charakteryzuje się superwydajnością. W zadaniu Sternberga, przynajmniej w jego klasycznej posta-

ci, mamy do czynienia z liniowym wzrostem czasu reakcji wraz z wielkością zbioru elementów, dlatego też uprawniony wydaje się wniosek o limitowanym charakterze procesu przeszukiwania.

Powyższe wnioskowanie ma jednak pewne ograniczenia. Aby utrzymać wniosek o sekwencyjnym charakterze przeszukiwania, wysnuty przez Sternberga na podstawie liniowego wzrostu czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru, należy przyjąć, że równoległe przeszukiwanie charakteryzowałoby się wydajnością nielimitowaną. Jeśli jednak założyć, że proces jest limitowany wydajnością (*capacity limited*), to wzrastające obciążenie poznawcze prowadzi do podziału ograniczonych zasobów na coraz większą liczbę elementów. W związku z tym większy rozmiar zbioru oznacza mniej zasobów przypadających na pojedynczy element, co prowadzi do wzrostu czasu reakcji, nawet gdyby przeszukiwanie było równoległe. Rejestrowany przyrost czasu reakcji wraz z rosnącym rozmiarem zbioru nie może być traktowany jako dowód sekwencyjności przetwarzania, nie pozwala zatem na rozstrzygnięcia w zakresie architektury przeszukiwania. Jedynie płaska funkcja $RT(SS)$ wydaje się silnym wsparciem dla modelu równoległego.

Tak zwany standardowy model sekwencyjny wymaga jeszcze innych założeń, które mogą zostać użyte do jego falsyfikacji. Zakłada, że czas przetwarzania każdego elementu jest stały i niezależny od wielkości zbioru⁶, pozycji *targetu* w zbiorze i podobieństwa elementów. Oznacza to między innymi, że jeśli przeszukiwanie jest sekwencyjne i wyczerpujące (warunek niezgodny), czas przeszukiwania powinien być stały bez względu na pozycję *targetu* w zbiorze, więc nie powinien wystąpić istotny efekt pozycji (funkcja RT od pozycji powinna być płaska). Aby utrzymać model sekwencyjny, wystąpienie efektu pozycji wymagałoby przyjęcia założenia o superwydajności, które w przypadku procesu przeszukiwania pamięci jest mało prawdopodobne. Analiza efektów pozycji w zależności od wielkości zbioru w eksperymencie 1.1, jak i dane innych badaczy (Townsend, Roos, 1973; Townsend, 1974) raczej falsyfikują ten model przeszukiwania.

Powyższe rozważania prowadzą do konkluzji, że na podstawie dostępnych danych nie można jednoznacznie rozstrzygnąć architektury procesu przeszukiwania WM. W każdym razie zarówno standardowy model sekwencyjny, jak i standardowy model równoległy nie pasują do wielokrotnie replikowanych wyników zadania Sternberga. W zakresie wydajności systemu i reguły stopu wyniki są już bardziej konkluzywne. Wydaje się, że przeszukiwanie jest limitowane wydajnością, przy czym w próbach niezgodnych jest to proces wyczerpujący, podczas gdy w próbach zgodnych – samowygasający. Warto zaznaczyć, że analizy Van Zandt i Townsenda dotyczyły przeszukiwania zarówno pola uwagowego, jak i pamięci. Rezultaty badań w obu obszarach, częściowo zbieżne, przez niektórych badaczy były interpretowane na korzyść tezy o wspólnej lokalizacji procesów uwagowych i pamięciowych

⁶ Twierdzenie to oznacza, że niezależnie od wielkości zestawu czas przetworzenia jednego elementu jest stały, lecz zwiększanie rozmiaru zestawu wydłuża – najczęściej liniowo – ogólny czas reakcji (w przetwarzaniu sekwencyjnym czas reakcji jest sumą czasów realizacji procesów składowych).

(Guilford, Juola, 1976), lecz nie jest to pogląd powszechny (Hockley, 1984; Townsend, 1974). Również Nęcka i współpracownicy (Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006) sceptycznie podchodzą do tego rodzaju pomysłów. Niemniej problem unitarności vs specyfiki procesów uwagowych i kontrolnych w pamięci roboczej nie jest jak dotąd rozstrzygnięty.

Pojawia się jednak pytanie, czy opis przeszukiwania pamięci w kategoriach architektury, reguły stopu i wydajności stanowi wyjaśnienie mechanizmów tego procesu. Shulman (1970) twierdzi, że w ten sposób nie da się rozdzielić mechanizmów przeszukiwania i porównywania. Zarówno opis procesu w kategoriach modeli magazynowych, jak i wyżej analizowanych formalnych charakterystyk nie jest wystarczający dla wyjaśnienia tych złożonych mechanizmów.

Koncepcjami wyjaśniającymi mechanizm przeszukiwania WM, które zdaniem na przykład Oberauera (2006) można nałożyć na zadanie Sternberga, są modele dwóch procesów rozpoznawania (McElree, Doshier, 1989; zob. też Yonelinas, 1999; 2002). Pierwszym procesem jest ocena znajomości (*familiarity*), która wynika z aktywacji elementów pamięci długotrwałej powyżej poziomu wyjściowego. Proces ten zachodzi automatycznie, a więc jest szybki i – jak się wydaje – niezależny od zasobów systemu kontrolnego. Drugim procesem jest przypominanie (*recollection*), czyli kontrolowane przeszukiwanie dostępnej informacji z uwzględnieniem określonych kryteriów i kontekstu, na przykład litery lub słowa w określonej lokacji przestrzennej czy relacji względem innych informacji. Obydwa procesy przeszukiwania zachodzą równolegle, a ich wpływ na wyniki rozpoznania jest niezależny (Jacoby, 1991; Yonelinas, 2002). Oznacza to, że proces przeszukiwania, który opiera się na ocenie znajomości, może – jako szybszy niż przypominanie – wywołać reakcję w zadaniu Sternberga (Yonelinas, Jacoby, 1994; 1996). Ponieważ opiera się on na ogólnej ocenie podobieństwa *probe* i zapamiętanego zestawu elementów, jest z definicji bardziej zawodny niż przypominanie i niesie z sobą większe ryzyko błędu. Ten sposób rozumowania sugeruje obecność innego procesu kontrolnego, jakim jest hamowanie automatycznej reakcji, którą – w zadaniu Sternberga – jest wynik przeszukiwania opartego na ocenie znajomości. Kiedy wskazówki pozwalające na precyzyjną dyskryminację bodźców są niedostępne, na przykład w wyniku zacierania się śladu pamięciowego, nie jest możliwe użycie przypominania w oparciu o kryteria. Wówczas ocena znajomości może być jedynym źródłem informacji o obecności *targetu* w zbiorze. Na przykład Yonelinas (1997; 1999) twierdzi, że w trakcie szybkiej prezentacji materiału przeszukiwanie WM raczej jest oparte na ocenie znajomości niż na przypominaniu. Wydaje się, że szybka prezentacja upośledza proces kodowania cech dystynktywnych stymulacji, które są niezbędne w procesie przypominania. Oberauer (2001) twierdzi, że poziom aktywacji elementów znajdujących się poza obszarem bezpośredniego dostępu (czyli na pozycjach powyżej czwartej) jest na tyle niski, że do ich przeszukania może być zastosowana wyłącznie ocena znajomości. Przypominanie oparte na kryteriach, które angażuje procesy uwagowe, jest możliwe jedynie w obszarze bezpośredniego dostępu. To wyjaśnia typowo uzyskiwane efekty pozycji, w których poprawność rozpoznania elementów dużych zbiorów

rów, na przykład 8-elementowych, jest istotnie niższa dla bodźców z początku zestawu. Wsparciem dla teorii dwóch procesów są wyniki uzyskane przez Oberauera (2005b). Badacz uzyskał dane wskazujące, że tylko efektywność procesu przypomnienia jest w silnej relacji z wydajnością pamięci roboczej (*working memory capacity*, WMC⁷) estymowaną na podstawie złożonych zadań pamięciowych (*complex span tasks*). Analogicznego związku nie wykryto pomiędzy oceną znajomości a WMC. Wcześniej podobne rezultaty uzyskali Conway i Engle (1994) z użyciem zadania Sternberga.

Lovett, Daily i Reder (2000), analizując z kolei zadanie n-wstecz, wyróżnili dwie strategie jego wykonania. Pierwsza jest oparta na ocenie znajomości (*familiarity*) śladu pamięciowego. Jeśli dany element wydaje się znajomy, jest uznawany za zgodny z *probe*. Druga strategia – aktualizacji (*update strategy*) – zakłada natomiast aktywne utrzymywanie listy kilku najświeższych elementów i aktualizacji danych na tej liście po prezentacji każdego kolejnego elementu. Tylko druga z tych strategii jest aktywna, wymaga bowiem zaangażowania zasobów WM, pierwsza natomiast byłaby pasywna. Co ciekawe, wyniki uzyskane przez badaczy nie wskazują, aby różnice indywidualne w WMC były powiązane z wyborem określonej strategii. Ponieważ jednak badacze zastosowali protokoły werbalne do wyróżnienia strategii preferowanych przez badanych, do ich wniosku należy podchodzić z ostrożnością.

Inną ramę pojęciową do wyjaśnienia przeszukiwania WM zastosowali Unsworth i Engle (2007), odwołując się do wprowadzonego przez Jamesa (1890) podziału na pamięć pierwotną (*primary memory*) i wtórną (*secondary memory*). Pamięć pierwotna jest tutaj dedykowana niewielkiej liczbie odrębnych reprezentacji podtrzymywanych w związku z realizacją bieżącego przetwarzania. Podtrzymywanie jest możliwe dzięki procesom alokacji uwagi. Pamięć pierwotna jest zatem – co uważają sami autorzy – odpowiednikiem obszaru bezpośredniego dostępu w rozumieniu Oberauera czy ogniska uwagi w rozumieniu Cowana. Jeśli liczba danych przekracza magiczną liczbę czterech, informacje istotne z punktu widzenia zadania muszą zostać wydobyte z pamięci wtórnej. Zdaniem Unswortha i Engle'a (2007) wymaga to kontrolowanego i strategicznego przeszukania, opartego na wskazówkach, które pozwalają na poprawną dyskryminację istotnej i nieistotnej informacji (por. Capaldi, Neath, 1995). Dane wskazujące na możliwość zaangażowania pamięci pierwotnej i wtórnej w zadaniu Sternberga uzyskali już Atkinson i Juola (1974), analizując funkcję RT od wielkości zbioru. Badacze stwierdzili, że funkcja ta jest liniowa dla zbioru mniejszego od sześciu, co miało odpowiadać przeszukaniu pamięci krótkotrwałej (pierwotnej). W zbiorze większym niż sześć elementów, zdaniem Atkinsona, część elementów jest wydobywana z pamięci trwałej (wtórnej). To właśnie mieszanka szybkiego skaningu STM i wolnego wydobywania informacji z LTM prowadzi

⁷ Pojęcie *capacity* można odnieść zarówno do pojemności, jak i – bardziej ogólnie – do sprawności czy wydajności WM. Zależy to od kontekstu użycia tego pojęcia, w tym na przykład wykorzystanych zadań badających funkcje WM. W typowych miarach STM pojęcie *capacity* dotyczy pojemności, poziom ich wykonania jest bowiem – przynajmniej w założeniu – ściśle związany właśnie z pojemnością informacyjną. W złożonych miarach WM pojęcie to odnosi się raczej do wydajności systemu jako całości.

do negatywnej akceleracji funkcji RT(SS). Również krzywoliniowa funkcja czasu reakcji od pozycji *targetu* na liście, wskazująca na obecność efektów pierwszeństwa i świeżości w zadaniu Sternberga, wydaje się potwierdzać udział pamięci pierwotnej i wtórnej w jego wykonaniu (Burrows, Okada, 1971; Corballis, Kirby, Miller, 1972).

Przeszukiwanie pamięci roboczej – badania własne

W pierwszym eksperymencie tej serii podjęto problem architektury procesu przeszukiwania pamięci w zadaniu Sternberga, przy czym manipulacji eksperymentalnej poddano czas ekspozycji przypadający na każdy element. Szybka prezentacja materiału – jak twierdzi Yonelinas (1997; 1999) – prowadzi do zaburzenia procesu kodowania dystynktywnych cech stymulacji, niezbędnych w procesie przypominania (*recollection*). Wówczas przeszukiwanie WM będzie oparte w większym stopniu na ocenie znajomości. Ponieważ ocena znajomości ma być procesem automatycznym, to jest między innymi szybkim i nieuwagowym, należałoby spodziewać się wyników wskazujących na równoległą architekturę procesu, czyli płaską funkcję RT(SS). Architektura równoległa powinna bardziej wyraziście ujawnić się w analizie wyników w warunku pozytywnym, w którym – bez względu na czas ekspozycji – przewiduje się użycie samowygaszającej reguły stopu. W części prób wygaszenie przeszukiwania może być wynikiem oceny znajomości, które wydaje się wystarczające, jeśli *target* w jakiś sposób się wyróżnia, na przykład posiada wyrazistą cechę dystynktywną (zob. eksperyment 1.4). Z badań nad przeszukiwaniem pola percepcyjnego wiadomo, że pojedyncza cecha dystynktywna wyróżniająca obiekt wystarcza do efektywnego przeszukiwania równoległego (Cave, Wolfe, 1990; Treisman, 1993), szczególnie jeśli ma charakter priorytetowy, a takimi cechami są kolor (Treisman, Viera, Hayes, 1992) czy ruch (Driver, McLeod, 1992). W przypadku dobrze znanego materiału werbalnego, na przykład liter czy cyfr, można założyć, że posiada on takie cechy. Skrócenie czasu ekspozycji miałoby jeszcze zwiększyć rolę oceny znajomości w procesie przeszukiwania, zarówno ze względu na zaburzenie procesu kodowania materiału, jak i mniejsze różnice w aktywacji kolejnych elementów związane z działaniem mechanizmu zaniku w funkcji czasu. W warunku niezgodnym, w którym ocena znajomości nie prowadzi do stwierdzenia zgodności *probe* z którymkolwiek z elementów zestawu, przeszukiwanie będzie kontynuowane – przynajmniej w obszarze bezpośredniego dostępu – z użyciem procesu przypominania. Z tego względu taki sam czas ekspozycji jak w warunku zgodnym może generować rosnącą funkcję RT(SS). Pierwszy eksperyment tej serii jest zatem nie tylko próbą dookreślenia architektury procesu przeszukiwania WM w specyficznych warunkach presji czasu, ale również próbą weryfikacji predykcji wynikających z dwuprocesowego modelu przeszukiwania.

Eksperyment 2.1. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach manipulacji czasem ekspozycji

W przeprowadzonym eksperymencie (Nęcka, Orzechowski, Florek, 2001) zastosowano zadanie Sternberga z materiałem werbalnym (cyfry 0–9), wewnątrzgrupowo manipulując wielkością zbioru elementów (4, 6 albo 8), rodzajem próby (zgodna albo niezgodna) i międzygrupowo – czasem prezentacji (300 ms, 700 ms albo 1000 ms na element). Czasy ekspozycji dobrano, kierując się uprzednimi wynikami Nęcki (1994), który korzystał z zadania Sternberga w warunkach ekspozycji 300 ms. Warunki ekspozycji 700 ms i 1000 ms były co prawda krótsze niż w oryginalnej procedurze Sternberga, lecz zgodnie z wynikami uzyskanymi przez Piotrowskiego i Stettnera (zob. Balas, Orzechowski, Piotrowski, Stettner, 2005), uzyskiwana w nich poprawność była wysoka (1000 ms – 68%, 700 ms – 68%, 300 ms – 64%). W każdym wariancie czasu ekspozycji zastosowano identyczny plan eksperymentalny. Zadanie składało się ze 144 zadań pamięciowych podzielonych na dwie równe części ze względu na zgodny/niezgodny rodzaj próby. W warunkach prób zgodnych kontrolowano pozycję *targetu*, który – bez względu na rozmiar zbioru – był prezentowany sześć razy na każdej pozycji. W związku z tym w zestawie 4-elementowym było 16 prób, w 6-elementowym – 24, a w 8-elementowym – 48 prób. Zadanie główne poprzedzono 12 próbami testowymi.

Ekspozycja zestawu rozpoczynała się punktem fiksacji, którym był znak *, po czym sekwencyjnie eksponowano zestaw bodźców, eliminując powtórzenia (losowanie bezzwrotne) i zlepkę sąsiadujących cyfr (np. 1, 2 lub 9, 8). Ekspozycja zestawu kończyła się prezentacją znaku *, który jednocześnie był maską dla ostatniego elementu zestawu. Następnie wyświetlano bodziec kontrolny (*probe*). Zadaniem osoby badanej był wybór jednej z dwóch reakcji: TAK, jeśli uznano, że *probe* znajdował się w prezentowanym wcześniej zestawie (próba zgodna), albo NIE, jeśli zdaniem osoby badanej nie było jej w tym zestawie (próba niezgodna). Osoba badana została poinstruowana, że pomiarowi podlega zarówno poprawność, jak i czas reakcji.

Procedurę tę powtórzono trzykrotnie w planie międzygrupowym z różnymi czasami ekspozycji. W eksperymencie z czasem ekspozycji 1000 ms wzięły udział 62 osoby (46 kobiet i 16 mężczyzn; wiek: $20,95 \pm 3,94$ lat), z czasem 700 ms – 63 osoby (43 kobiety i 16 mężczyzn; wiek: $21,01 \pm 3,47$ lat) i z czasem 300 ms – 71 osób (42 kobiety i 29 mężczyzn; wiek: $16,8 \pm 0,41$ lat).

Efekty główne wielkości zbioru elementów i rodzaju próby okazały się istotne statystycznie w każdej grupie osób badanych, zarówno w przypadku czasu reakcji, jak i poprawności. W każdym warunku czasu ekspozycji RT istotnie wzrastał, a poprawność spadała wraz ze wzrostem wielkości zbioru. Zreplikowano zatem podstawowe charakterystyki zadania Sternberga. Uzyskano również istotny efekt główny czasu ekspozycji: czas reakcji był najdłuższy, a poprawność najniższa w warunkach 300 ms. Nie uzyskano istotnych różnic w zakresie obu wskaźników między warunkami 700 ms i 1000 ms. Wydaje się to dowodzić, że skrócenie czasu reakcji prowadzi

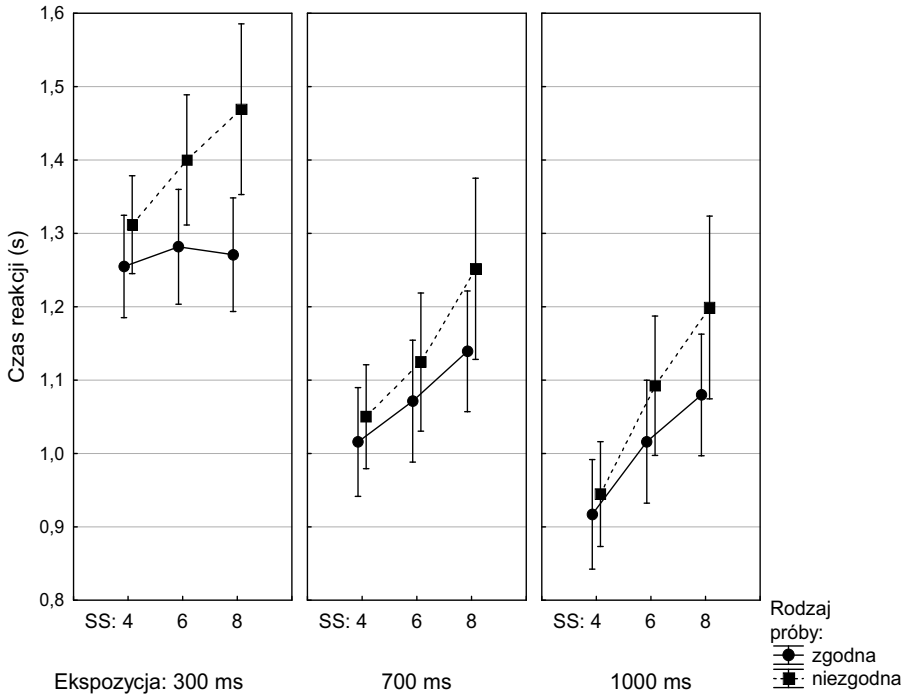
do utrudnienia procesu wydobycia informacji z WM, co – zgodnie z założeniami – miałoby wynikać z zaburzenia procesów kodowania danych w fazie ekspozycji.

Ze względu na podjętą próbę określenia architektury procesu przeszukiwania WM najważniejsza była jednak analiza czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru z uwzględnieniem rodzaju próby (zgodnej/niezgodnej). Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny interakcyjny wpływ czynników wielkości zbioru i rodzaju próby na czas reakcji we wszystkich warunkach czasu ekspozycji. W przypadku prezentacji 1000 ms ($F(2, 122) = 3,95, p < 0,03$) i 700 ms ($F(2, 124) = 3,88, p < 0,05$) analizy kontrastów wykazały liniowy przyrost czasu reakcji zarówno w próbach zgodnych, jak i niezgodnych. W przypadku prób zgodnych czas reakcji rósł jednak wolniej niż w próbach niezgodnych. Interakcja wielkości zbioru i rodzaju próby była również istotna w warunku 300 ms ($F(2, 140) = 3,57, p = 0,05$), przy czym analizy kontrastów wykazały liniowy przyrost czasu reakcji w próbach negatywnych i jego brak w próbach pozytywnych. Funkcja RT(SS) w tym ostatnim przypadku była – statystycznie rzecz biorąc – płaska (zob. ryc. 21).

Analizie poddano również poprawność reakcji. Dwuczynnikowa analiza wariancji wykazała istotny interakcyjny wpływ czynników wielkości zbioru i rodzaju próby na liczbę błędów we wszystkich warunkach czasu ekspozycji. Liczba błędów wzrastała liniowo wraz ze zwiększaniem się wielkości zbioru we wszystkich warunkach, przy czym wzrost był wolniejszy w próbach niezgodnych niż w zgodnych.

Interakcja wielkości zbioru i rodzaju próby w warunku 300 ms uzyskana w analizie czasu reakcji została później wielokrotnie zreplikowana. W kilku kolejnych eksperymentach zmianie podlegał rodzaj materiału – litery zastąpiono cyframi, zastosowano materiał niewerbalny zamiast werbalnego oraz skrócono czas ekspozycji do 250 ms (Orzechowski, 2002a; 2002b). Wyniki te replikowały również badania Piotrowskiego i Wierzchonia (2005), wykorzystane przez Chuderskiego do opracowania obliczeniowego modelu procesu dwufazowego przeszukiwania WM (Chuderski, Orzechowski, 2005; Chuderski, Stettner, Orzechowski, 2007). W każdym przypadku systematycznie uzyskiwano podobne rezultaty, to jest istotny przyrost czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru w próbach niezgodnych i brak przyrostu RT (płaska funkcja) w próbach zgodnych.

Wyniki uzyskane w warunku długiej ekspozycji (700 ms i 1000 ms) nie pozwalają na identyfikację architektury procesu przeszukiwania, ponieważ liniowy wzrost czasu reakcji w funkcji wielkości zbioru jest dopuszczalny zarówno w modelach sekwencyjnych, jak i równoległych, o ile przyjmiemy założenie o limitowanej wydajności systemu. Różnica w czasie reakcji między próbami zgodnymi i niezgodnymi, a szczególnie różny poziom nachylenia liniowej funkcji RT(SS) pozwala na ostrożne wnioskowanie o wyczerpującej regule stopu w warunkach negatywnych i samowygaszającej w warunku pozytywnym. Ostrożność wynika z tego, że w dużych zbiorach elementów część z nich może być niedostępna procesowi uwagowego przeszukiwania (*recollection*) ze względu na szybki zanik śladu pamięciowego. W tym sensie przeszukiwanie może zostać wygaszone po przeszukaniu zbioru dostępnych, ale nie wszystkich eksponowanych elementów. Z różnicy w czasie reakcji i nachyle-



Ryc. 21. Średni czas reakcji w zależności od rozmiaru zbioru (SS) i rodzaju próby (zgodnej/niezgodnej) w trzech warunkach czasu prezentacji zadania Sternberga: 300 ms: ($F(2, 140) = 3,57, p = 0,05$), 700 ms: ($F(2, 124) = 3,88, p < 0,05$); 1000 ms: ($F(2, 122) = 3,95, p < 0,03$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: Nęcka, Orzechowski, Balas (w przygotowaniu).

nia funkcji $RT(SS)$ między próbami zgodnymi i niezgodnymi możemy wnioskować tylko o tym, że w tych ostatnich prawdopodobnie przeszukaniu podlega więcej elementów niż w warunku pozytywnym.

W warunku szybkiej ekspozycji początkowo przyjęto natomiast (Nęcka, Orzechowski, Florek, 2001), że architektura procesu przeszukiwania ma charakter równoległy, na co wskazuje płaska funkcja $RT(SS)$, oraz sekwencyjny w próbach niezgodnych. Jednocześnie z różnicy w czasie reakcji i nachylenia funkcji $RT(SS)$ między próbami zgodnymi i niezgodnymi wnioskowano o wyczerpującym (w ramach dostępnych poznawczo informacji) przeszukiwaniu w warunku niezgodnym i samowygazającym w warunku zgodnym. O ile koniunkcja sekwencyjnej architektury i wyczerpującej reguły stopu w ramach jednego procesu jest dopuszczalna, o tyle architektura równoległa wyklucza regułę samowygazającą. Skoro system ma jednoczesny dostęp do wszystkich elementów, przeszukiwanie odbywa się wówczas na całym (dostępnym) zbiorze. Należałoby zatem uznać, że w analizowanym warunku przeszukiwanie jest równoległe i wyczerpujące. Tu jednak pojawia się problem.

System poznawczy nie jest w stanie zidentyfikować rodzaju próby (zgodnej bądź niezgodnej) w momencie prezentacji *probe*. Skąd zatem miałyby „wiedzieć”, jaki tryb przeszukiwania powinien uruchomić (sekwencyjny w niezgodnych, a równoległy w zgodnych)? Właśnie na pozyskaniu tej „wiedzy” polega zadanie, a trudność jej pozyskania decyduje o jego złożoności. Zatem o rodzaju próby system poznawczy „dowiaduje się” dopiero po zakończeniu przeszukiwania, i to o ile przebiegło ono poprawnie. Wydaje się zatem, że architektura procesu przeszukiwania musi być zasadniczo taka sama w próbach zgodnych i niezgodnych.

W teoriach dwóch procesów przyjmuje się niekiedy założenie, że przeszukiwania oparte na ocenie znajomości i na przypominaniu uruchamiane są jednocześnie i przebiegają równoległe, dopóki któryś z nich zwróci wynik. Uzyskane rezultaty badań własnych można byłoby wyjaśnić, przyjmując, że płaska funkcja RT(SS) wynika z wygenerowania reakcji wyłącznie na podstawie oceny znajomości, która – jako proces automatyczny – obejmuje równoległe wszystkie dostępne elementy. Przypominanie z kolei byłoby źródłem reakcji w warunkach negatywnych, co generuje wzrost RT dla większych zbiorów. To wyjaśnia uzyskane wyniki w warunku czasu ekspozycji 300 ms, również te dotyczące poprawności (niższej w warunku pozytywnym, co miałyby wynikać z udziału bardziej zawodnego procesu oceny znajomości w przeszukiwaniu). Jednocześnie wyjaśnienie to rodzi kilka wątpliwości. Po pierwsze, wiąże się z nim założenie, że system w warunku zgodnym nie korzysta z przypominania, a w warunku niezgodnym – z oceny znajomości. To wydaje się sprzeczne z konkluzjami Oberauera (2001), który twierdzi, że w większych zbiorach, przekraczających pojemność ogniska uwagi i obszaru bezpośredniego dostępu, ocena znajomości jest jedynym mechanizmem dostępu do najstarszych elementów o śladowej aktywacji. To zatem nie rodzaj próby decyduje o tym, który proces – ocena znajomości czy przypomnienie – dostarczy wskazówki do podjęcia decyzji o reakcji; wynika to raczej z poziomu aktywacji przeszukiwanego obszaru. Po drugie, skrócenie czasu ekspozycji miało prowadzić do zaburzenia procesu kodowania cech dystyngtywnych, bez których nie może odbywać się przypominanie. Dotyczy to oczywiście zarówno prób zgodnych, jak i niezgodnych. Założenie, że w warunku zgodnym taka manipulacja prowadzi do zaburzenia kodowania, a w warunku niezgodnym nie prowadzi, byłoby nielogiczne. Jeśli więc wyniki w próbach niezgodnych wskazują na przypominanie, to jakieś cechy muszą być dostępne przeszukiwaniu, i to – rzecz jasna – w każdym warunku zadania. Po trzecie, należałoby wyjaśnić, dlaczego w próbach zgodnych w warunkach szybkiej ekspozycji ocena znajomości może być jedyną podstawą reakcji, podczas gdy w tych samych próbach, ale w warunkach wolniejszej ekspozycji, taką podstawą staje się przypominanie (mamy bowiem istotny efekt wielkości zbioru zarówno w próbach zgodnych, jak i niezgodnych). Aby utrzymać to wyjaśnienie, należałoby założyć, że manipulacja czasem ekspozycji powoduje uruchomienie zasadniczo innych mechanizmów przeszukiwania WM dla różnych jego wartości. W końcu, po czwarte, samo założenie o równoległości obu procesów wydaje się dość egzotyczne. Jednoczesne inicjowanie obu procesów, nawet jeśli jeden z nich jest automatyczny, zbieranie danych z tych procesów, ich zestawienie

(ich wyniki mogą być sprzeczne) i kontrola jest zadaniem niezmiernie wysiłkowym. Szczególnie w warunkach naturalnych, kiedy system WM jest zaledwie narzędziem w „rękach” złożonych procesów poznawczych, kontrola dwóch jednoczesnych procesów w trakcie żonglowania wieloma informacjami, również relacyjnymi, mogłaby dramatycznie ograniczać wydajność systemu.

Inspiracją w poszukiwaniu niesprzecznego wyjaśnienia, zarówno w kwestii architektury, jak i mechanizmu przeszukiwania, okazały się koncepcje przeszukiwania pola percepcyjnego z udziałem uwagi. Są to koncepcje, które dzielą przeszukiwanie na dwie fazy (na przykład model segregacji cech przewodzących uwadze – Wolfe, Cave, Franzel, 1989; Cave, Wolfe, 1990; dwufazowa koncepcja przetwarzania informacji wzrokowo-przestrzennej – Schneider, 1999; model integracji cech – Treisman, Gormican, 1988). Na przykład Wolfe (1994; Wolfe, Cave, Franzel, 1989) uważa, że w percepcji obiektów niektóre ich cechy są kodowane preatencyjnie i mogą równolegle przewodzić (*guide*) uwadze w poszukiwaniu określonego obiektu w polu percepcyjnym. Wydajność tego przeszukiwania jest uwarunkowana jakością wskaźówek pozyskanych w pierwszej, równoległej fazie przeszukiwania. Autorzy wyróżnili dwa komponenty przetwarzania równoległego: oddolne (*bottom-up*) i odgórne (*top-down*). W trakcie przeszukiwania pola komponenty oddolne i odgórne działają niezależnie, osobno dla każdej z cech bodźców. Aktywacja typu oddolnego pochodzi od fizycznych ich cech. Aktywacja typu odgórnego jest oparta na oczekiwaniach, na przykład pochodzących z wcześniejszej prezentacji wzorca lub posiadanej wiedzy o jego cechach. Oba procesy powodują aktywację wszystkich reprezentacji poszczególnych cech, o których wiadomo, że charakteryzują bodziec. Te dwa źródła aktywacji tworzą tak zwaną mapę aktywacji ogólnej. Nie zawiera ona informacji o źródle pochodzenia aktywacji, a tylko ukierunkowuje uwagę w najbardziej aktywne jej rejony, czyli miejsca o najwyższej wspólnej aktywacji komponentów oddolnych i odgórnych. W drugiej fazie przeszukiwania uwaga jest przerzucana kolejno – to jest sekwencyjnie – pomiędzy najsilniej zaktywizowanymi rejonami mapy aż do odnalezienia sygnału (pełnej zgodności aktywacji pochodzącej z komponentów *bottom-up* i *top-down* dla wszystkich jego cech). Jeśli bodziec nie zostanie znaleziony, aktywacja spada, a poniżej pewnego jej progu przeszukiwanie zostaje wygaszane. Wspomnianym teoriom towarzyszy spora liczba badań (zob. Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006).

Kierując się powyższym modelem teoretycznym, zaproponowano dwufazowy model przeszukiwania pamięci roboczej (Nęcka, Orzechowski, Balas, w przygotowaniu). W trakcie sekwencyjnej prezentacji bodźców w zadaniu Sternberga są tworzone reprezentacje każdego z nich. Zarówno tempo ekspozycji, jak i rodzaj materiału istotnie wpływa na proces ich kodowania. Jeśli tempo ekspozycji jest szybkie, kodowanie może zostać zaburzone, co oznacza albo wybiórcze kodowanie cech obiektów (mechanizm mający zastosowanie raczej w stosunku do bodźców niewerbalnych, ponieważ one definiowane są za pomocą wielu cech), albo trudność werbalizacji, na przykład w wypadku cyfr, liter czy słów. Ekspozycja bodźca docelowego zapoczątkowuje proces przeszukiwania, który jest ściśle powiązany z dostępnością materiału. Upływ czasu czy interferencja, szczególnie w przypadku większych zbiorów, mogą

skutecznie zmniejszać jego dostępność. Pierwsza, równoległa faza procesu przeszukiwania, analogiczna do oceny znajomości (*familiarity*), polega na ustaleniu kolejności elementów, według której będzie przebiegać właściwy proces przeszukiwania (*recollection*). Innymi słowy, pierwsza faza byłaby procesem swoistego indeksowania bodźców. Swego rodzaju przewodnikami w tak rozumianym indeksowaniu kandydatów na *target* byłyby dwa czynniki. Pierwszy z nich to poziom ich aktywacji, rozumiany jako siła wzbudzenia reprezentacji. Jeśli bodźce są sobie równoważne, czyli nie ma podstaw do zmiany kolejności wynikającej z pozycji elementu na liście, to przeszukiwanie odbywa się w kolejności od bodźca najbardziej aktywnego, czyli ostatnio prezentowanego, do najmniej aktywnego. Jeśli bodźce nie byłyby jednak równoważne, jak w eksperymencie 1.4, w którym manipulowano cechą koloru, jako potencjalnego przewodnika w indeksacji ważności bodźców, to efekt pozycji może ulec istotnemu zaburzeniu. System poznawczy wydaje się traktować tego rodzaju bodźce priorytetowo, włączając je do procesu przeszukiwania w pierwszej kolejności, niezależnie od ich pozycji na liście. Wydaje się zatem, że kolejność przeszukiwania jest wyznaczona poziomem ich aktywacji, a co za tym idzie i dostępności, a nie po prostu ich pozycją w zestawie. Drugim czynnikiem, który mógłby odgrywać rolę przewodnika w indeksowaniu bodźców, jest podobieństwo elementów zestawu do *targetu* oceniane – w pierwszej fazie – całościowo i równoległe. Ocena ta odbywa się w odniesieniu do cech dyskryminacyjnych, co wydaje się szczególnie istotne w przypadku bodźców złożonych, na przykład niewerbalnych, które nie prowadzą do automatycznego wzbudzenia istniejących reprezentacji, jak w przypadku dobrze znanych liter czy cyfr. W przeciwieństwie do modeli dwóch procesów, faza pierwsza, która może być uznana za odpowiednik przeszukiwania opartego na ocenie znajomości, nie prowadzi do wygenerowania reakcji. Informacja pochodząca z tej fazy – choć dostarczona bardzo szybko, gdyż w wyniku procesu równoległego – jest zaledwie wskazówką dla drugiej, sekwencyjnej fazy przeszukiwania. Ta ostatnia polega na dokładnym porównaniu wyłonionych w pierwszej fazie kandydatów na *target*. Faza ta w istocie byłaby tym, co inni badacze nazywają przypominaniem (*recollection*). W tej fazie sekwencyjnemu porównywaniu podlega aktywacja oddolna, pochodząca z mapy indeksowanych bodźców, z aktywacją odgórną, pochodzącą od *probe*, z uwzględnieniem cech dyskryminacyjnych stymulacji. Postuluje się zatem ściśle następstwo czasowe fazy równoległego indeksowania bodźców i sekwencyjnego porównywania ich z *probe*. Informacje z pierwszej fazy byłyby wykorzystywane w następnej, jako wskazówki dotyczące kolejności przeszukiwania. Wydajność tego rodzaju przeszukiwania jest najwyższa, kiedy poziom aktywacji albo podobieństwo sygnału do *targetu* nie ma związku z pozycją w zestawie, a zatem aktywacja wynikająca z pozycji na liście (wyższa dla obiektów z jej końca) w zasadzie jest czynnikiem dystrykcyjnym.

Wydaje się, że proponowany model dobrze sobie radzi z uzyskanymi rezultatami, również w warunku 300 ms, który wskazuje na anomalie w procesie przeszukiwania, niepozwalające na ustalenie jego architektury, a nawet prowadzące do sprzeczności. W proponowanym modelu architektura procesu przeszukiwania jest taka sama w próbach zgodnych i niezgodnych. W obu przypadkach zaczyna się od fazy

równoległego indeksowania bodźców, które w próbach zgodnych okazuje się istotną wskazówką przeszukiwania, dlatego nawet pierwsze (albo jedno z pierwszych) porównanie *probe* z odpowiednio zindeksowaną zawartością WM może – w drugiej fazie – wykazać zgodność. W wypadku prób niezgodnych wskazówki z fazy równoległej są sukcesywnie falsyfikowane, prowadząc – po przeszukaniu całego dostępnego materiału – ostatecznie do reakcji negatywnej. Dlatego ogólnie reakcje zgodne są szybsze niż niezgodne.

Aby utrzymać to wyjaśnienie, należy wykazać, że skrócenie czasu ekspozycji prowadzi w warunkach pozytywnych do generowania reakcji na podstawie pierwszego porównania w fazie sekwencyjnej. Innymi słowy, w warunkach szybkich ekspozycji informacja uzyskana w pierwszej fazie ma decydujący wpływ na rezultat przeszukania w fazie drugiej. Wolfe, Cave i Franzel (1989) założyli, że związek między liczbą cech charakteryzujących bodziec a efektywnością dyskryminacji w zadaniu przeszukiwania jest krzywoliniowy. Wykorzystanie tylko jednej cechy, na przykład wyróżniającego koloru, prowadzi do silnej aktywacji oddolnej sygnału, wyraźnie odróżniającej go od innych bodźców. Wówczas aktywacja oddolna oraz odgórna, pochodząca od wzorca, skupiają się w jednym miejscu postulowanej mapy aktywacji przy minimalnej aktywacji w innych jej obszarach. Proces przeszukiwania wykazuje wówczas cechy równoległości. Podobnie przebiega przeszukiwanie, kiedy dostępnych jest wiele cech stymulacji, na podstawie których dokonuje się jego detekcja, ogólna aktywacja bodźca pozwala bowiem na łatwe odróżnienie go od dystraktorów. W wypadku koniunkcji niewielkiej liczby cech definicyjnych ogólny poziom aktywacji bodźca jest niewystarczający do dyskryminacji na podstawie fazy równoległej i wymaga – niekiedy wielokrotnego – sekwencyjnego procesu porównywania.

W zadaniu Sternberga, jeśli czas ekspozycji znacznie odbiega od optymalnego, dochodzi do zaburzenia procesu kodowania, co oznacza płytkie, oparte na jednej, być może fizycznej, właściwości bodźców. Co istotne, może to nie być cecha istotna w procesie dyskryminacji. Dotyczy to zarówno bodźców niewerbalnych, jak i werbalnych. Wówczas jedyną wskazówką dostępną w fazie sekwencyjnego przeszukiwania jest ogólny poziom aktywacji będący wynikiem indeksacji w fazie pierwszej. Sekwencyjny proces przeszukiwania, nie mając innych źródeł informacji, korzysta z tej wskazówki, czyli w pierwszym porównaniu elementu najbardziej zgodnego z *probe* prowadzi do wygenerowania reakcji. Dzieje się tak niezależnie od wielkości zbioru elementów. Dlatego właśnie funkcja czasu reakcji od wielkości zbioru wygląda w tym warunku na równoległą, choć w istocie zawsze jest rezultatem złożenia pierwszej równoległej fazy indeksowania oraz pojedynczego – niezależnie od wielkości zbioru – porównania w fazie sekwencyjnej. Niestety wraz z rosnącym obciążeniem poznawczym (wielkość zbioru) mechanizm ten prowadzi do coraz częstszych pomyłek ze względu na ograniczony dostęp do coraz większej części materiału. W warunkach niezgodnym informacja dostarczona z fazy pierwszej do drugiej również dostarcza informacji o ogólnym poziomie aktywacji, ze względu jednak na brak zgodności poziomów aktywacji oddolnej i odgórnej przeszukiwanie jest kontynuowane dla wszystkich dostępnych elementów. W wyniku przeszukania, jeśli nie

dojdzie do pomyłki, faza druga kończy się reakcją negatywną. Proces ten jest zależny od wielkości zbioru, dlatego funkcja $RT(SS)$ monotonicznie rośnie. Niemniej ze względu na zaburzenie procesu kodowania wywołane szybkim tempem ekspozycji skuteczność tego procesu również jest relatywnie niewielka, stąd wyższa niż w warunkach dłuższej ekspozycji liczba błędów.

Dłuższy czas prezentacji pozwala na zakodowanie większej liczby, albo innych – niefizycznych, na przykład fonologicznych – cech stymulacji, które mogą zostać użyte w procesie sekwencyjnego przeszukiwania. Wówczas poprawność reakcji jest istotnie wyższa niż w warunkach krótkiej ekspozycji. Z tego samego powodu poprawność jest zwykle wyższa w warunku werbalnym niż w niewerbalnym, szczególnie kiedy ten ostatni zawiera bodźce nowe, złożone i niepoddające się werbalizacji. Nic dziwnego, że czas reakcji rośnie wówczas w funkcji wielkości zbioru, ponieważ wskazówka oparta na aktywacji pochodzącej z pierwszej fazy okazuje się niewystarczająca do różnicowania bodźców pod względem kryterium wymaganego w zadaniu. Na przykład bodźce mogą być podobne wizualnie, a kryterium decyzyjne oparte jest na zgodności fonologicznej. Proponowany model wyjaśnia wiele innych, typowych fenomenów w funkcjonowaniu WM, to jest mechanizm zaniku, interferencji czy podobieństwa fonologicznego.

Z proponowanego modelu wynikają dwie zasadnicze predykcje. Pierwsza wpływa z założenia, że efekt pozycji, uzyskiwany w analizie wskaźników czasu reakcji i poprawności, wskazuje na szczególnie przypadek przeszukiwania. Jeśli w zadaniu nie ma żadnych wskazówek wyróżniających wybrane elementy zestawu, to pierwsza faza modelu dwufazowego zwraca do fazy drugiej informację o aktywacji zgodną z odwróconą kolejnością ekspozycji. Wynika to z szybkiego zaniku poziomu aktywacji w funkcji czasu. Przydatność tej wskazówki do rozpoznania *targetu* jest niewielka, jeśli zestaw zawiera jednorodny materiał, na przykład litery albo cyfry. Wówczas druga faza sekwencyjnego porównywania – na co wskazują wyniki eksperymentu 1.1 – odbywa się w kolejności wynikającej z pozycji elementu w zestawie, obejmując elementy, których dostępność jest wystarczająco wysoka, aby było możliwe przywołanie cechy (cech) dystynktywnej. Wydaje się jednak, że w rozwiązywaniu złożonych zadań poznawczych – naturalnych i eksperymentalnych – jest to raczej wyjątek niż reguła. Częściej zdarza się, że informacje, które są bardziej przydatne do realizacji celów poznawczych, wprowadzono do podsystemu pamięciowego w sposób niezwiązany z kolejnością ich ekspozycji. Jeśli zatem w zadaniu znalazłyby się wskazówki zwiększające dostępność wybranych elementów materiału, pierwsza faza powinna wskazać te elementy jako prawdopodobnych kandydatów na *target*. Wówczas powinniśmy zaobserwować anomalie we wskaźnikach czasu reakcji lub poprawności w funkcji pozycji elementu na liście, wskazujące na większą dostępność tych uprzywilejowanych informacji. Krótko mówiąc, dostępność informacji przynajmniej w części powinna być niezależna od efektu pozycji.

Opisane w I części monografii eksperymenty z wyróżnieniem bodźców kolorem (1.4) i z poprzedzaniem semantycznym (1.3) wydają się stanowić empiryczne wsparcie dla słuszności tej predykcji. Wyróżnienie bodźców kolorem było wystarczającą

wskazówką, aby wybrane bodźce były aktywnie podtrzymywane, chociaż nie była to jednoznaczna wskazówka dystynktywna dla procesu przeszukiwania (wyróżnionych tym samym kolorem mogło być kilka bodźców). Dlatego też, pomimo ich wyższej dostępności, musiało odbyć się przeszukiwanie tego zbioru w drugiej fazie. Podobne, choć mniej klarowne, wyniki uzyskano w badaniach Piotrowskiego i Wierzchonia (2005), poprzedzając afektywnie bodziec na pozycji czwartej. Dodatkowa aktywacja pochodząca od bodźca poprzedzającego, choć niepowiązana semantycznie ani z materiałem pamięciowym, ani z wykonywanym zadaniem, prowadziła do zmiany kolejności przeszukiwania zbioru. Wspomniane eksperymenty wpływały jednak na poziom aktywacji elementów zestawu w trakcie jego prezentacji, a nie bezpośrednio na hipotetyczną fazę indeksowania bodźców. Dlatego z pierwszej serii badań najciekawsze w kontekście weryfikacji modelu dwufazowego są wyniki eksperymentu 1.3, w którym poprzedzanie semantyczne odbywało się pomiędzy prezentacją zestawu i *probe*. Wydaje się, że wpływ na proces przeszukiwania WM wynikający z takiej procedury poprzedzania dokonuje się właśnie przed inicjalizacją fazy pierwszej. Okazuje się, że co prawda jest to wpływ dość słaby, co wynika z natury zastosowanego wariantu poprzedzania, lecz jest on istotny. W warunkach poprzedzania bodźcem zgodnym z *targetem* efekt poprzedzania okazał się istotny, ale tylko w warunkach największego zbioru, czyli wówczas, kiedy aktywacja znaczącej części zestawu była już relatywnie niska. Nie jest to zaskakujące, jeśli przyjąć, że okołoproogowa manipulacja poprzedzaniem ma bardzo niewielką siłę oddziaływania. Kiedy poziom aktywacji wszystkich, albo większości, elementów zbioru jest wysoki, czyli w warunkach o mniejszym SS, a wśród nich (z dużym prawdopodobieństwem) jest również *target*, to manipulacja poprzedzaniem nie powoduje takiej zmiany aktywacji, która mogłaby istotnie modyfikować proces przeszukiwania.

Druga predykcja modelu dwufazowego, poddana weryfikacji empirycznej w kolejnym eksperymencie, wiąże się z istotnym wpływem podobieństwa bodźców na proces przeszukiwania WM. Z zaprezentowanych powyżej założeń modelu dwufazowego wynika, że prawdopodobieństwo wykorzystania informacji z pierwszej fazy przeszukiwania jest związane ze stopniem podobieństwa aktywacji pochodzących od poszczególnych elementów zestawu. Prawdopodobieństwo to rośnie, jeśli podobieństwo (czyli oddolna aktywacja pochodząca od bodźców) jest niskie, oczywiście o ile ma ono związek z cechą dystynktywną, na podstawie której odbywa się przeszukiwanie. Wówczas indeksowanie na podstawie ogólnej aktywacji jest bardzo istotną wskazówką dla drugiej fazy przeszukiwania, prowadząc do szybkiej identyfikacji *targetu* i wygaszenia przeszukiwania. Prawdopodobieństwo wykorzystania informacji z pierwszej fazy przeszukiwania maleje, jeśli bodźce w obrębie zestawu są podobne do siebie. Powoduje generowanie trudnych do dyskryminacji wzorców aktywacji (wysoka interferencja) pochodzących od poszczególnych elementów zestawu. Zaznaczmy, że dla Oberauera (Oberauer, Kliegl, 2001) jest to jedna z głównych przyczyn limitowanej pojemności WM. W tej sytuacji indeksowanie nie jest wystarczającą wskazówką dla przeszukiwania w fazie drugiej, co zwiększa ryzyko błędów lub wydłuża proces przeszukiwania. Założono zatem, że im mniejsze podobieństwo

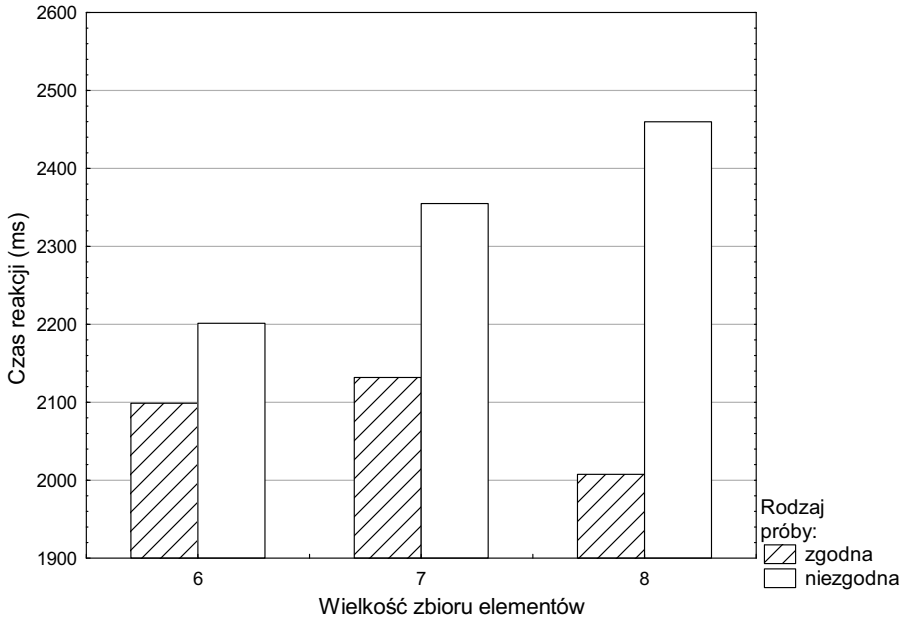
(większa różnica natężenia cechy dystynktywnej) w obrębie zbioru elementów, tym szybciej i bardziej poprawnie przebiega proces przeszukiwania WM. Weryfikacji tej hipotezy podjęto się w eksperymencie 2.2.

Eksperyment 2.2. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach manipulacji podobieństwem materiału pamięciowego⁸

Dobierając materiał prezentowany w użytym zadaniu, przyjęto, że manipulacja podobieństwem bodźców stanowiących materiał pamięciowy powinna dotyczyć pojedynczej cechy, która będzie jednocześnie cechą dystynktywną w procesie przeszukiwania. Aby mieć pewność, że warunki te są spełnione, wybrano materiał, który ma w ogóle tylko jedną cechę definicyjną (w związku z tym tylko ona może być wykorzystana w dyskryminacji stymulacji oraz w procesie przeszukiwania) i jest ona niezmiernie trudna do rekodowania do innego kodu niż pierwotny. Należało zatem odrzucić materiał werbalny, który charakteryzuje się większą liczbą cech dystynktywnych, to jest co najmniej dwiema, na przykład wizualnymi i fonologicznymi, albo wizualnymi i semantycznymi. Zastosowano więc materiał niewerbalny, którym było 10 różnie wysokości prostokątów. Wysokości prostokątów przyjmowały następujące wartości: bodźce 1–9 od 1 cm do 5 cm (wzrost co 0,5 cm), a bodziec 10 – 9 cm. Pod względem innych cech – koloru czy długości podstawy – użyte figury były identyczne.

Manipulacja eksperymentalna dotyczyła: (1) wielkości prezentowanego zestawu (6, 7 albo 8 elementów), (2) rodzaju próby (zgodna albo niezgodna), (3) różnicy pomiędzy natężeniem cechy dystynktywnej bodźców w zestawie i *probe* (niska, średnia albo wysoka). W warunkach małej różnicy eksponowany *target* był dobierany losowo spośród prostokątów o wysokości 1,5–5 cm. Ponieważ większość elementów prezentowanego zestawu ma wówczas podobną wysokość, różnicowanie pomiędzy *targetem* a pozostałymi elementami będzie trudne ze względu na niską moc dyskryminacyjną cechy dystynktywnej. W warunkach średniej różnicy *targetem* był zawsze najniższy element o wysokości 1 cm. Przyjęto, że pomimo takiej samej bezwzględnej różnicy pomiędzy prostokątami w podzbiorze o wysokości do 5 cm, wynoszącej 0,5 cm, dyskryminacja najmniejszego elementu będzie relatywnie łatwa. W warunkach wysokiej różnicy *targetem* był najwyższy prostokąt, który jednocześnie różnił się bardzo znacząco wysokością (o 4 cm) od najdłuższego elementu reszty zestawu. W eksperymencie zaplanowanym w paradygmacie Sternberga użyto łącznie 84 zadania. Czas ekspozycji wynosił 300 ms na każdy element. Jak w poprzednich eksperymentach, prezentacja zestawu poprzedzona była 300-milisekundową ekspozycją

⁸ Eksperyment zrealizowano w ramach projektu badawczego „Mechanizmy procesu przeszukiwania zasobów pamięci roboczej” finansowanego ze środków na BW 2002 SWPS.



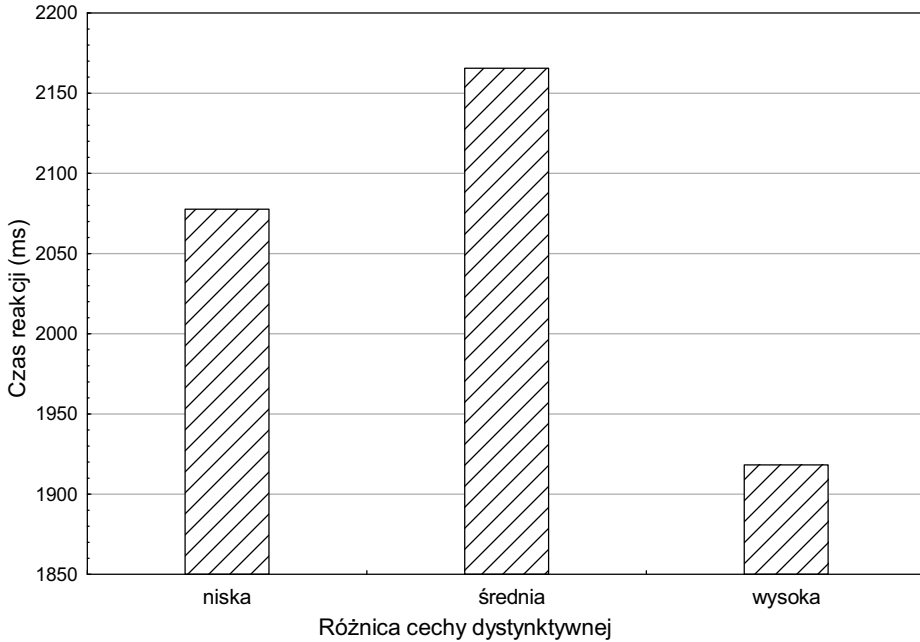
Ryc. 22. Średni czas reakcji w zależności od rozmiaru zbioru (SS) i rodzaju próby (zgodnej albo niezgodnej) ($F(2, 64) = 3,63; p < 0,032$).

Źródło: opracowanie własne.

punktu fiksacji (*), a zakończona maską, po której pojawia się *probe*. Pomiarowi podlegał czas i poprawność reakcji. W eksperymencie wzięło udział 36 osób (30 kobiet i 6 mężczyzn; wiek: $16,8 \pm 0,47$ lat).

Założono, że jeśli różnica wysokości prostokątów, które należało zapamiętać, i poszukiwanego wzorca będzie niewielka, wówczas materiał ten będzie generować wzorce aktywacji o małej mocy dystynktywnej. Innymi słowami, wysokie podobieństwo wizualne bodźców i wzorca będzie się wiązać z niewielką mocą dyskryminacyjną materiału ze względu na duże podobieństwo wzorców aktywacji każdego elementu. Jeśli natomiast *target* będzie się znacząco wyróżniał wysokością w zestawie, to generowane wzorce aktywacyjne będą na tyle różne, iż oparte na nich wskazówki z pierwszej fazy będą istotną wskazówką przeszukiwania w drugiej fazie. Spodziewano się, że wraz ze wzrostem różnicy pomiędzy natężeniem cechy dystynktywnej zestawu bodźców i *targetu* czas reakcji będzie się istotnie skracał.

Przeprowadzona analiza wariancji czasu reakcji nie wykazała istotnego efektu wielkości zbioru związanego z manipulacją rozmiarem zbioru elementów. Istotny natomiast okazał się efekt typu próby (zgodnej albo niezgodnej) ($F(1, 32) = 6,56, p < 0,02$), jak również interakcyjny wpływ wielkości zbioru i typu próby ($F(2, 64) = 3,63, p < 0,032$; zob. ryc. 22). Analiza kontrastów wskazała istotną różnicę w czasie reakcji w próbach niezgodnych w warunkach sześciu i ośmiu elementów.



Ryc. 23. Średni czas reakcji jako wynik manipulacji różnicą pomiędzy natężeniem cechy dystynktywnej bodźców (wysokości prostokąta) i poszukiwanego sygnału ($F(2, 70) = 3,48; p < 0,04$).

Źródło: opracowanie własne.

Czas reakcji w próbach zgodnych nie różnił się w funkcji wielkości zbioru. Wyniki te zasadniczo replikowały rezultaty uzyskane w eksperymencie 2.1 pomimo zmiany rodzaju materiału z werbalnego na niewerbalny.

Efekt manipulacji różnicą pomiędzy natężeniem cechy dystynktywnej bodźców (wysokości prostokąta) i poszukiwanego sygnału okazał się istotny ($F(2, 70) = 3,48, p < 0,04$; zob. ryc. 23). Analiza kontrastów wykazała istotne różnice w czasie reakcji między warunkiem najmniejszej i średniej a największej różnicy pomiędzy natężeniem cechy dystynktywnej bodźców w zestawie i *targetu*. Pomiedzy warunkiem niskiej i średniej różnicy natężenia cechy dystynktywnej nie było istotnych różnic.

Uzyskane wyniki wskazują, że różnica w natężeniu cechy dystynktywnej bodźców w zestawie i *targetu* wpływa na dostępność materiału w pamięci roboczej, o ile jest wystarczająco duża. Poszukiwanie elementu znacząco różniącego się od pozostałych bodźców, które są przechowywane w pamięci roboczej, jest istotnie szybsze w porównaniu z warunkami, w których bodźce i *target* różnią się w mniejszym stopniu. Im większa jest ta różnica, tym wyższa rozbieżność poziomu aktywacji generowanego przez porównywane elementy, co potwierdza testowaną hipotezę, a zarazem jedno z podstawowych założeń modelu dwufazowego. Wydaje się więc, że mechanizm przeszukiwania pamięci roboczej może polegać na porównywaniu aktywacji odbywającym się w sposób postulowany w modelu dwufazowym.

Eksperyment 2.3. Przeszukiwanie pamięci roboczej w warunkach ekspozycji złożonego materiału bodźcowego⁹

Zgodnie z postulatami Wolfego i współpracowników (Wolfe, Cave, Franzel, 1989) innym niż testowany w eksperymencie 2.2 wariantem zadania sprzyjającym efektywnej dyskryminacji bodźców jest sytuacja, w której poszukiwany bodziec jest definiowany przez wiele cech. Wówczas jego ogólna aktywacja pozwala na łatwe odróżnienie go od dystraktorów. Hipotezę tę, niezmiernie intrygującą w kontekście modelu dwufazowego, testowano w kolejnym eksperymencie. W wypadku zastosowania w zadaniu Sternberga złożonych bodźców, jeśli Wolfe ma rację, uzyskiwane wyniki powinny być zbieżne z ogólnymi założeniami modelu dwufazowego. Oddolna aktywacja pochodząca od bodźców wchodzących w skład zestawu pamięciowego powinna być wystarczająco zróżnicowana, aby ich indeksacja dokonana w pierwszej fazie okazała się przydatna w kolejnej fazie sekwencyjnego przeszukiwania. Poddając próbie weryfikacji tę hipotezę, dokonano analizy wyników zebranych w ramach realizacji projektu poświęconego związkowi efektywności funkcjonowania pamięci roboczej z różnicami indywidualnymi w poziomie kompetencji emocjonalnych (Śmieja, Orzechowski, Asanowicz, 2011).

W użytym w badaniach zadaniu Sternberga wykorzystano złożony materiał wizualny, jakim są zdjęcia pochodzące z biblioteki IAPS (1999). Po bardzo starannej selekcji opartej na wskaźniku walencji (*emotional valence*) bodźców (na podstawie: Lang, Bradley, Cuthbert, 2008) wybrano po 200 fotografii w kategorii zdjęć pozytywnych, neutralnych i negatywnych, z których program obsługujący eksperyment losował określoną ich liczbę do każdej próby. Przyjęto takie rozwiązanie, aby zminimalizować efekt interferencji wynikający z powtarzających się ekspozycji tych samych zdjęć w kolejnych próbach. W badaniu zastosowano dwie wersje zadania Sternberga: ze zmiennym i stałym rozmiarem zbioru elementów. W założeniu taka manipulacja dotyczy udziału mechanizmu kontrolnego WM w tego rodzaju zadaniu. Przyjęto, że w wariacie zadania ze zmiennym rozmiarem zbioru udział mechanizmu kontrolnego jest większy ze względu na inicjowanie i zmianę strategii wykonania pomiędzy zbiorami o różnym rozmiarze. W warunku stałej wielkości zbioru udział kontroli poznawczej jest minimalizowany, a w każdym razie nie ma potrzeby zmiany strategii ze względu na zmienność wielkości zbioru. W modelu dwufazowym nie przewidyuje się jednak, aby wpłynęło to na jakościową zmianę wykonania zadania Sternberga w wyniku manipulacji wielkością przeszukiwanego zbioru (zgodnie z rozumieniem strategii jako jakościowo różnego sposobu wykonania danego zadania). Oczywiście obciążenie poznawcze nie pozostaje bez wpływu na proces przeszukiwania (por. eksperyment 1.1), lecz nie na poziomie strategicznym. Zakładając, że faza indeksacji ma charakter równoległy, rozmiar zbioru

⁹ Badania przeprowadzono w ramach projektu badawczego „Podłoże inteligencji emocjonalnej. Rola poznawczej kontroli emocji” przyznanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (PB nr N N106 106336).

elementów nie ma wówczas znaczenia, albo – przyjmując limitowaną wydajność tego procesu – większe zbiory elementów mogą być indeksowane nieco wolniej, lecz nie inaczej niż mniejsze. W fazie sekwencyjnej rozmiar zbioru jest co prawda podstawowy dla sumarycznego czasu przeszukiwania, przebiega jednak zasadniczo tak samo, oczywiście w ramach dostępnych w danej chwili elementów. Wprawdzie zakłada się teoretyczną możliwość uruchomienia dodatkowego procesu wydobycia opartego na ocenie znajomości, sytuacja ta dotyczy jednak przeszukiwania dużych zbiorów, w których część elementów ma bardzo niską dostępność. Elementy te są już poza obszarem bezpośredniego dostępu, a więc – według Cowana – poza obszarem pamięci krótkotrwałej, a przeszukiwanie dotyczy zapisów trwałych. Tego rodzaju postulat będący rozwinięciem modelu dwufazowego zaproponowano w wyniku modelowania obliczeniowego procesu dwufazowego przeszukiwania WM (Chuderski, Orzechowski, 2005; Chuderski, Stettner, Orzechowski, 2007; 2008). Nie byłaby to jednak zmiana strategii, a dodatkowa faza zachodząca w procesie przeszukiwania.

Pośrednim dowodem strategicznego zróżnicowania w obrębie wariantu zmiennego, który w większym stopniu angażowałby mechanizm kontrolny, byłaby wyższa korelacja poziomu inteligencji z wykonaniem zadania w tym wariantcie niż w wariantcie ze stałym rozmiarem zbioru. Idąc tym tropem, przyjęto, że jeśli omawiana manipulacja wpłynie istotnie na siłę związku między inteligencją a poziomem wykonania zadania, to będzie to dowód jakościowego zróżnicowania w procesie przeszukiwania WM. Ponieważ z modelu dwufazowego nie wynika zróżnicowanie, które miałyby wystąpić wskutek omawianej manipulacji, jej brak byłby zarazem – niestety raczej słabym – argumentem przemawiającym za jego trafnością.

Wydaje się jednak, że bardziej bezpośrednią miarą zróżnicowania strategicznego w warunkach zmiennym i stałym byłaby różnica w poziomie wykonania obu wersji zadania w porównywalnych warunkach, to jest ośmiu elementów. Należałoby się wówczas spodziewać, że w tym warunku w serii ze zmiennym rozmiarem zbioru poprawność będzie niższa lub czas reakcji dłuższy niż w serii z rozmiarem stałym. Różnica byłaby wskaźnikiem kosztu poznawczego wynikającego z większego obciążenia systemu kontrolnego zmianami strategii w warunku zmiennej wielkości zbioru. Jeśli jednak wspomniana różnica nie wystąpi, to zgodnie z modelem dwufazowym będzie można przyjąć, że przeszukiwanie przebiega zasadniczo tak samo w obu wariantach zadania.

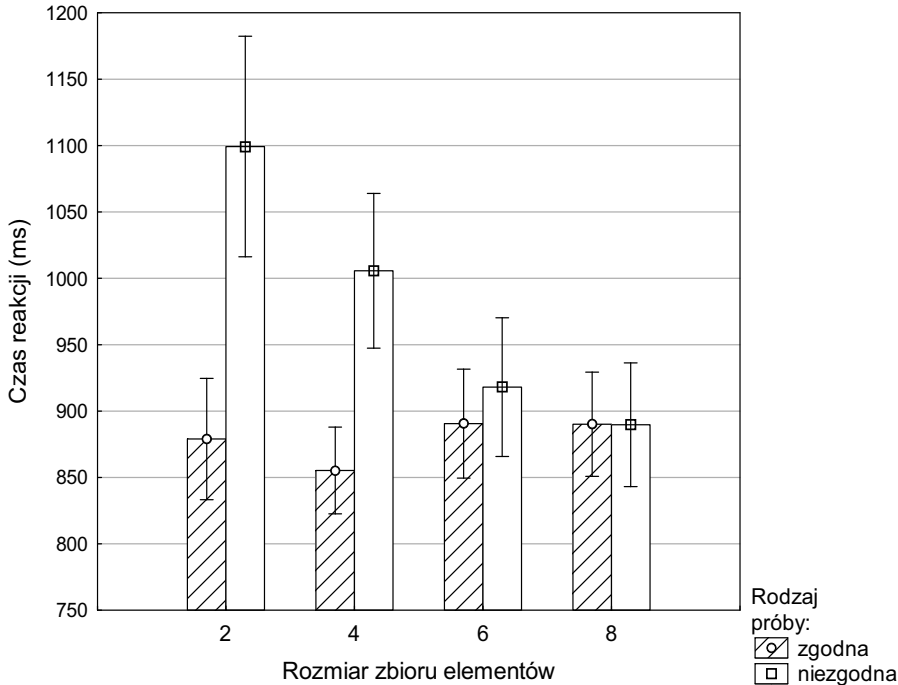
W przeprowadzonych badaniach użyto zadania Sternberga w omówionych powyżej dwóch wersjach. W wariantcie zmiennej wielkości zbioru elementów jego rozmiar mógł przyjąć jedną z wartości: dwa, cztery, sześć albo osiem, a w wariantcie stałym – osiem elementów, przy czym liczba ekspozycji w próbach zgodnych została zrównoważona ze względu na pozycję *targetu* w zestawie. Warunki zmiennej i stałej wielkości zbioru stanowiły odrębne serie eksperymentalne, przedzielone przerwą. W obu wersjach manipulowano ponadto ładunkiem afektywnym materiału (pozytywny, neutralny albo negatywny) oraz rodzajem próby (zgodna albo niezgodna). Całkowita liczba prób w wariantcie zmiennego rozmiaru zbioru wyniosła 120,

a w wariancie stałym – 96. Ponieważ zakładano, że wysoka złożoność bodźców będzie wymagać kodowania wielu cech dystynktywnych, czas prezentacji kolejnych elementów zestawu w obu seriach ustalono na 800 ms. W obu seriach proporcja prób zgodnych i niezgodnych była stała i wynosiła 50 : 50. Pomiarowi podlegał zarówno czas reakcji, jak i poprawność. W każdej próbie, po prezentacji punktu fikсации, kolejne elementy prezentowano w tempie 800 ms z ISI (*interstimulus interval*) wynoszącym 200 ms, a wyświetlenie bodźca testowego poprzedzała 100-milisekundowa ekspozycja maski. W baterii narzędzi psychometrycznych znalazły się również matryce progresywne Ravena w wersji zaawansowanej (Raven, Court, Raven, 1983), jako miara inteligencji płynnej. W badaniu udział wzięły 74 osoby (48 kobiet i 26 mężczyzn; wiek: $22 \pm 3,3$ lat).

W serii ze zmienną wielkością zbioru efekty główne manipulacji każdym z czynników okazały się statystycznie istotne, choć niektóre nieco zaskakujące. Okazało się, że czas reakcji skraca się wraz ze wzrostem wielkości zbioru elementów (funkcja ma charakter wykładniczy z przyspieszeniem ujemnym, a pomiędzy RT w warunku sześciu i ośmiu elementów nie ma już istotnych różnic). Czas reakcji w warunku pozytywnym był krótszy niż w warunku negatywnym. Istotna okazała się również interakcja wielkości zbioru i rodzaju próby ($F(3, 219) = 14,82, p < 0,0001$; zob. ryc. 24). Czas reakcji skracał się istotnie wraz ze wzrostem wielkości zbioru, lecz wyłącznie w warunku niezgodnym. Pomiedzy dwoma największymi zbiorami elementów nie było jednak różnic w zakresie RT; co więcej, reakcje te nie różniły się od reakcji w warunku zgodnym. Statystycznie rzecz ujmując, w próbach zgodnych funkcja RT(SS) była płaska (brak istotnych różnic pomiędzy zbiorami o różnym rozmiarze).

W przypadku analizy poprawności istotne okazały się efekty główne manipulacji wielkością zbioru elementów (dwa, cztery, sześć albo osiem elementów) i rodzaju próby (zgodna albo niezgodna). Poprawność zmniejszała się liniowo wraz ze wzrostem wielkości zbioru (wszystkie różnice między poszczególnymi wielkościami były istotne) oraz była istotnie niższa w warunku zgodnym niż w niezgodnym. Interakcja wielkości zbioru elementów i rodzaju próby również okazała się istotna ($F(3, 219) = 12,76, p < 0,0001$; zob. ryc. 25). Poprawność była stała w próbach niezgodnych, podczas gdy w zestawach zgodnych jej spadek w funkcji wielkości zbioru był niemal liniowy (wszystkie różnice między poszczególnymi wielkościami były istotne).

W wersji zadania ze stałą wielkością zbioru elementów zarówno efekt wielkości zbioru, jak i pozycji okazał się statystycznie istotny. Pozytywne reakcje były nieznacznie szybsze, a czas wzrastał wraz z odległością *targetu* od końca zestawu ($F(7, 420) = 12,95, p < 0,0001$; zob. ryc. 26). Również efekt główny manipulacji typem reakcji i pozycją *targetu* w zestawie okazał się istotny, jeśli chodzi o poprawność reakcji. Poprawność w warunku niezgodnym była wyższa niż w zgodnym. Wystąpił również silny efekt pozycji bodźca docelowego w zbiorze ($F(7, 427) = 25,34, p < 0,0001$; zob. ryc. 27). Nie stwierdzono istotnych różnic w poprawności pomiędzy ostatnimi dwoma elementami. Istotny spadek poprawności wystąpił natomiast w warunku *targetu* umieszczonego na trzeciej pozycji od końca (10%, co przy ogólnie wysokiej poprawności jest bardzo istotną zmianą).



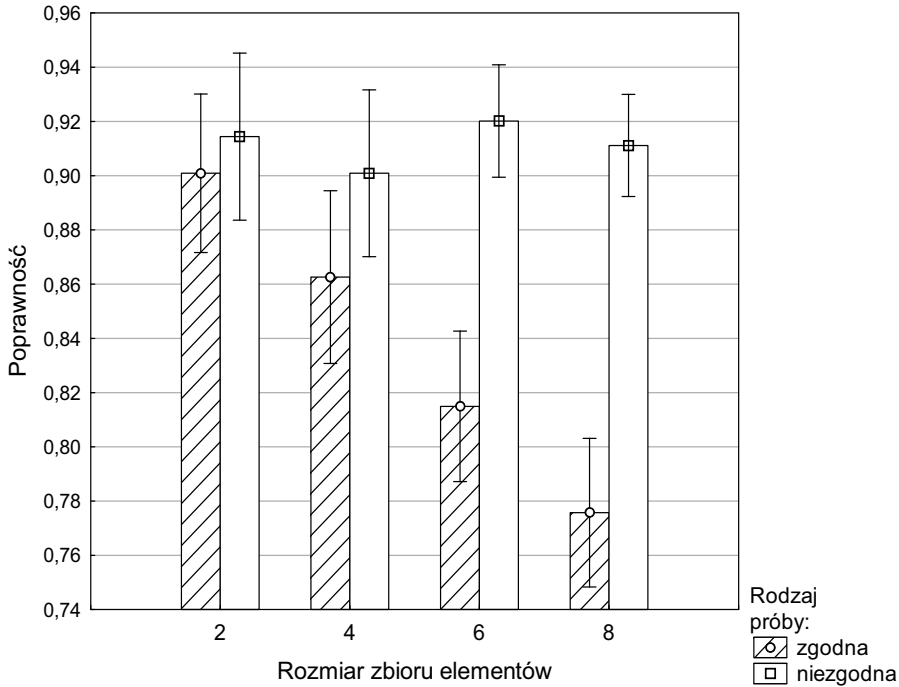
Ryc. 24. Średni czas reakcji w zależności od rozmiaru zbioru i rodzaju próby ($F(3, 219) = 14,82$, $p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

Efekty główne zadania Sternberga w wariancie ze stałym SS okazały się zgodne z oczekiwaniami, zarówno w przypadku czasu reakcji, jak i poprawności. Wystąpiły również istotne efekty pozycji w zakresie obu wskaźników zadania. Efekt pozycji w zakresie poprawności wskazuje na pojemność ogniska uwagi wynoszącą 1–2 elementy.

Analiza korelacyjna wyniku w teście RAPM i poziomu wykonania zadania w obu wariantach wskazuje na słabe, lecz istotne związki w obu przypadkach. Zarówno korelacje poprawności ($r = 0,26$, $p < 0,05$ w wersji zmiennej i $r = 0,32$, $p < 0,02$ w wersji stałej), jak i czasu reakcji (odpowiednio: $r = -0,39$, $p < 0,005$ i $r = -0,31$, $p < 0,02$) z poziomem inteligencji płynnej były istotne. Z kolei różnice w poprawności ($F(1, 61) = 1,12$, $p = \text{n.i.}$) i w czasie reakcji ($F(1, 61) = 0,77$, $p = \text{n.i.}$) między warunkiem zbioru 8-elementowego w serii ze zmiennym i stałym SS okazały się nieistotne. Poprawność różniła się zaledwie o 1%, a czas reakcji o 20 ms.

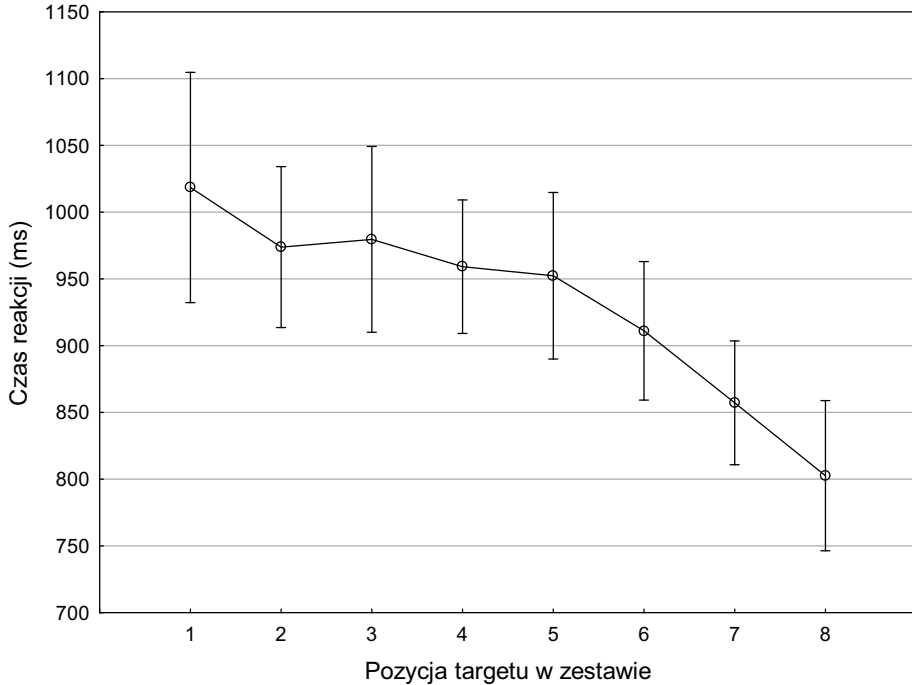
W wariancie zmiennego SS interesujący i zaskakujący był rezultat dotyczący związku czasu reakcji z wielkością zbioru. W wypadku prób niezgodnych był on odwrotny od zwykle uzyskiwanego. Wyjaśnienie wydaje się tkwić w rodzaju materiału, który zastosowano w badaniu. Był to zupełnie inny materiał niż zwykle stosowa-



Ryc. 25. Średnia poprawność reakcji w zależności od rozmiaru zbioru elementów i rodzaju próby ($F(3, 219) = 12,763, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

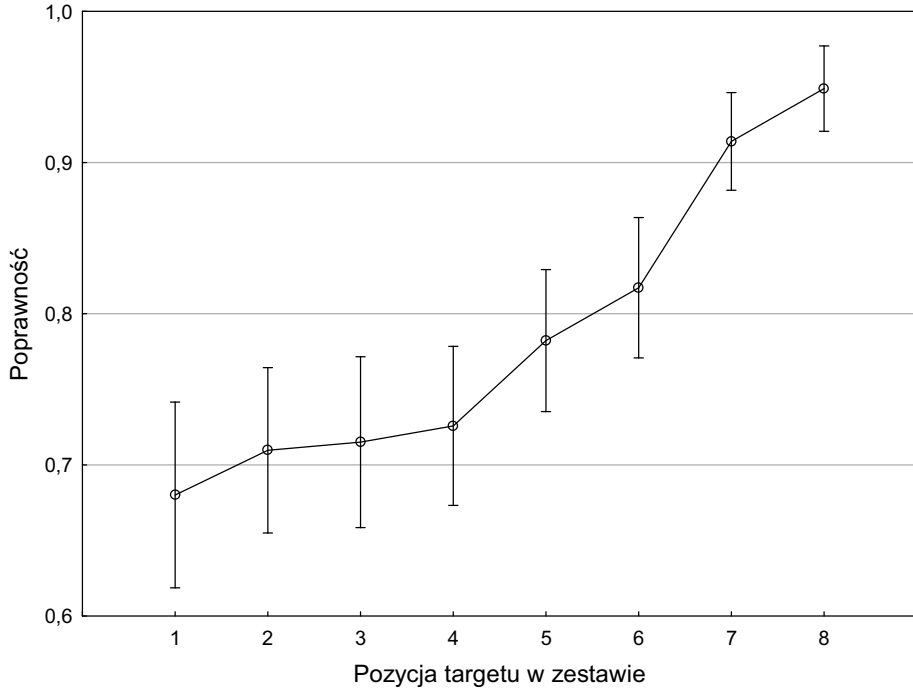
ny w tego rodzaju badaniach. Zdjęcia z biblioteki IAPS są złożone i zróżnicowane, a tym samym bardziej podobne do bodźców spotykanych w otoczeniu niż typowe bodźce stosowane w badaniach eksperymentalnych. Być może tego rodzaju bodźce, mimo że korzystają z uniwersalnych mechanizmów pamięciowych, stawiają nieco inne wymagania systemowi WM. Prawdopodobnie przeszukiwanie w fazie sekwencyjnej – poprzedzane, jak się zakłada w modelu dwufazowym, indeksacją złożonej aktywacji w fazie równoległej – opiera się na zakodowanych cechach dystyngtywnych. Im większy jest rozmiar zbioru, tym mniejsza jest liczba tych cech, szczególnie iż duże zróżnicowanie materiału powoduje, że cechy różnicujące dwa pierwsze elementy mogą być irrelevantne w przypadku kolejnych. Dlatego też rośnie udział oceny znajomości, która okazuje się – ze względu na zróżnicowaną ogólną aktywację generowaną przez materiał – wystarczająca do stwierdzenia nieobecności *targetu* w zestawie. Stąd poprawność w próbach niezgodnych jest stała i relatywnie wysoka bez względu na wielkość zbioru. Czas reakcji spada, gdyż druga faza przeszukiwania opiera się w coraz większym stopniu na rezultatach równoległej fazy indeksacji, a w warunku SS = 6 i 8 – już tylko na niej. Mechanizm indeksacji oparty na ogólnej aktywacji zawodzi natomiast w próbach zgodnych. Co prawda czas reakcji jest



Ryc. 26. Średni czas reakcji w zależności od pozycji *targetu* w zestawie pamięciowym ($F(7, 420) = 12,95, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

niezależny od wielkości zbioru i istotnie krótszy niż w próbach niezgodnych, lecz poprawność wyraźnie liniowo spada wraz ze zwiększaniem się zestawu. Innymi słowy, mechanizm przeszukiwania oparty na ogólnej aktywacji sprawdza się w odrzucaniu bodźców docelowych, które nie były obecne w zestawie (brak jakichkolwiek wspólnych cech dystynktywnych materiału pamięciowego i *probe*), a jest bardziej zawodny w próbach pozytywnych, tym bardziej, im większy jest zbiór elementów. Przy czym ocena zawodności tego mechanizmu jest względna. W najtrudniejszym warunku zbioru 8-elementowego poprawność wynosi 77% dla prób zgodnych i aż 91% dla prób niezgodnych. W analogicznych warunkach zadania Sternberga, w którym zastosowano heksagramy (eksperyment 1.2), uzyskano odpowiednio: 58% i zaledwie 51%. Wydaje się, że uzyskane wyniki potwierdzają hipotezę Wolfego (Wolfe, Cave, Franzel, 1989), który zakłada, że jeśli w procesie przeszukiwania uwagowego jest dostępnych wiele cech bodźca, na podstawie których dokonuje się jego detekcja, jej efektywność będzie wysoka. Wynika to z tego, że ogólna aktywacja pochodząca od tego rodzaju bodźców pozwala na łatwiejszą dyskryminację stymulacji. Wydaje się, że podobnie działa mechanizm przeszukiwania pamięci roboczej. Zarówno pośrednie, jak i bezpośrednie wskaźniki różnicowania strategicznego w serii zmien-



Ryc. 27. Średnia poprawność reakcji w zależności od pozycji *targetu* w zestawie pamięciowym ($F(7, 427) = 25,34, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

nego i stałego rozmiaru zbioru nie wskazują, aby różnice między nimi były pod tym względem istotne. Związki poziomu inteligencji z czasem reakcji i poprawnością są słabe, ale istotne, a ich siła jest podobna w przypadku obu serii. Na uniwersalność mechanizmu przeszukiwania wskazuje również porównanie czasu reakcji i poprawności w porównywalnych warunkach obciążenia WM, to jest kiedy wielkość zbioru wynosiła osiem elementów. Różnice te są nieistotne i – w wartościach bezwzględnych – bardzo niewielkie. Zgodnie z przyjętym założeniem, jeśli manipulacja stałością/zmiennością rozmiaru zbioru elementów nie wygeneruje różnic w poziomie wykonania, to będzie to dość silny argument na korzyść modelu dwufazowego.

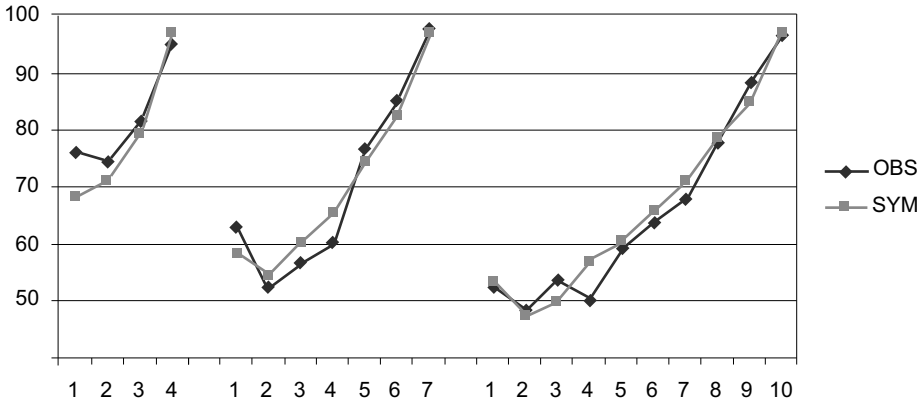
W przeprowadzonym eksperymencie użyto materiału bodźcowego bardzo rzadko stosowanego w badaniach laboratoryjnych. Chociaż nie można uznać, że bodźce – jak w klasycznych eksperymentach – są ekwiwalentne na przykład pod względem kategorii, złożoności czy liczby cech definiujących, zabieg ten był celowy. Pozwolił na badanie procesu przeszukiwania pamięci, który może zachodzić w zadaniach naturalnych. Pozwolił również na przetestowanie predykcji modelu dwufazowego w warunkach, które nie były uwzględnione w momencie jego formułowania. W zadaniu użyto nie tylko innego materiału bodźcowego, ale również istotnie zmodyfi-

kowano plan eksperymentalny (w osobnych wariantach zadania). Wyniki okazały się niezmiernie ciekawe, a nawet zaskakujące, nie wydaje się jednak, by były one sprzeczne z testowanym modelem dwufazowego przeszukiwania WM. Spośród wielu innych prób weryfikacji modelu dwufazowego, które przeprowadzono w grupie WM 312, na zakończenie tej części chciałbym wspomnieć o jeszcze jednej. Różni się ona zasadniczo od powyższych, dlatego zasługuje na szczególną uwagę.

Model obliczeniowy przeszukiwania pamięci roboczej

Chuderski z zespołem (Chuderski, Orzechowski, 2005; Chuderski, Stettner, Orzechowski, 2007) zaimplementował model dwufazowego przeszukiwania WM w architekturze poznawczej ACT-R (*Adaptive Control of Thought-Rational*; Anderson, Lebiere, 1998). Punktem wyjścia do stworzenia architektury ACT-R był opracowany przez Andersona (1976; Anderson, Bower, 1973) model pamięci. Miał on być na tyle ogólny, aby pozwolić na wyjaśnianie (później modelowanie obliczeniowe) złożonych procesów poznawczych, takich jak myślenie, posługiwanie się językiem lub podejmowanie decyzji. Później Anderson rozwinął tę koncepcję, uwzględniając w niej nie tylko struktury pamięci, ale również inne procesy przetwarzania informacji. Wśród wielu założeń modelu (por. Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006) jedno okazało się szczególnie istotne dla wyboru tej właśnie architektury. Mianowicie w ACT-R został zaimplementowany aktywacyjny moduł pamięci działający zgodnie z modelem dwufazowym. Był on inspirowany innymi teoriami dwuprocesowymi czy dwufazowymi (na przykład modelem przewodników Wolfego). Punktem odniesienia do przeprowadzonej symulacji były wyniki empiryczne zgromadzone przez Piotrowskiego, Stettnera i Balasa (2005). Do nich próbowano dopasować różne wersje modelu obliczeniowego. Dane behawioralne obejmowały warunek werbalny zadania Sternberga, w którym użyto liter jako bodźców zestawu pamięciowego. W eksperymencie manipulowano wielkością zbioru elementów (4, 7 albo 10), rodzajem próby (zgodna albo niezgodna) i tempem prezentacji bodźców (300 ms albo 700 ms). Dane zawierały zarówno wskaźniki czasu reakcji, jak i poprawności.

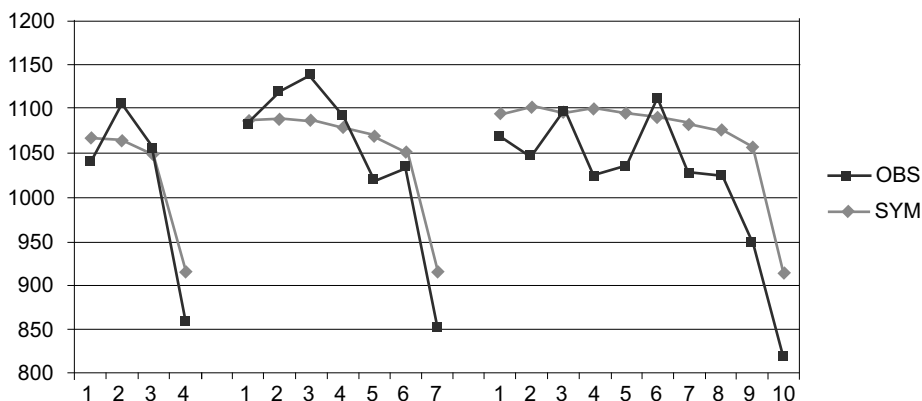
Najlepiej dopasowanym modelem okazał się model dwufazowego przeszukiwania, uzupełniony jednak jeszcze jedną, dodatkową fazą. Pierwsza faza została zaimplementowana jako proces automatycznego indeksowania śladów pamięciowych w zależności od ich intensywności i świeżości. Potencjalnie faza ta – czego już nie wykonano w modelu – daje możliwość zmiany indeksu śladu, w wyniku na przykład wyróżnienia bodźca albo uwzględnienia podobieństwa do bodźca docelowego. W fazie drugiej dokonuje się sekwencyjne przywoływanie i porównywanie kolejnych śladów pamięciowych z bodźcem docelowym. Ponieważ dzieje się to w ognisku uwagi, zmiana poziomu aktywacji może wpływać na priorytet bodźca w tym procesie. W tym sensie model w drugiej fazie korzysta z informacji z fazy



Ryc. 28. Obserwowana (OBS) i symulowana (SYM) proporcja poprawnych reakcji w warunkach zgodnym dla kolejnych pozycji i liczebności zbioru bodźców do zapamiętania.

Źródło: Chuderski, Orzechowski, 2005.

pierwszej. Jeśli faza druga nie prowadzi do odnalezienia *targetu*, jest uruchamiana dodatkowa faza polegająca na ponownym równoległym przeszukaniu obszaru znajdującego się poza ogniskiem uwagi rozumianym, podobnie jak u Cowana, jako około cztery najbardziej aktywne elementy. Dodatkowa faza obejmowałaby zatem elementy znajdujące się poza ogniskiem uwagi i obszarem bezpośredniego dostępu. Ich aktywność jest co prawda wyższa od progowej, ale zbyt niska, aby objąć je sekwencyjnym przeszukiwaniem opartym na dyskryminacji cech. Jedyną wskazówką, która jest wówczas dostępna, jest szczątkowa aktywacja ogólna. Proces ten ma architekturę równoległą, więc może objąć jednocześnie cały podzbiór elementów poza obszarem bezpośredniego dostępu, zanim jego aktywacja zostanie wygaszona do poziomu bazowego. Jeśli *target* znajduje się w tym podzbiórze, wówczas trzecia faza przeszukiwania jest ostatnią okazją do jego odnalezienia, chociaż – ze względu na mało wyrafinowany charakter mechanizmu oceny znajomości – istnieje wysokie ryzyko błędu w tym procesie. Można też zastanowić się, czy jest to jeszcze przeszukiwanie pamięci roboczej, czy też już innego obszaru pamięci. Na przykład w modelu Cowana pamięć krótkotrwała obejmuje tylko te elementy, które są w ognisku uwagi, reszta jest już częścią pamięci długotrwałej. Tak czy inaczej, wydaje się, że dostęp do materiału pamięciowego poza ogniskiem uwagi angażuje specyficzne mechanizmy pamięciowe, odmienne od tych, które obejmują treści o wysokiej aktywacji. Wyniki dopasowania powyżej opisanego modelu okazały się bardzo dobre. Symulacja poprawności, z uwzględnieniem efektu pozycji (tylko warunek pozytywny) i warunku negatywnego, dla wszystkich zbiorów różniących się rozmiarem (4, 7 i 10 elementów) po uśrednieniu czasów prezentacji (300 ms i 700 ms) generowała dopasowanie do danych na poziomie 95,4% wyjaśnionej wariancji wyników empirycznych (zob. ryc. 28).



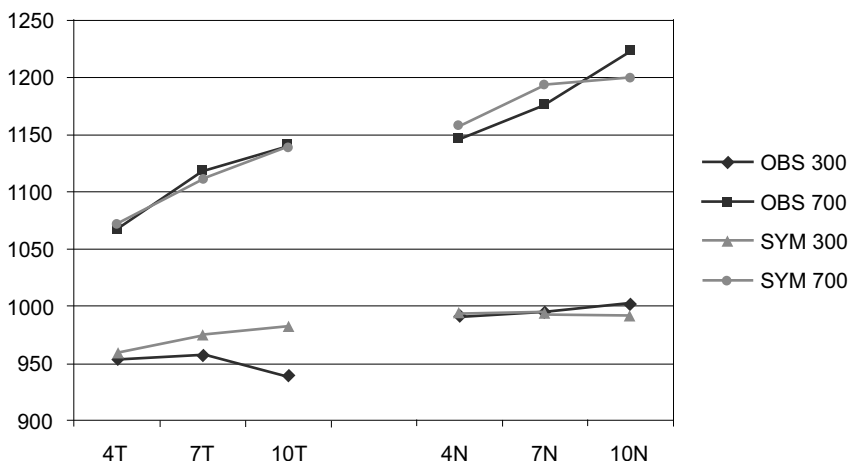
Ryc. 29. Obserwowany (OBS) i symulowany (SYM) średni czas poprawnych reakcji w warunkach zgodnym dla kolejnych pozycji i liczebności zbioru bodźców do zapamiętania.

Źródło: Chuderski, Orzechowski, 2005.

Model ten odtwarza również efekt rodzaju próby (różnicę między zgodną i niezgodną) oraz efekt wielkości zbioru (różnice w zbiorach 4, 7 i 10 elementów). Symulacja czasów reakcji, dokonana z uwzględnieniem czasu ekspozycji (300 ms i 700 ms), wyjaśnia 84,7% wariacji wyników empirycznych (zob. ryc. 29).

Najciekawsze wydają się jednak wyniki symulacji interakcyjnego wpływu czasu prezentacji i wielkości zbioru elementów na czas reakcji, czyli interakcji podstawowej dla sformułowania modelu dwufazowego. Okazało się, że model wyjaśnia aż 97,4% wariacji wyników empirycznych (zob. ryc. 30). Odtworzono klasyczne efekty główne, to jest większą szybkość reakcji w warunkach ekspozycji wynoszącej 300 ms niż w warunkach 700 ms oraz krótsze czasy reakcji w warunkach zgodnym niż niezgodnym. Model bardzo dobrze odtwarza również interakcję czasu prezentacji i wielkości zbioru elementów: funkcja $RT(SS)$ rosła liniowo w próbach niezgodnych oraz w próbach zgodnych, o ile czas ekspozycji był długi (700 ms), i była płaska w warunkach zgodnym, kiedy tempo ekspozycji wynosiło 300 ms na element.

Mając świadomość ograniczeń symulacji komputerowych i modeli obliczeniowych, nie należy traktować ich wyników jako rozstrzygających. Co jednak istotne, były one niesprzeczne z proponowanym modelem dwufazowego przeszukiwania WM. Pozwoliły także na falsyfikację innych modeli, na przykład jednofazowego przeszukiwania, który również był zaimplementowany w ACT-R. Wyniki symulacji wskazują na bardzo dobre dopasowanie modelu do danych empirycznych, szczególnie w krytycznych momentach – niemal idealnie odtwarzają interakcyjny wpływ czasu ekspozycji i wielkości zbioru elementów na czas reakcji, zarówno w warunkach 700 ms, jak i 300 ms (eksperyment 2.1). Co więcej, dzięki modelowaniu postawiono hipotezę o dodatkowej fazie przeszukiwania obejmującej elementy spoza pamięci roboczej, ale eksponowane w zadaniu.



Ryc. 30. Obserwowany (OBS) i symulowany (SYM) średni czas poprawnych reakcji w warunkach zgodnym (T) i niezgodnym (N) dla kolejnych liczebności zbioru bodźców do zapamiętania oraz dla czasu prezentacji 300 ms i 700 ms.

Źródło: Chuderski, Orzechowski, 2005.

Podsumowanie

W zaprezentowanej wyżej serii eksperymentów analizie poddano mechanizm przeszukiwania pamięci roboczej. Uwzględniono dwa poziomy analizy tego mechanizmu. Pierwszy poziom obejmował trzy parametry formalne: architekturę (sekwencyjną vs równoległą), regułę stopu (wyczerpującą vs samowygaszającą) i wydajność procesu (limitowaną vs Nielimitowaną). Drugi poziom dotyczył analizy procesu przeszukiwania w kontekście głównych koncepcji pamięci roboczej. Przeprowadzone badania empiryczne z użyciem różnych wersji zadania Sternberga uwzględniały manipulacje czasem prezentacji, rodzajem materiału i stopniem jego podobieństwa w ramach zestawu, pozwoliły na sformułowanie i test wybranych założeń modelu dwufazowego przeszukiwania WM. W tej serii zaprezentowano również wyniki modelowania obliczeniowego, które pozwoliły na weryfikację stopnia dopasowania danych do różnych modeli procesu przeszukiwania WM.

Uzyskane rezultaty wskazują, że w przeszukiwaniu WM udział biorą dwie fazy: automatycznego procesu indeksowania materiału dostępnego w WM oraz kontrolowanego porównania kolejnych śladów pamięciowych z *probe*. Faza pierwsza opiera się na ogólnym podobieństwie aktywacji materiału pamięciowego i bodźca docelowego; przebiega równoległe dla całego dostępnego materiału i nie jest limitowana wydajnością, lecz danymi (obejmowała tylko aktywne elementy, nawet jeśli cały zaprezentowany zestaw był większy i zawierał również elementy nieaktywne w momencie inicjacji przeszukiwania). Zadaniem tej fazy jest dostarczenie infor-

macji o kolejności przeszukiwania w fazie drugiej. Wydaje się, że w indeksowaniu kolejności materiału do przeszukania główną rolę odgrywa poziom aktywacji decydujący o dostępności materiału i ocenie podobieństwa. W fazie drugiej dokonuje się sekwencyjne porównywanie kolejnych śladów pamięciowych z bodźcem docelowym, a o jego kolejności decyduje faza indeksacji. W tej fazie zostają uwzględnione dystynktywne cechy stymulacji, które mogą być tylko jedną z cech złożonego materiału bodźcowego. Dlatego też, pomimo wysokiego priorytetu danego bodźca w zindeksowanej „kolejce”, jego aktywacja może zostać wyhamowana, jeśli przeszukiwanie nie wykaże zgodności jego cechy dystynktywnej i *probe*. Wówczas jest ono kontynuowane albo do momentu odnalezienia *targetu* (próby pozytywne), albo do stwierdzenia jego nieobecności (próby negatywne). Jeśli w systemie pamięciowym istnieje szczątkowa aktywacja pochodząca od elementów spoza obszarów aktywnych (ogniska uwagi i obszaru bezpośredniego dostępu), można uruchomić dodatkową fazę przeszukiwania z ich uwzględnieniem. Ich aktywność jest zbyt niska, aby objąć je sekwencyjnym przeszukiwaniem opartym na dyskryminacji cech, ale jest możliwe wykorzystanie podobieństwa wynikającego z ogólnej aktywacji. Proces ten ma architekturę równoległą, czyli obejmuje jednocześnie cały podzbiór elementów poza obszarem bezpośredniego dostępu, zanim jego aktywacja zostanie całkowicie wygaszona. Złożoność stymulacji dostarczająca wielu cech dystynktywnych może wspomagać fazę trzecią, sprawiając, że dostęp do dużych zbiorów danych może być wyższy od poziomu losowego (na przykład 0,7 dla najstarszych elementów w eksperymencie 2.3). Jak się wydaje, udział w procesie kodowania większych zbiorów ma pamięć długotrwała, co jest zgodne z tezami Ericssona i Kintscha (1995). Być może gdyby zastosowano materiał bardziej specyficzny dla ekspertyzy osób badanych, jego dostępność byłaby jeszcze wyższa. Również efekt pierwszeństwa pojawiający się w większych zbiorach zadania Sternberga dowodzi, że w ich przeszukiwaniu jest zaangażowana pamięć trwała. W przeciwieństwie do badaczy uznających efekty pierwszeństwa i świeżości za dowody funkcjonalnej i strukturalnej odrębności podsystemów WM – w modelu aktywacyjnym stanowią one argument na korzyść tezy zgoła przeciwnej. Jedyną możliwością utrzymania dostępu do większego zbioru elementów jest próba zakodowania ich w pamięci trwałej. Efekt pierwszeństwa świadczy o interferencji proaktywnej, ale również o transferze informacji do LTM. Z teorii zasobowych wynika, że limitowane zasoby systemu, przydzielone w momencie ekspozycji kolejnych elementów, otrzymuje wówczas tylko jeden element, który – początkowo – znalazł się w ognisku uwagi. Dlatego ma on szansę na najgłębsze zakodowanie, a co za tym idzie zyskuje pewien priorytet w przeszukiwaniu (choć mniejszy niż elementy w obszarze bezpośredniego dostępu). Kolejne prezentowane bodźce otrzymują coraz mniej limitowanych zasobów, co utrudnia ich efektywne kodowanie. Jeśli materiał stanowią egzemplarze pewnej jednorodnej kategorii, rośnie również interferencja wywołana ich wzajemnym podobieństwem. Stawia to bardzo wysokie wymagania procesowi kodowania nowych informacji i może prowadzić zarówno do niskiej rozróżnialności wzorców aktywacji będącej podstawą indeksowania w pierwszej fazie czy równoległego przeszukiwania w fazie trzeciej,

jak i do niedostępności cech dystynktywnych pozwalających na efektywny przebieg drugiej, sekwencyjnej fazy porównywania. Jeśli *target* wyróżnia się w zestawie (na przykład jego podobieństwo do reszty elementów zestawu jest niskie; por. eksperyment 2.2) albo jest definiowany przez wiele cech mogących stanowić podstawę efektywnej dyskryminacji (por. eksperyment 2.3), wówczas proces kodowania oraz opartego na jego efektach przeszukiwania może być skuteczny nawet w większych zbiorach pamięciowych.

Na mechanizm przeszukiwania proponowany w modelu dwufazowym nakłada się efekt zanikania śladów pamięciowych w funkcji czasu. Ognisko uwagi, skupione zazwyczaj na ostatnio prezentowanym bodźcu, jest efektywnym, ale bardzo ograniczonym pojemnością mechanizmem utrzymującym aktywację materiału pamięciowego. Wydaje się jednak, że jest to mechanizm na tyle elastyczny, iż może on abstrahować od kolejności ekspozycji materiału, o ile istnieje jakaś wskazówka, że inny niż ostatni element jest istotny w tym materiale (por. eksperymenty 1.3 i 1.4). Wskazówki takie mogą pochodzić z zadania, ale zapewne również z aktywacji sieci semantycznej, jeśli prezentowany jest materiał wyraźnie nacechowany semantycznie. Dodatkowym zatem mechanizmem, który mógł wspomagać przeszukiwanie WM w zadaniu z użyciem zdjęć obiektów naturalnych, jest też kontekst pamięciowy aktywowany w trakcie ich kodowania. Jeśli jednak nie ma żadnych wskazówek, które wyróżniają wybrane elementy zestawu pamięciowego, najbardziej dostępne są te ostatnie. Ich liczba zależy przede wszystkim od możliwości ich efektywnego zakodowania. Dobrze znane bodźce, takie jak litery czy słowa, mają większą szansę na efektywne kodowanie nawet w trakcie szybkiej prezentacji; ich też więcej zmieści się w obszarze bezpośredniego dostępu. Bodźce nieznanе osobom badanym, wymagające budowania zupełnie nowych reprezentacji, a nie tylko wzbudzenia istniejących, stawiają znacznie większe wymagania zarówno procesowi kodowania, jak i podtrzymywania. To tłumaczy różnice w pojemności WM wynikające z zastosowania bardzo odmiennego materiału oraz różnego czasu ekspozycji (por. eksperyment 1.1). Wyjaśnia również zasadniczą różną efektywność procesu przeszukiwania pamięci w zależności od manipulacji typem materiału i czasem jego ekspozycji.

Część III

PAMIĘĆ ROBOCZA W ZŁOŻONEJ AKTYWNOŚCI POZNAWCZEJ CZŁOWIEKA

Trzecia część niniejszej monografii została poświęcona pograniczu poznania i różnic indywidualnych zawężonemu do związków funkcjonowania pamięci roboczej z efektywnością rozumowania relacyjnego. Będą to rozważania na temat roli pamięci roboczej we wnioskowaniu przez analogię występującym w zadaniach o charakterze konwergencyjnym i dywergencyjnym. Początkowe badania własne autora miały na celu weryfikację nieliniowo-równoległego modelu rozumowania przez analogię (Orzechowski, 1998; 1999a; 1999b; 2004a; 2004b), który następnie został rozwinięty (Nęcka, Orzechowski, 2005). Model teoretyczny odwoływał się do szerszego spektrum elementarnych procesów poznawczych, które – na podstawie literatury przedmiotu – uwzględniono w modelu. Poniżej zostaną one krótko przedstawione, aby wyjaśnić źródła propozycji teoretycznych zawartych w modelu. W prezentacji wyników badań własnych skupiono się jednak przede wszystkim na eksperymentach poświęconych związkowi WM z rozumowaniem relacyjnym (a więc nie tylko wnioskowaniu przez analogię) w zadaniach dywergencyjnych.

Pamięć robocza a wyższe procesy poznawcze

Złożone procesy poznawcze czy też poznanie wyższego rzędu są rozumiane jako takie fenomeny przetwarzania informacji, w których fundamentalną rolę odgrywają czynniki metapoznawczej kontroli i monitoringu (Nęcka, Orzechowski, 2005). Odwołanie się do czynników metapoznawczych może jednak nie być wystarczająco dystynktywne dla ustalenia granicy między poznaniem niższego i wyższego rzędu. Wydaje się, że czynnikami, które mogą wpływać na rozgraniczenie między tymi dwoma poziomami poznania, są: (1) liczba lub złożoność operacji mentalnych, których wymaga wykonywane zadanie, (2) liczba czynników, które mają wpływ na wykonanie zadania, (3) złożoność modelu mentalnego, czyli liczba zmiennych, które reprezentują zadanie i na których dokonują się umysłowe manipulacje, (4) czas potrzebny do wykonania zadania (Nęcka, Orzechowski, 2005). Lista ta nie jest zapewne kompletna i tylko w przybliżeniu pozwala na postawienie granicy między elementarnymi i złożonymi procesami poznawczymi. O nieostrości tej granicy dobitnie świadczy fakt niekiedy dość odmiennego układu treści w akademickich podręcznikach do psychologii poznawczej, nawet jeśli ich autorzy przyjmują układ od elementarnych do złożonych procesów umysłowych (por. Nęcka, Orzechowski, Szymura, 2006). W psychologii poznawczej przyjęło się jednak, że myślenie, rozumowanie, rozwiązywanie problemów i podejmowanie decyzji są poznawczymi fenomenami z poziomu operacji wyższego rzędu.

Badania nad związkami funkcjonowania pamięci roboczej z efektywnością planowania i realizacji złożonych zadań poznawczych są wpisane w definicję WM.

Przyjmuje się bowiem, że pamięć robocza odgrywa główną rolę w tego rodzaju zadaniach. Co więcej, analiza związków między WM a wyższymi procesami poznawczymi jest tak samo nośna dla obu grup teorii i badacze obu stron z tego korzystają. Wiele badań wskazuje na to, że wydajność pamięci roboczej jest silnie skorelowana z wieloma procesami poznawczymi wyższego rzędu. Rezultaty wielu badań potwierdzają, że WMC jest najlepszym pojedynczym predyktorem zdolności rozumowania (Kyllonen, Christal, 1990; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, Schulze, 2002) oraz powiązanej z nią inteligencji płynnej (Ackerman, Beier, Boyle, 2002; Conway, Cowan, Bunting, Theriault, Minkoff, 2002; Engle, Tuholski, Laughlin, Conway, 1999; zob. też metaanalizy: Ackerman, Beier, Boyle, 2005; Kane, Hambrick, Conway, 2005; Oberauer, Schulze, Wilhelm, Süß, 2005; Hambrick, Kane, Engle, 2005; zob. przegląd: Chuderski, Orzechowski, 2009). Podłoże tego związku jest jednakże wciąż niejasne, pomimo bowiem występowania silnych korelacji trudno zgodzić się, że pamięć robocza i rozumowanie to synonimy. I nie chodzi nawet o wyniki testów empirycznych, co o status teoretyczny obydwu konstruktów.

Zainteresowanie relacjami między procesami niższego i wyższego rzędu, a szczególnie możliwościami wyjaśniania różnic indywidualnych w zakresie tych drugich, na początku lat 90. XX wieku było czymś unikatowym również na skalę światową. Dziś jest już tradycją badawczą Zakładu Psychologii Eksperymentalnej w Instytucie Psychologii Uniwersytetu Jagiellońskiego. Edward Nęcka, jeden z prekursorów tego ujęcia w Polsce, interesował się początkowo głównie elementarnymi mechanizmami poznawczymi inteligencji (Nęcka, 1992; 1994; 1996; 1997; 2000; Chuderski, Nęcka, 2010; Kossowska, Nęcka, 1994; Nęcka, Orzechowski, 2005; Wolski, Nęcka, 1996). Badania te były ulokowane w szerszej kategorii badań nad związkiem między WMC i różnicami indywidualnymi w sprawności rozumowania. W kulturze zachodniej inteligencja jest rozumiana i operacjonalizowana jako zdolność do radzenia sobie z problemami wymagającymi abstrakcyjnego myślenia. Najpopularniejszy test inteligencji płynnej – Test Matryc Progresywnych Ravena (Raven, Court, Raven, 1983) – sprowadza się do użycia zadań wymagających rozumowania relacyjnego na materiale abstrakcyjnym. Badania nad wnioskowaniem przez analogię są natomiast źródłem interesujących danych na temat związków WMC z różnicami indywidualnymi w zakresie efektywności rozumowania indukcyjnego. Osobnym i stosunkowo nowym źródłem danych dotyczących związku WMC z poznaniem wyższego rzędu są badania zespołów naukowych zajmujących się rozumowaniem dedukcyjnym – cenne, ponieważ uzupełniają naszą wiedzę w zakresie związków pamięci roboczej z takimi rodzajami zadań wymagających rozumowania, które rzadziej albo wcale nie są używane w testach inteligencji, na przykład rozumowanie sylogistyczne czy warunkowe.

Nie jest jednak wielkim zaskoczeniem, że wyniki empiryczne potwierdzają intuicje, iż związek WMC z efektywnością złożonych procesów jest pozytywny, niekiedy nawet bardzo silny. Dlatego badaczy interesuje obecnie nie tyle pytanie, czy związek ten istnieje, ile jaki jest jego mechanizm oraz w jaki sposób poznanie tego mechanizmu wzbogaca naszą wiedzę zarówno o pamięci roboczej, jak i o złożonych procesach mentalnych. Problem jednak nie jest banalny, a wyniki nie zawsze

są oczywiste. Kareev (1995a; 1995b) wykazał na przykład, że różnice indywidualne w pojemności pamięci roboczej są związane ze zdolnością do wykrywania korelacji. Przy czym to osoby o mniejszej pojemności pamięci roboczej miały przewagę w zadaniu wymagającym wykrywania korelacji między dwiema zmiennymi. Próbuując to wyjaśnić, autor argumentuje, że mniejsza pojemność WM sprzyja uproszczeniom i wychwytywaniu prawidłowości, co z kolei pozwala na bardziej trafną ocenę siły korelacji (zob. też Gaissmaier, Schooler, Rieskamp, 2006). Nie zawsze zatem większa pojemność pamięci roboczej prowadzi do większej skuteczności w wykonaniu złożonych zadań poznawczych (Hertwig, Todd, 2003), niemniej wydaje się, że jest to raczej wyjątek niż prawidłowość.

Pamięć robocza a rozumowanie

Rozumowanie to formułowanie wniosków na podstawie przesłanek. Rozumowanie dedukcyjne polega na wyciąganiu wniosków z przesłanek z wykorzystaniem formalnych reguł logiki. Psychologowie interesują się rozumowaniem dedukcyjnym, ponieważ – przynajmniej początkowo – wyniki badań wyraźnie pokazywały, że myślenie ludzi niewykształconych w zakresie logiki różni się od przewidywań wynikających z teorii normatywnej, którą najczęściej stanowią podstawowe prawa logiczne lub zasady rachunku prawdopodobieństwa (por. Evans, 2002). Okazało się, że popełniamy systematyczne błędy logiczne, specyficzne w różnych schematach wnioskowania, choć jest ich tym mniej, im treść zadań logicznych bliższa jest doświadczeniu codziennemu lub kompetencjom (Griggs, Cox, 1982; Tooby, Cosmides, 1990; Cosmides, Tooby, 1992; 1994). We wszystkich znaczących teoriach rozumowania dedukcyjnego, to jest teorii abstrakcyjnych reguł (Braine, Rumain, 1983; Rips, 1994) i teorii modeli umysłowych (Johnson-Laird, 1983; 1994; Johnson-Laird, Byrne, 1991), rozumowanie wymaga zaangażowania pamięci roboczej tym większego, im trudniejsze jest zadanie. Na tym poziomie ogólności predykcje obu teorii, w odniesieniu do obciążenia WM, nie różnią się istotnie. W teorii reguł zakłada się, że rozumowanie polega na tworzeniu „łańcuchów umysłowych” łączących przesłanki z wnioskiem. Im więcej zatem jest ogniw w tego rodzaju łańcuchach, tym większe jest obciążenie pamięci roboczej, a w konsekwencji wzrasta prawdopodobieństwo popełnienia błędu. W teorii modeli umysłowych rozumowanie z kolei polega na tworzeniu umysłowych symulacji (modeli) zgodnych z danymi zawartymi w przesłankach. Im bardziej złożona reprezentacja sytuacji problemowej, tym więcej należy utworzyć modeli umysłowych i tym większa ich złożoność, a co za tym idzie rosną również wymagania stawiane pamięci roboczej oraz ryzyko błędu. Te ogólne predykcje potwierdzono wielokrotnie, uzyskując pozytywne korelacje między WMC a poziomem wykonania zadań rozumowania sylogistycznego (Kyllonen, Christal, 1990) i rozumowania warunkowego (Barrouillet, Lecas, 1998; 1999; zob. przegląd: Mackiewicz, 2009).

Badania nad związkiem WM z rozumowaniem, prowadzone w ciągu ostatnich kilku lat, idą w różnych kierunkach. Ogólnie można powiedzieć, że związek pomiędzy rozumowaniem i WM jest badany z uwzględnieniem różnych form rozumowania oraz treści zadań logicznych, jak i różnych funkcji WM. Badania te dotyczą zatem rozumowania sylogistycznego i warunkowego, jako dwóch podstawowych rodzajów rozumowania (choć również na przykład koniunkcji, alternatywy), oraz treści zadań rozumianych na dwa sposoby: abstrakcyjne vs konkretne oraz werbalne (sądy) vs przestrzenne. Badacze coraz częściej odwołują się również do szczegółowych funkcji WM, testując predykcje dotyczące ich związków z rozumowaniem, szczególnie te, które różnicują teorie reguł i modeli mentalnych. Najczęściej można spotkać odniesienia do wielokomponentowego modelu Baddeleya, lecz – głównie dzięki badaniom zespołu Oberauera – w literaturze odnotowujemy także próby łączenia poszczególnych funkcji zarządczych z efektywnością rozumowania (zob. przegląd: Orzechowski, 2010).

Początkowe badania, których celem była weryfikacja hipotez o udziale podsystemów fonologicznego i wzrokowo-przestrzennego WM w rozumowaniu, wskazywały na niewielką rolę ich pojemności. Gilhooly, Logie, Wetherick i Wynn (1993) nie stwierdzili wpływu manipulacji żadnego z podsystemów na efektywność rozumowania sylogistycznego. Podobnie nie wykazano wpływu wydajności zarówno pętli fonologicznej, jak i szkicownika wzrokowo-przestrzennego na rozumowanie warunkowe (np. Evans, Brooks, 1981; Toms, Morris, Ward, 1993). Późniejsze badania, w których próbowano rozdzielić funkcje zarządcze i aktywność podsystemów pamięciowych WM, odnosząc się do różnego typu rozumowań z użyciem różnego typu materiału, pozwoliły na wychwycenie pewnych prawidłowości. Po pierwsze, wydaje się, że treść zadania – abstrakcyjna (werbalna) vs przestrzenna – ma związek z efektywnością określonych podsystemów pamięciowych. Na przykład w badaniach Klauera, Stegmaiera i Meisera (1997) poprawność rozumowania w zadaniu przestrzennym wiązała się z wydajnością podsystemu wzrokowo-przestrzennego, nie miała natomiast większego wpływu na efektywność rozumowania na materiale abstrakcyjnym wyrażonym w postaci sądów. W przypadku obciążenia centralnego systemu wykonawczego zaobserwowano jego negatywny wpływ zarówno na rozumowanie abstrakcyjne, jak i przestrzenne. Inne badania przeprowadzone w metodologii badań różnicowych, w której niezależną baterią zadań szacowano efektywność podsystemów WM, wydają się wskazywać, że w zadaniach konkretnych biorą udział obydwie podsystemy, podczas gdy w zadaniach abstrakcyjnych wyłącznie pętla fonologiczna. Badania, w których przedmiotem zainteresowania było porównanie różnych rodzajów rozumowania, wykazały natomiast, że w przypadku rozumowania sylogistycznego jego poprawność jest powiązana zarówno z funkcjami wykonawczymi, jak i ze sprawnością podsystemów pętli fonologicznej i szkicownika wzrokowo-przestrzennego. W przypadku zaś zadań przestrzennych – wyłącznie z funkcjami wykonawczymi (Capon, Handley, Dennis, 2003).

Rezultaty omawianych badań nie są w pełni spójne, wydają się jednak wskazywać na zróżnicowanie udziału podsystemów pamięciowych WM w rozumowaniu

zależnie od jego typu i stosowanego materiału. Jest to więc raczej zależność ograniczona do określonej dziedziny (*domain-specific*). W większości z nich jednak, niezależnie od typu rozumowania i rodzaju materiału, udaje się uchwycić zaangażowanie nadrzędnych funkcji kontrolnych w rozumowanie, co świadczy o tym, że interesująca nas zależność ma również charakter ogólny (*domain-general*). Badaniem związku różnych funkcji zarządczych z rozumowaniem zajął się Oberauer ze współpracownikami (Oberauer, Süß, Wilhelm, Wittmann, 2003). Badacz najważniejszą rolę w rozumowaniu jest skłonny przypisywać ogólnej wydajności pamięci roboczej. Uważa, że w rozumowaniu zdolność ta jest konieczna do tworzenia nowych relacji między wieloma elementami reprezentującymi zadanie w celu integracji ich w nową strukturę (*structural representations*). Autor zakłada, że wszystkie rodzaje zadań wymagających rozumowania mają wspólną właściwość polegającą na tym, że do ich rozwiązania potrzebne jest utworzenie takiej nowej struktury. Zadanie to wymaga jednocześnie różnych funkcji zarządczych (Oberauer, Süß, Wilhelm, Wittmann, 2003), złożoność tej nowej struktury jest jednak limitowana wydajnością pamięci roboczej. Szczególnie istotny, zdaniem Oberauera, jest tak zwany obszar bezpośredniego dostępu, którego pojemność limituje liczbę elementów możliwych do jednoczesnego umiejscowienia w systemie odpowiedzialnym za koordynację (integrację). Powoduje to ograniczenie liczby elementów, które mogą zostać uwzględniane w procesie integracji i tworzenia nowej struktury. Oberauer i współpracownicy (2007) przeanalizowali wiele różnych zadań wymagających rozumowania, głównie dedukcyjnego i indukcyjnego, oraz zadań na rozwiązywanie problemów, które wymagają integracji relacyjnej (*relational integration*). Związki między nimi wydają się bardzo silne. Na przykład w metaanalizie wyników własnych (Oberauer, Süß, Schulze, Wilhelm, Wittmann, 2000; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, Schulze, 2002) Oberauer pokazał, że zagregowany czynnik WMC koreluje z rozumowaniem dedukcyjnym (czynnikiem rozumowania z *Berlin Intelligence Structure Model*, BIS) na poziomie od $r = 0,76$ do $r = 0,77$, a z rozumowaniem indukcyjnym (czynnikiem inteligencji ogólnej) na poziomie od $r = 0,69$ do $r = 0,82$. Oznacza to, zdaniem autora, że oba konstrukty, to jest pamięć robocza i rozumowanie, są silnie powiązane, choć zachowują swą odrębność. Co stanowi o tej odrębności? Naturalnym kandydatem jest proces abstrakcji wymagany w zdecydowanej większości złożonych zadań poznawczych, czego dowodzą badania, w tym również z użyciem technik neuroobrazowania (Green, Fugelsang, Kraemer, Shamos, Dunbar, 2006). Niezależne dane eksperymentalne, które mogą wskazywać na słuszność tezy Oberauera, przedstawili Buehner, Krumm, Pick (2005). Wyniki wskazują, że dwie spośród trzech funkcji kontrolnych wyróżnionych przez Oberauera korelują z poprawnością rozumowania. Były to przechowywanie i przetwarzanie danych oraz koordynacja.

Pamięć robocza a rozumowanie indukcyjne

Rozumowanie indukcyjne polega na wyprowadzaniu nowych twierdzeń lub hipotez na podstawie skończonej liczby zgromadzonych przypadków, na przykład obserwacji. Analiza posiadanych przesłanek szczegółowych prowadzi – w drodze indukcji – do wykrycia i sformułowania pewnych prawidłowości ogólnych, które są przedmiotem twierdzenia. Istotą rozumowania indukcyjnego jest więc dokonywanie *de facto* nieuprawnionych uogólnień – ryzykownych, bo wyprowadzonych na podstawie skończonej liczby obserwacji. Zawsze istnieje pewne prawdopodobieństwo, że wyciągnięty na drodze indukcji wniosek okaże się błędny. Indukcja jest jednak sposobem wnioskowania, który, jak to ujęli Holyoak i Nisbet (1988, s. 1), „poszerza naszą wiedzę w obliczu niepewności”. Ponieważ większość problemów życiowych ma charakter indukcyjny, a nie dedukcyjny, w testach inteligencji płynnej (bo już niekoniecznie skryształizowanej) używa się właśnie zadań indukcyjnych, i to często w formie niewerbalnej. Przykładowo w Teście Matryc Progresywnych Ravena (RAPM; Raven, Court, Raven, 1983) zadanie osób badanych polega na poszukiwaniu reguły relacyjnej rządzącej rozstawieniem prostych elementów graficznych, a następnie na uzupełnieniu brakującego elementu w każdej matrycy. W tym sensie jest to zadanie wymagające analogicznego odwzorowania (*analogical mapping*). W innych testach inteligencji płynnej (na przykład BIS) również wykorzystuje się zadania indukcyjne polegające na transformacjach umysłowych.

Badania nad związkami WMC z efektywnością rozumowania indukcyjnego są prowadzone od dawna, przy czym najwięcej z nich dotyczy inteligencji płynnej, którą zasadniczo mierzy się, używając zadań indukcyjnych (zob. przegląd: Chuderski, Orzechowski, 2009). Podobnie jak w obszarze badań związków wydajności WM z rozumowaniem dedukcyjnym, również i tutaj prowadzone badania zmierzają w różnych kierunkach. Pierwszy z kierunków badań ma na celu ustalenie, jaki jest odsetek wspólnej wariancji WMC i inteligencji płynnej (Gf – *general fluid intelligence*)¹⁰. Wyniki tych analiz, prowadzonych z wykorzystaniem baterii testów WMC i Gf, są niekonkluzywne, choć wskazują na regularne i dość silne związki obu konstruktów (zob. metaanaliza: Ackerman, Beier, Boyle, 2005; Kane, Hambrick, Conway, 2005; Oberauer, Schulze, Wilhelm, Süß, 2005; Hambrick, Kane, Engle, 2005). Drugi kierunek sprowadza się do prób ustalenia związku między inteligencją płynną i różnymi funkcjami WM. Badania te również mają swoją specyfikę. Z jednej strony badaczy mniej interesuje różnorodność form rozumowania (zapewne ze względu na bardzo dobre parametry psychometryczne testów Gf, które same w sobie są miarami latentnymi inteligencji płynnej), co z kolei jest przedmiotem dociekań badaczy rozumowania dedukcyjnego. Z drugiej strony znacznie wnikliwiej są badane różne aspekty pamięci roboczej operacjonalizowane w postaci wszelkich możliwych odmian zadań mierzących zakres pamięci bezpośredniej (STM/WM – *span tasks*).

¹⁰ Testy inteligencji płynnej, na przykład RAPM, są *de facto* miarami efektywności rozumowania indukcyjnego.

W wypadku badań nad związkami inteligencji z WM obecnie wydają się dominować modele równań strukturalnych (*structural equations modeling*). Metodologia tego rodzaju polega na zastosowaniu co najmniej dwóch (w praktyce niekiedy o wiele większej liczby) miar danej zmiennej latentnej. Zabieg ten pozwala na zmniejszenie wariancji błędu i wydobycie z pomiaru względnie czystych miar konstruktów. Narzędzie to musi być jednak rozważnie stosowane, ponieważ przy nadmiernej agregacji zmiennych pomiarowych można uzyskać korelacje rzędu jedności między zmiennymi latentnymi (Kyllonen, Christal, 1990; Colom, Rebollo, Palacios, Juan-Espinosa, Kyllonen, 2004). Problem w tym, że w niektórych miarach inteligencji stosuje się zadania testowe naładowane w pewnym stopniu czynnikiem pamięci roboczej, podobnie jak w niektórych miarach WM, na przykład w złożonych miarach zakresu WM (*complex span tasks*), można zidentyfikować ładunek inteligencji płynnej (rozumowania indukcyjnego). Nie powinny dziwić zatem tak wysokie korelacje miar latentnych obu konstruktów.

Podstawowym problemem, jaki dotyczy związku inteligencji płynnej i WMC, jest udział poszczególnych podsystemów (werbalnego i wzrokowo-przestrzennego) i funkcji zarządczych w indywidualnym zróżnicowaniu efektywności rozumowania indukcyjnego. Jedną z pierwszych prób tego rodzaju były badania Shah i Miyakego (1996), którzy podjęli się próby sprawdzenia, czy za związek WMC – Gf jest odpowiedzialna ogólna sprawność pamięci roboczej, czy też pojemność specyficznych podsystemów związana z rozumowaniem indukcyjnym na określonym materiale. Badacze wykorzystali werbalne i przestrzenne zadania pamięciowe oraz werbalne i przestrzenne miary poziomu zdolności intelektualnych. Okazało się, że wynik w werbalnym teście wydajności pamięci roboczej korelował istotnie ($r = 0,45$) z poziomem zdolności werbalnych, ale nie korelował z poziomem zdolności przestrzennych. Wynik w przestrzennym teście wydajności pamięci roboczej korelował z kolei z poziomem zdolności przestrzennych ($r = 0,66$), ale nie uzyskano istotnego związku z poziomem zdolności werbalnych. Wydaje się zatem, że związki WMC z poziomem zdolności intelektualnych są specyficzne w odniesieniu do rodzaju użytego materiału. Shah i Miyake sprawdzali również, czy za tę specyficzność związku WMC i zdolności intelektualnych odpowiada pamięciowy (typ materiału, który należało zapamiętywać), czy też przetworzeniowy (wykonywanie dwóch zadań jednocześnie) aspekt funkcjonowania pamięci roboczej. Okazało się, że korelacja miar WM i poziomu zdolności (specyficzna dla modalności) utrzymuje się niezależnie od rodzaju – werbalnego czy przestrzennego – zadania doładowującego. Wyniki te wskazują zatem, że związek WMC i zdolności intelektualnych jest specyficzny w zakresie modalności materiału (wykorzystanego w zadaniu pamięciowym czy w rozumowaniu) i niespecyficzny w zakresie kontroli przetwarzania.

Innego rodzaju logikę badawczą zastosowali Engle i współpracownicy (Engle, Tuholski, Laughlin, Conway, 1999). Badacze użyli dwóch baterii zadań, które mierzyły osobno funkcje pamięci roboczej i pamięci krótkotrwałej. W przypadku zadań badających funkcje WM jednoczesnemu pomiarowi podlegało przechowywanie informacji i funkcje kontrolne, podczas gdy w zadaniach na STM – tylko przecho-

wywanie. Co ciekawe, okazało się, że miary latentne STM i WM były dość wysoko skorelowane ($r = 0,7$). Po usunięciu wspólnej wariancji obu miar pamięciowych okazało się jednak, że na poziom inteligencji płynnej istotnie wpływa wydajność pamięci roboczej, a nie pamięci krótkotrwałej. Autorzy uznali więc, że za związek pomiędzy pamięcią roboczą a inteligencją są odpowiedzialne funkcje kontrolne WM, a nie efektywność podsystemów przechowywania informacji. Wynik ten okazał się ponadto niezależny od modalności materiału pamięciowego, gdyż wystąpił między Gf a zarówno czynnikiem werbalnym, jak i przestrzennym. W wielu innych badaniach uzyskano podobne rezultaty (na przykład Conway, Cowan, Bunting, Theriault i Minkoff, 2002; Kane, Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne, Engle, 2004). W swoich badaniach Kane z zespołem użyli różnych miar WM i STM, a także różnego rodzaju materiału pamięciowego (werbalnego i wzrokowego). Wyabstrahowany czynnik wydajności funkcji zarządczych okazał się wysoko skorelowany z czynnikiem rozumowania indukcyjnego ($r = 0,52$). Sprawność pamięci werbalnej była natomiast dość słabo powiązana z poziomem inteligencji płynnej ($r = 0,16$), podczas gdy sprawność przestrzenna – znacznie silniej ($r = 0,54$). Co ciekawe, przestrzenne zadania pamięciowe silniej niż werbalne korelowały z inteligencją, zarówno samodzielnie, jak i w wariancie zadań jednoczesnych. Prawdopodobnie operowanie informacją przestrzenną odbywa się w bardziej kontrolowany i wysiłkowy sposób niż w przypadku informacji werbalnej, wymaga bowiem udziału zarówno szkieletownika wzrokowo-przestrzennego, jak i procesów kontrolnych. W wypadku informacji werbalnej bardziej istotna wydaje się sprawność samej pętli artykulacyjnej.

Cytowane powyżej badania nie dają jednak odpowiedzi na pytanie o kierunek przyczynowo-skutkowy zależności pomiędzy pamięcią roboczą a inteligencją ogólną. Nawet przyjmując, że to wydajność pamięci roboczej determinuje poziom zdolności do rozumowania relacyjnego, należy postawić pytanie, jakie własności pamięci roboczej powodują, że ludzie mniej lub bardziej sprawnie wykonują wspomniane czynności umysłowe. Naturalnym kandydatem wydaje się być WMC (Kane, Hambrick, Conway, 2005; Süß, Oberauer, Wittmann, Wilhelm, Schulze, 2002). Cowan (2005b), formułując swoją hipotezę o dostosowującej się uwadze (*adjustable-attention hypothesis*), zakłada jednak, że najważniejsza dla związku z inteligencją jest pojemność ogniska uwagi. Ognisko to może być skupione tylko na jednym elemencie – na przykład na reprezentacji celu w warunkach silnej dystrykcji i interferencji – ale może też aktywnie obejmować więcej elementów – od trzech do pięciu (Cowan, 2001). Autor ten uważa, że zadania wymagające jednoczesnego przechowywania i przetwarzania informacji są dobrymi predyktorami inteligencji, dlatego że zadanie dodatkowe uniemożliwia zbrzylenie zapamiętywanych informacji lub ich powtarzanie w pętli fonologicznej. Dzięki temu zadania te mierzą trafnie zakres ogniska uwagi bez dodatkowego wpływu automatycznych, bardziej pasywnych magazynów pamięciowych (na przykład pętli fonologicznej). Według Cowana im więcej elementów obejmuje ognisko uwagi danej osoby, tym więcej złożonych relacji może zostać wykrytych pomiędzy nimi i tym wyższa jest zdolność jednostki do abstrakcyjnego rozumowania. Pod tym względem poglądy Cowana są zbieżne z opisywa-

nym powyżej stanowiskiem Oberauera, dodatkowo potwierdzając tezę tego drugiego o unitarności różnych form rozumowania. Niemniej z koncepcji Oberauera wynika, że pojemność ogniska uwagi jest stała, a zróżnicowanie indywidualne dotyczy obszaru bezpośredniego dostępu. Dlatego też związków z efektywnością złożonych procesów poznawczych należałoby upatrywać w zróżnicowanej pojemności tego ostatniego (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007).

Propozycją wyjaśnienia kierunku związku przyczynowo-skutkowego między WMC a Gf jest również model rozumowania relacyjnego Halforda, Wilsona i Philippsa (1998). Badacze przyjęli, że większa pojemność dynamicznej części pamięci roboczej (obszarów aktywnych) pozwala na jednoczesne uchwycenie i wykorzystanie w rozumowaniu większej liczby relacji łączących dane elementy. Problem jednak w tym, że niekiedy nie liczba relacji, lecz ich specyfika, na przykład to, że są nieoczywiste, ukryte, wieloznaczne (nawet jeśli nie jest ich wiele), decyduje o odnalezieniu rozwiązania. Nieco inne wyjaśnienie, które nie wydaje się jednak sprzeczne z tezami Cowana i Oberauera, proponuje zespół Engle'a (Heitz, Unsworth, Engle, 2005). Badacze uważają, że mechanizmem decydującym o sprawnym wykonywaniu zarówno zadań pamięciowych, jak i testów zdolności jest skuteczna kontrola uwagowa. Najistotniejszy proces kontrolny dotyczy zarządzania zawartością ogniska uwagi, to jest aktywowania informacji adekwatnych dla bieżącej czynności umysłowej, szczególnie w warunkach silnej interferencji i konfliktu pomiędzy konkurencyjnymi bodźcami czy procesami. Jednocześnie inhibicji podlegają informacje wówczas nieadekwatne, nawet (albo szczególnie) jeśli są aktywne i dostępne.

Unsworth i Engle (2005) poddali analizie Test Matryc Progresywnych Ravena, przy czym interesował ich poziom obciążenia nakładanego przez każdą jednostkę testu na pamięć roboczą. Obciążenie to szacowano na podstawie trzech niezależnych wskaźników: trudności jednostek, liczby reguł, jakie należy uwzględnić przy prawidłowej odpowiedzi, oraz rodzaju tych reguł. Autorzy ci wykazali, że siła związku pomiędzy ogólną sprawnością pamięci roboczej (mierzoną zadaniem *operation span*, OSPAN) a liczbą prawidłowo rozwiązanych jednostek testu w każdej z trzech kategorii „pamięciożerności” wyróżnionych na podstawie podziału na kwartyle¹¹ była podobna. Jeśli to pojemność pamięci byłaby odpowiedzialna za korelację sprawności pamięci roboczej i inteligencji, korelacja ta powinna rosnać w wypadku jednostek testowych bardziej obciążających pamięć roboczą, bo tutaj przede wszystkim osoby o dużej pojemności pamięci mogłyby ujawnić swoją przewagę. Brak takiego efektu świadczy, zdaniem autorów, że to nie pojemność pamięci roboczej, lecz właśnie sprawność kontroli uwagi jest podstawą związku pomiędzy pamięcią roboczą a Gf rozumianą w kategoriach sprawności rozumowania indukcyjnego. Daleko jednak tym wnioskom do katagorycznej ostateczności. Wyniki najnowszych badań prowadzonych przez Unswortha (Unsworth, Spillers, 2010) wskazują, że związek WMC z Gf jest zapośredniczony przez działanie dwóch czynników: kontroli uwagowej i pamięci wtórnej. Wynik ten wydaje się otwierać, na nowo, obszar badań nad

¹¹ Czwartej kwartyli nie uwzględniono ze względu na efekt podłogowy.

związkiem inteligencji z procesami wydobywania informacji z pamięci długotrwałej. Chuderski, Taraday, Nęcka i Smoleń (2012) uzyskali znacznie silniejsze związki Gf z miarami przechowywania niż z funkcjami kontrolnymi WM (odpowiednio 70% i 25% wariancji Gf), przy czym analiza relacji Gf i funkcji kontrolnych przy kontroli czynnika pojemności zmniejszyła siłę ich związku do poziomu nieistotnego statystycznie. Jak się wydaje, w tym momencie trudno byłoby o spójne i jednoznaczne wnioski z badań prowadzonych w tym nurcie.

Badania nad związkami funkcjonowania pamięci roboczej z rozumowaniem dedukcyjnym i indukcyjnym znajdują się w różnych punktach. Wynika to z różnych tradycji badawczych, między którymi istnieje tylko częściowa komunikacja. Dlatego tym bardziej interesujące są próby wyabstrahowania mechanizmu wspólnego dla różnych rodzajów rozumowania. Podejmuje je na przykład Oberauer (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007), proponując tak zwany mechanizm integracji relacyjnej (*relational integration*), odpowiedzialny za proces tworzenia reprezentacji relacji między elementami zadania i integrowania ich w większe struktury. Proces ten zachodzi pod kontrolą systemu uwagowego, a przede wszystkim jednej z funkcji zarządczych, jaką jest koordynacja. Poparciem dla tezy Oberauera jest, uzyskany w badaniach empirycznych, brak odrębnego czynnika dla rozumowania dedukcyjnego i indukcyjnego (Wilhelm, 2005). W badaniach własnych podjęto próbę poszukiwania takiego wspólnego czynnika w rozumowaniu przez analogię, z manipulacją „otwartością” struktury zadania, czyli w wariancie konwergencyjnym i dywergencyjnym.

Niektórzy badacze koncentrują się natomiast raczej na specyfice różnych rodzajów rozumowania, która niekoniecznie przebiega w miejscach klasycznych podziałów, na przykład między rozumowaniem sylogistycznym i warunkowym albo generalnie między dedukcją i indukcją. Na przykład Stanovich i West (2000) postawili hipotezę o istnieniu dwóch odrębnych systemów rozumowania dedukcyjnego. Pierwszy system, pierwotny, ewolucyjnie starszy, uruchamia się automatycznie. Jego działanie ma charakter autonomiczny; nie wymaga on udziału świadomości, co wystarcza w wielu zwykłych sytuacjach życia codziennego. Drugi system – złożony, świadomy, racjonalny (oparty na regułach logiki) – uruchamia się głównie podczas formalnej edukacji oraz w trakcie wykonywania abstrakcyjnych zadań dotyczących rozumowania. Co istotne, sprawne działanie obu systemów wymaga zasobów pamięci roboczej, w przypadku jednak aktywności pierwszego z tych systemów do wyciągania wniosków wystarczy jedynie pasywna reprezentacja danych, uruchomienie drugiego systemu wymaga już natomiast udziału aktywnych mechanizmów przetwarzania informacji i funkcji zarządczych w pamięci roboczej. Wydaje się zatem, że to raczej owe funkcje zarządcze, a nie pojemność pamięci roboczej, jeszcze bardziej zdominują badania nad rozumowaniem. Tak czy inaczej, gdyby hipoteza Stanovicha i Westa potwierdziła się, badania nad pamięcią roboczą wniosłyby swój wkład do rozwoju wiedzy na temat podstawowych mechanizmów rozumowania.

Nieliniowo-równoległy model rozumowania przez analogię

Początkowe badania autora niniejszej monografii dotyczące rozumowania przez analogię (Orzechowski, 1999a; 2004a) były próbą rozwinięcia modelu rozumowania przez analogię opracowanego przez Roberta Sternberga (1977a; 1977b). Rozwinięcie modelu polegało na nałożeniu na strukturę operacji intelektualnych, które proponował Sternberg, wybranych formalnych charakterystyk przetwarzania informacji (Van Zandt, Townsend 1993; zob. też część II tego tomu). Z tego poziomu analizy Sternberg uwzględnił wyłącznie regułę stopu, gdyż zastanawiał się, czy wnioskowanie przez analogię obejmuje analizę wszystkich relacji między członami zadania (porównywanie wyczerpujące), czy też odbywa się do momentu stwierdzenia zgodności w ramach jednej relacji (porównywanie samowygaszające). Model nieliniowo-równoległy objął dwie dodatkowe cechy formalne: architekturę przetwarzania (sekwencyjną vs równoległą) oraz wydajność systemu (nielimitowaną vs limitowaną). Rezultatem nałożenia na siebie obu koncepcji było z jednej strony pogłębienie rozumienia procesu wnioskowania przez analogię, a z drugiej – zaproponowanie pewnych rozwiązań teoretycznych co do architektury i wydajności, które wynikały z osadzenia tych charakterystyk w procesach rozumowania.

O ile uwzględnienie limitowanej wydajności systemu w rozumowaniu przez analogię wydaje się zaledwie formalnością (choć nietrywialne wydają się skutki jej implementacji w modelu rozumowania), o tyle wymiar architektury był względnie nową propozycją teoretyczną. Co prawda zarówno we wcześniejszych, jak i w późniejszych koncepcjach pojawił się problem układu faz procesu rozumowania przez analogię: sekwencyjnego (Gentner, 1983; 1989; Keane, Ledgeway, Duff, 1994) albo równoległego (Kokinov, French, 2003; Hofstadter, Mitchell, 1994), były to jednak próby poszukiwania raczej ogólnej zasady. Nie były one zresztą konkluzywne, jak się bowiem wydaje, w przypadku tak złożonych procesów, w których rola czynnika strategiczno-kontrolnego jest niezwykle istotna, architektura czynności rozumowania może wykazywać inter- i intraindywidualne zróżnicowanie, które istotnie wpływa na efektywność rozumowania. Również przeprowadzona krytyka modelu Sternberga (1977a; 1977b) wydawała się co najwyżej falsyfikować konieczność architektury sekwencyjnej, nie pozwalała jednak na jednoznaczne ustalenie architektury procesu (Orzechowski, 1999a). Przyjęto więc robocze założenie o indywidualnym zróżnicowaniu architektury procesu wnioskowania przez analogię przy zachowaniu względnie stałego układu operacji składowych (komponentów) tego procesu. Preferencja architektury sekwencyjnej albo równoległej została powiązana z limitami wydajności systemu w zakresie specyficznych procesów poznawczych, w tym pamięci roboczej.

Przyjęcie założenia o limitowanej wydajności systemu w zakresie procesu wnioskowania przez analogię w połączeniu z analizą jego komponentów doprowadziło do postawienia interesujących predykcji. Po pierwsze, założono, że proces rozumowania przez analogię jest limitowany wydajnością pamięci roboczej i uwagi podzielnej

(*divided attention*), rozumianych – odpowiednio – za Baddeleyem (Baddeley, Hitch, 1974) i Kahnemanem (1973) jako odmienne i względnie niezależne charakterystyki poznawcze. Po drugie, przyjęto, że różne komponenty rozumowania przez analogię, to jest kolejne postulowane przez Sternberga fazy tego procesu, będą nakładały na system poznawczy zróżnicowane wymagania. Innymi słowy, limity wydajności procesów pamięci roboczej i uwagi podzielnej, które są interindywidualnie zróżnicowane, mogą być mniej lub bardziej krytyczne dla wykonania tylko niektórych komponentów, a dopiero w konsekwencji dla wyniku ogólnego. Analiza poszczególnych komponentów doprowadziła do sformułowania założenia o nieliniowym charakterze dystrybucji limitowanych zasobów WM i uwagi podzielnej. Przyjęto, że ich alokacja będzie zależać od „zasobożerności” danego komponentu rozumowania, która z kolei jest wynikiem złożoności zadania relacyjnego, na przykład liczby relacji, które koniecznie trzeba uwzględnić, aby wyprowadzić poprawny wniosek analogiczny.

Na podstawie analizy dopasowania danych empirycznych do różnych modeli rozumowania przez analogię model Sternberga (1977a; 1977b) uwzględniał pięć komponentów¹². Kolejno były to: (1) przyswojenie terminów A, B i C, (2) wnioskowanie o relacji A : B, (3) odwzorowanie, czyli ustalenie relacji wyższego rzędu pomiędzy członami A i B w stosunku do C w celu „namierzenia” właściwego D, (4) sprawdzenie, czy namierzony człon D jest analogiczny, (5) wykonanie reakcji, gdzie A, B, C i D oznaczają kolejne człony analogii. Jak wspomniano, właściwie jedyną formalną charakterystyką poznawczą analizowaną przez badacza było użycie reguły stopu w procesie porównywania analogicznych relacji, które można odnaleźć w zadaniu. Wyczerpujące porównywanie oznacza, że każda relacja A : B jest przetwarzana bez względu na to, czy jest to niezbędne do poprawnego rozwiązania zadania. Przetwarzanie samowygasające się ogranicza porównywanie tylko do tych relacji, które są istotne dla umiejscowienia i – docelowo – dla wykrycia związku analogii. Sternberg (1977a), manipulując eksperymentalnie liczbą cech definiujących każdy człon i liczbą cech, które wchodziły w związek analogii, wykrył najlepsze dopasowanie modelu mieszanego. Jego zdaniem przyswojenie i wnioskowanie są wyczerpujące, a odwzorowanie i sprawdzenie odbywa się tylko z uwzględnieniem tych relacji A : B, które są niezbędne do znalezienia prawidłowego rozwiązania. Kolejne badania pokazały jednak wiele odstępstw od ogólnego modelu Sternberga (na przykład McConaghy, Kirby 1987; Sternberg, Rifkin 1979), co może świadczyć o wpływie różnic indywidualnych na przebieg procesu rozumowania.

Nieliniowo-równoległy model rozumowania przez analogię został rozbudowany o kolejne dwa formalne parametry przetwarzania informacji. Hipotezę o możliwości równoległego przetwarzania w rozumowaniu przez analogię przyjęto w ostrożnej

¹² Przeglądu różnych modeli fazowych procesu wnioskowania przez analogię dokonał na przykład Gentner (Gentner, Holyoak, Kokinov, 2001). Wybór modelu Sternberga był podyktowany różnymi czynnikami, w tym fascynacją niezwykle pomysłowym zastosowaniem metody analizy komponentowej. Badania własne (Orzechowski, 1999a) oparto na uproszczonej i zmodyfikowanej metodzie komponentowej.

postaci, formułując założenie o architekturze kaskadowej, w rozumieniu zaproponowanym przez McClellanda (1979). W architekturze kaskadowej procesy nie są dyskretne, co oznacza, że jeśli realizowany w danym momencie proces dostarczy kolejnemu minimalnej dawki informacyjnej niezbędnej do jego inicjalizacji, to – przynajmniej przez pewien czas – mogą one przebiegać jednocześnie. Założenie to zostało jednak ograniczone. Przyjęto bowiem, że do realizacji procesów przebiegających równolegle system poznawczy musi dysponować wystarczającą wydajnością w zakresie zasobów uwagi podzielnej. Jeśli indywidualny poziom puli zasobów na to pozwala, osoba badana będzie się charakteryzować względnie stałą preferencją równoległej architektury przetwarzania. W przeciwnym razie będzie zmuszona do przetwarzania sekwencyjnego, które wydaje się mniej wymagające dla systemu, ale ze względu na dłuższy czas realizacji – może grozić utratą dostępu do istotnych danych, a ze względu na uwagę – zanikiem niezbędnych informacji. Przetwarzanie sekwencyjne byłoby więc ograniczone wydajnością pamięci roboczej, głównie w zakresie retencji. Model obejmuje zatem dwa limitowane systemy: uwagi i pamięci roboczej. Być może – w świetle najnowszych teorii – są to dwa różne aspekty wydajności WM: kontrolny i pamięciowy.

Konsekwentnie założono, że jeśli dany komponent wniosku przez analogię ma określone wymagania co do zasobów uwagowych, to możliwe są dwie strategie dysponowania ich ograniczoną ilością. Pierwszą z nich jest strategia rozciągania w czasie realizacji wybranego komponentu, powodująca chwilowe zmniejszenie ilości zaangażowanych zasobów poniżej pułapu całkowitej puli, którą dysponuje jednostka. Strategia ta nie wymaga rezygnacji z równoległości przetwarzania, niemniej powoduje wzrost latencji realizowanych komponentów. Drugą jest strategia usekwencyjnego przetwarzania. Wówczas ilość zasobów wymagana przez procesy wcześniej realizowane równolegle także się zmniejsza. I w tym przypadku zostanie zarejestrowany wzrost czasu latencji, lecz jednocześnie rośnie prawdopodobieństwo poradzenia sobie z wymaganiami zadania, o ile system dysponuje z kolei efektywną pamięcią roboczą. Obie strategie wymagają dłuższego przechowywania niezbędnych informacji, w tym informacji relacyjnej. Wydajność pamięci roboczej została zatem uznana za jeden z krytycznych elementów procesu rozumowania przez analogię. Rozważania na temat strategii miały charakter raczej teoretyczny – na poziomie wskaźników empirycznych nie udało się ich rozdzielić. W badaniach własnych (Orzechowski, 1999a; 2004a) poddano weryfikacji omówione założenia modelu nieliniowo-równoległego. W dalszej części krótko zostaną omówione ich wyniki oraz ogólniejszy model rozumowania przez analogię sformułowany na ich podstawie (Nęcka, Orzechowski, 2005). Model ten stał się podstawą do kolejnej serii eksperymentów testujących wybrane jego predykcje z użyciem różnych zadań wymagających rozumowania relacyjnego.

W przeprowadzonych badaniach użyto autorskiego komputerowego testu rozumowania przez analogię (*analogical reasoning test*, ART). Zadanie wymagało rozwiązania serii analogii niewerbalnych. Materiałem bodźcowym był układ figur geometrycznych generowany przez komputer według algorytmu zapewniającego

różnorodność poszczególnych zadań i zbliżony poziom ich złożoności. W każdej próbie komputer losował układ figur i rodzaj przekształcenia, a następnie kolejno wyświetlał: pierwszy układ figur (A), ten sam układ przekształcony według wylosowanej reguły (B), nowy układ figur (C) i klucz odpowiedzi zawierający trzy potencjalne człony D (jeden prawidłowy i dwa błędne). Zadaniem osoby badanej było wybranie takiej odpowiedzi z klucza, która uzupełni związek analogii według schematu $A : B :: C : D$. Zadanie składało się z 60 prób prezentowanych w seriach po 10, w sześciu warunkach eksperymentalnych. Właściwy pomiar poprzedzony był pisemną instrukcją i treningiem. Zadanie zostało podzielone na dwie części – jednego (warunek pierwszy) i dwóch zadań, w której zastosowano paradygmat zadań jednoczesnych (warunki od drugiego do szóstego). W warunku pierwszym (podstawowym) wyświetlenie każdego członu analogii i klucza odpowiedzi wymagało przyciśnięcia przez osobę badaną odpowiedniego klawisza. W ten sposób badani sterowali pojawianiem się kolejnych elementów zadania, umożliwiając jednocześnie pomiar czasu latencji przetwarzania kolejnych członów analogii oraz wyboru odpowiedzi z klucza. Czynniki te nazwano „etapem” (odpowiednio: A, B, C i D). W warunkach dwóch zadań jednoczesnych badani wykonywali, równocześnie z testem analogii, zadanie wtórne, które polegało na regulowaniu położenia kreski poruszającej się wewnątrz jednego z prostokątów umieszczonych z lewej albo z prawej strony ekranu (por. zadanie DIVA; Nęcka, 1994).

W tym przypadku poziom wykonania zadania wtórnego miał być wskaźnikiem wydajności uwagi. Pierwszy warunek dwóch zadań nazwano warunkiem „niewymuszonym” (w opozycji do następnych warunków), gdyż osoba badana miała w nim pełną swobodę w tempie przywoływania poszczególnych członów analogii, a tym samym – jak założono – mogła zastosować preferowaną architekturę (wymiar sekwencyjność – równoległość). Czynniki te nazwano „OIP” (*organization of information processing*). We wszystkich warunkach jednoczesnych pomiarowi podlegał ponadto poziom wykonania zadania wtórnego. Analogicznie do pomiaru czasu latencji rejestrowano odchylenie odcinka od poziomu wyjściowego odrębnie dla każdego członu zadania. W warunku trzecim ulegało zmianie zadanie główne, czyli test analogii. Osoba badana nadal sterowała pojawianiem się poszczególnych członów analogii, lecz przywołanie każdej kolejnej figury powodowało ukrycie poprzedniej. I tak: przywołanie członu B powodowało ukrycie członu A, następnie po zaprezentowaniu członu C zniknął człon B, a po wywołaniu klucza odpowiedzi – człon C. Dlatego warunek ten nazwano „wymuszonym”. Założono, że tym samym eksperymentalnie wymusza się sekwencyjne przetwarzanie informacji: kolejne człony analogii muszą zostać przetworzone w stopniu zapewniającym odpowiednią dawkę informacji do zapoczątkowania kolejnych etapów przetwarzania.

Różnicę w średnich czasu reakcji pomiędzy warunkiem wymuszonym i niewymuszonym uznano za wskaźnik indywidualnej preferencji OIP. Przyjęto, że osoby preferujące równoległą OIP stracą więcej, kiedy eksperymentalnie zostanie wymuszone sekwencyjne przetwarzanie informacji. Innymi słowy, różnica w czasie reakcji pomiędzy warunkiem wymuszonym a niewymuszonym będzie większa

w grupie osób preferujących równoległą OIP niż w grupie osób preferujących sekwencyjną OIP. W pozostałych trzech warunkach zadania ART manipulacja eksperymentalna dotyczyła czasu ekspozycji członów A, B albo C, który był dobierany indywidualnie dla każdej osoby badanej na podstawie średniego czasu reakcji uzyskanego w warunku wymuszonym. W stosunku do tej średniej o 20% ulegał skróceniu czas ekspozycji członu A w warunku czwartym, B w piątym i C w szóstym. Celem tej manipulacji miało być selektywne (ograniczone do konkretnych komponentów procesu) zwiększenie obciążenia poznawczego, a w konsekwencji poszukiwanie momentów krytycznych dla rozumowania przez analogię. W trzech ostatnich warunkach podlegał pomiarowi czas latencji reakcji w etapach niepodlegających manipulacji w danym warunku oraz czas podjęcia decyzji i poprawność reakcji. Jedynie poziom wykonania zadania wtórnego był rejestrowany w trakcie wykonywania całego zadania.

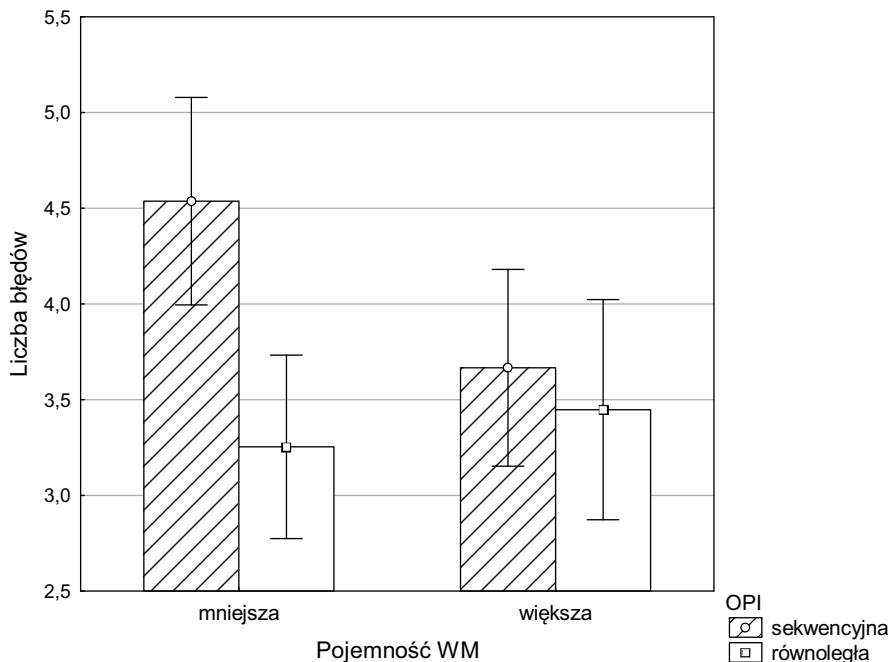
W badaniach użyto baterii innych zadań poznawczych, między innymi zadań na pamięć roboczą – w pierwszym eksperymencie było to zadanie pamięciowe Sternberga w wariacie opisanym w eksperymencie 2.1 (czas ekspozycji 300 ms na element), a w drugim zadanie HORYZONT (Nęcka, 1997). Drugie z nich było zadaniem niewerbalnym, w którym materiałem były figury geometryczne o precyzyjnie wyrównanym poziomie złożoności. Osobie badanej prezentowano – w sposób ciągły – szereg takich figur. Każda z nich pojawiała się w zadaniu dwukrotnie w interwałach od 1 do 8 (po siedem prób na warunek). Zadaniem osoby badanej było udzielenie odpowiedzi, czy aktualnie prezentowana figura pojawiła się wcześniej w eksponowanym szeregu. Ogólna liczba ekspozycji wynosiła 112 (2 ekspozycje x 8 interwałów x 7 prób). Zadanie to można zaliczyć do paradygmatu n-wstecz, czyli – jak się zakłada – wymaga ono aktualizacji WM. Pomiarowi podlegał czas i poprawność reakcji. Wskaźnikiem pojemności pamięci w zadaniu HORYZONT jest ogólna liczba poprawnych odpowiedzi. Testem uwagi było zadanie DIVA (Nęcka, 1994; 1996) łączące paradygmat detekcji sygnałów (selektywność uwagi) i paradygmat zadań jednoczesnych (uwaga podzielna). Z narzędzi psychometrycznych zastosowano RAPM, jako miarę inteligencji płynnej.

Wyniki uzyskane w badaniach własnych wskazywały na trafność założenia o limitowanym – zarówno pojemnością pamięci roboczej, jak i wielkością zasobów uwagi – charakterze procesu wnioskowania przez analogię. Na rzecz ograniczenia pojemnością WM przemawiał rezultat świadczący o niskiej efektywności procesu wnioskowania w warunku wymuszonym zadania ART w porównaniu z warunkiem niewymuszonym. Jak zakładano, manipulacja ta obciążyła WM koniecznością przechowania materiału, który w warunku wymuszonym był dostępny w polu percepcyjnym aż do udzielenia odpowiedzi. Szczegółowe analizy wskazywały, że wskaźniki tempa i wydajności przeszukiwania WM (szacowane z zadań eksperymentalnych) różnicują efektywność rozumowania przez analogię. Wyższe tempo przeszukiwania było związane z szybszym wykonaniem zadania ART, szczególnie w etapie podejmowania decyzji. Większa pojemność WM wiązała się z kolei z wyższą poprawnością w rozumowaniu. Na rzecz ograniczenia zasobami uwagi przemawiał rezul-

tat świadczący o obniżeniu efektywności kontroli zadania wtórnego w warunkach większego obciążenia poznawczego, to jest w warunkach wymuszonych oraz w warunkach manipulacji presją czasu. Wyniki wskazywały również na nieliniowość alokacji zasobów uwagi. Poziom ich zaangażowania wykazywał zmienność w zależności od etapu zadania ART. Okazało się, że komponentem najbardziej wymagającym pod względem zapotrzebowania na zasoby uwagi było odwzorowanie, co – zgodnie z założeniami Sternberga – może wskazywać na jego zasadniczą rolę w procesie rozumowania przez analogię. Potwierdzenie tego rezultatu, z użyciem innej metodologii badań, uzyskali również inni badacze (Waltz, Lau, Grewal, Holyoak, 2000; Tohill, Holyoak, 2000). Odwzorowanie analogiczne okazało się wrażliwe na doładowanie testu analogii zadaniem jednoczesnym. Wówczas odwzorowanie miało w większym stopniu charakter percepcyjny niż relacyjny. Szczególnie interesujące rezultaty uzyskano w wyniku skrócenia czasu ekspozycji poszczególnych członów analogii w zadaniu ART. Im późniejszego etapu zadania dotyczyła manipulacja, tym mniejszy miała ona wpływ na poziom błędów w rozumowaniu.

Drugie z założeń modelu nieliniowo-równoległego testowano w odniesieniu do różnic indywidualnych w poziomie wskaźnika OIP. Uzyskano rezultaty wskazujące na wyższą efektywność w wykonaniu zadania ART w podgrupie osób badanych, które preferowały równoległą OIP. Szczegółowe analizy pokazały, że OIP może mieć funkcję kompensującą mniejszą wydajność funkcjonowania uwagi podzielnej lub pamięci roboczej. Mniejsza pojemność WM nie pogarszała wykonania zadania ART u osób preferujących równoległą OIP, ale wyraźnie szkodziła osobom preferującym organizację sekwencyjną (zob. ryc. 31). Wskazuje to na większe wymagania, jakie stawia pamięci roboczej sekwencyjna niż równoległa architektura procesu. Nie wykazano natomiast większych wymagań w zakresie efektywności uwagi podzielnej, które – jak się spodziewano – będą towarzyszyć architekturze równoległej. Okazało się jednak, że równoległa OIP stawiała wyższe – niż sekwencyjna – wymagania w zakresie sprawności uwagi selektywnej. Zaproponowano dwa wyjaśnienia tych rezultatów. Po pierwsze, równoległe przetwarzanie informacji, które odbywa się jednocześnie z użyciem wielu cech członów analogii, wymaga ich starannego wyselekcjonowania, szczególnie jeśli obiekt jest przez ograniczony czas dostępny w polu percepcyjnym. Jeśli wydajność procesów selekcji jest niska, to system poznawczy nie dysponuje danymi do efektywnej realizacji procesów równoległych. Po drugie, jeśli informacja trafiająca do systemu poznawczego jest starannie wyselekcjonowana, zarówno pojemność, jak i sprawność aktualizacji WM może mieć wówczas nieco mniejsze znaczenie, szum informacyjny bowiem jest mniejszy.

W analizach uwzględniających poziom inteligencji okazało się, że wynik RAPM był ujemnie skorelowany z liczbą błędów w zadaniu ART ($r = -0,562, p < 0,001$). Uzyskano ponadto istotną zależność liczby błędów w zadaniu ART od wydajności uwagi podzielnej, pojemności pamięci roboczej, organizacji przetwarzania informacji oraz inteligencji ($F(1, 52) = 5,46, p < 0,03$). Okazało się, że osoby o wysokiej inteligencji, które wykazywały przewagę równoległej organizacji przetwarzania, uzyskiwały najmniejszą liczbę błędów w zadaniu ART, w dodatku niezależnie od

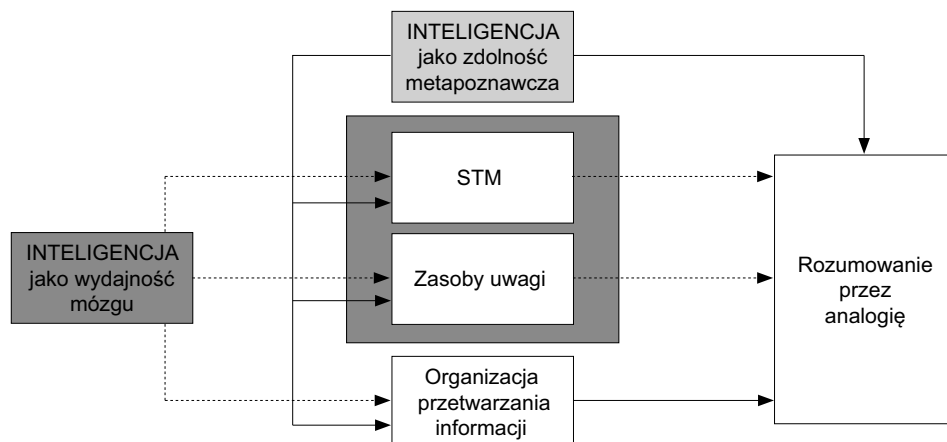


Ryc. 31. Średnia poprawność reakcji w zależności od preferowanej organizacji przetwarzania informacji (sekwencyjnej vs równoległej) i pojemności pamięci roboczej. Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

efektywności uwagi podzielnej i pojemności WM. Przyjęto więc, że równoległa organizacja przetwarzania u osób o wysokiej inteligencji jest czynnikiem kompensującym niższą wydajność uwagi podzielnej i pamięci roboczej.

Na podstawie uzyskanych rezultatów zaproponowano hipotetyczny model wyjaśniający związki między inteligencją a efektywnością rozumowania przez analogię, odwołując się do trzech parametrów z poziomu elementarnych procesów poznawczych (Nęcka, Orzechowski, 2005; zob. ryc. 32). Przyjęto, że efektywność procesu rozumowania przez analogię ma źródło w inteligencji psychometrycznej rozumianej jako metapoznawcza zdolność kontroli zachowania, która ma wpływ na wykorzystanie elementarnych procesów uwagi, pamięci i organizacji przetwarzania informacji. Innymi słowy, inteligencja – w tym rozumieniu – wpływa na efektywność rozumowania przez analogię na dwa sposoby: pośrednio, kontrolując udział procesów elementarnych, którą stanowią swoiste „narzędzia” inteligencji, i bezpośrednio, biorąc udział w planowaniu i monitorowaniu procesu rozumowania przez analogię. Organizacja przetwarzania informacji została w modelu potraktowana, zgodnie z wynikami badań, jako czynnik bezpośrednio wpływający na efektywność rozumowania przez analogię. Uznano, że wpływ zarówno wydajności WM,



Ryc. 32. Hipotetyczny model wyjaśniający związki między inteligencją a efektywnością rozumowania przez analogię, w odwołaniu do trzech parametrów z poziomu elementarnych procesów poznawczych: pamięci roboczej, uwagi podzielnej i organizacji przetwarzania informacji.

Źródło: Nęcka, Orzechowski, 2005.

jak i efektywności uwagi podzielnej może być modyfikowany przez różnice indywidualne w organizacji architektury przetwarzania. Preferencja równoległej OIP, częściowo niezależnie od pozostałych dwóch procesów elementarnych, może wpływać na efektywność rozumowania przez analogię. Jednocześnie wydajność elementarnych procesów jest powiązana z inteligencją rozumianą jako substrat mózgowy, który stanowi podłoże uwzględnionych w modelu procesów elementarnych. Model ten, pomimo dużego poziomu ogólności, stanowił punkt wyjścia przedstawionych poniżej badań.

Celem dalszych badań była weryfikacja założeń proponowanego modelu rozumowania przez analogię, która obejmowała szeroką baterię zadań poznawczych. Ze względu jednak na tematykę podjętą w niniejszym opracowaniu, w dalszej części skupiono się na udziale pamięci roboczej w rozumowaniu przez analogię, a w kolejnych badaniach – także w innych zadaniach wymagających rozumowania relacyjnego, którego analogia jest szczególnym przypadkiem. Zdecydowana większość badań nad związkiem między pamięcią roboczą i rozumowaniem przez analogię przeprowadzono na wąskiej klasie zadań konwergencyjnych. W tego rodzaju zadaniach związek analogiczny między obiektem i nośnikiem jest z góry narzucony, a zadanie polega na weryfikacji, która z proponowanych opcji wyboru najlepiej go odwzorowuje. Rozumowanie przez analogię odgrywa jednak istotną rolę w tworzeniu pojęć czy – szerzej – w generowaniu nowej wiedzy (Blanchette, Dunbar, 2002). Interesujące wydaje się zatem, czy mechanizm generowania analogii (czyli operacyjne rzeczy ujmując – wykonywanie zadań dywergencyjnych z użyciem analogii) jest podobny do tego, który uchwycono w zadaniach wymagających weryfikacji związków analogicznych.

W kolejnych badaniach podjęto na początek problem ustalenia rodzaju i układu komponentów poznawczych procesu generowania związków analogicznych (eksperyment 3.2). W tym celu opracowano zadania strukturalnie zbliżone do zadania ART, które miałyby jednak dywergencyjny charakter. Poważnym wyzwaniem okazało się skonstruowanie takiej procedury badawczej, w której byłoby możliwe odseparowanie w kolejnych etapach procesu rozumowania, aby umożliwić rejestrowanie ich czasów latencji, a jednocześnie manipulację eksperymentalną obciążeniem poznawczym (w tym obciążeniem WM). Procedura taka nie powinna jednak zaburzać dywergencyjnego charakteru zadania. Uznano, że typowe warianty metody dekompozycji, zastosowane w badaniach Sternberga (1977b; 1980; 1981) i innych badaczy (na przykład Armour-Thomas, Allen, 1990; McConaghy, Kirby, 1987), mają przy takich założeniach ograniczoną użyteczność. Drugi problem badawczy dotyczył dynamiki angażowania pamięci roboczej w trakcie rozwiązywania analogii dywergencyjnych. W tym celu, po dokonaniu opisanych w procedurze modyfikacji, użyto opracowanej i przetestowanej przez autora procedury FSCT (*Figural Similarities Computerized Task*).

Wytwarzanie dywergencyjne a elementarne właściwości poznania

Podstawy teoretyczne do podjęcia problemu relacji efektywności wytwarzania dywergencyjnego z elementarnymi procesami uwagowymi i pamięciowymi były raczej nikłe. Oczywiście prowadzi się badania nad poznawczymi mechanizmami twórczości, której jednym z korelatów jest efektywność wytwarzania dywergencyjnego (zob. przegląd: Nęcka, 2003), badania te jednak albo nie były konkluzywne ze względu na sprzeczne dane, albo nie kończyły się głębszą refleksją teoretyczną pozwalającą na budowanie szerszych modeli poznawczych. Względnie dobrze mają się badania nad mechanizmami uwagowymi i pamięciowymi, ale w tym drugim przypadku chodzi o funkcjonowanie pamięci długotrwałej. O udziale pamięci roboczej w tym procesie wiemy niewiele. Badania stylu myślenia dywergencyjnego vs konwergencyjnego (Bahar, Hansel, 2000) nie dały się wprost zastosować do niniejszych rozważań. W ramach badań własnych przeprowadzono badania dotyczące poznawczych mechanizmów wytwarzania dywergencyjnego (Orzechowski, 2000a), wykonane w typowej dla różnic indywidualnych metodologii. Ich celem była próba uchwycenia związku różnych aspektów wytwarzania dywergencyjnego z efektywnością elementarnych procesów poznawczych. W badaniach tych odwołano się do teoretycznego ujęcia procesu wytwarzania dywergencyjnego w teorii intelektu Guilforda (1978) z operacjonalizacją w postaci Testu Twórczego Myślenia Nęcki i Rychlickiej (1987), jako miary płynności, giętkości i oryginalności (metaforyczności) myślenia. Test składa się z sześciu problemów, a zadaniem osoby badanej jest wy-

myślenie możliwie największej liczby twórczych i pomysłowych rozwiązań każdego z nich. Dodatkowo zadaniem badanego jest uzasadnienie własnych pomysłów, które w analizie końcowej służy wyeliminowaniu odpowiedzi przypadkowych. W rezultacie otrzymuje się szereg wypowiedzi do każdego z zadanych pytań, które podlegają analizie jakościowej i ilościowej.

Związki między miarami funkcjonowania WM a wskaźnikami płynności, giętkości i oryginalności okazały się słabe albo nieistotne. Wykryto jedynie interakcyjny związek płynności i oryginalności myślenia z pojemnością WM szacowaną na podstawie poprawności uzyskanej w zadaniu Sternberga. Okazało się, że większa pojemność pamięci roboczej sprzyjała uzyskaniu jednocześnie wysokiego wyniku płynności i oryginalności myślenia. Analizy związków między poszczególnymi aspektami wytwarzania dywergencyjnego a wskaźnikami zadania uwagowego DIVA wskazywały na pozytywne związki efektywności uwagowego mechanizmu aktywacyjnego (przejawiającej się w większej szybkości selekcji informacji) z płynnością oraz sprawności mechanizmu inhibicyjnego (istotnego dla hamowania dystrakcji) z giętkością myślenia. Poziom oryginalności myślenia był związany dodatnio ze sprawnością zarówno jednego, jak i drugiego mechanizmu. I choć w aktywacyjnych teoriach WM uwzględnia się i mechanizm pobudzeniowy, i inhibicyjny, odmienność paradygmatów badawczych wymaga ostrożności w przenoszeniu uzyskanych wyników na funkcje pamięciowe.

Wyniki te wydają się jednak bardzo obiecujące. Płynność i giętkość stanowią dwie odmienne charakterystyki myślenia dywergencyjnego. Płynność opiera się na nieskrępowanym generowaniu nowych idei, czemu sprzyja sprawny mechanizm aktywacyjny. Giętkość natomiast wymaga hamowania wyeksploatowanych torów poszukiwania idei, aby było możliwe wygenerowanie rozwiązań jak najbardziej różnorodnych. Udział obydwu mechanizmów – aktywacyjnego i inhibicyjnego – również dobrze wyjaśnia wysoką oryginalność. Aby wygenerować oryginalne rozwiązania, wydaje się konieczna najpierw aktywacja wielu idei, aby hamując te, które nie stanowią nowych rozwiązań, eksploatować pomysły w najwyższym stopniu nietypowe, lecz spełniające założone kryteria. Pojemna pamięć robocza z jednej strony wspomaga proces jednoczesnego aktywowania wielu elementów, w tym również odległych idei, których połączenia z sytuacją problemową wydają się nieoczywiste, a z drugiej – wspomaga proces ich oceny pod kątem założonych kryteriów. Tych ostatnich zwykle bywa wiele, a założenie, że poszukiwane rozwiązanie ma być nowe i wartościowe, tylko tę listę powiększa. Wysoka sprawność wytwarzania dywergencyjnego wiąże się z elastycznym mechanizmem uwagowym, który pozwala zarówno na efektywną aktywację odległych powiązań sieci semantycznej LTM z rozwiązywanym problemem, jak i na odsiewanie (hamowanie) rozwiązań, które nie są jednocześnie nowe i wartościowe. Wydaje się to odpowiadać przekonaniu, że osoby twórcze (czyli przede wszystkim charakteryzujące się wysoką oryginalnością myślenia) potrafią w sposób efektywny wykorzystać przewagę, jaką daje im trafna selekcja, wymagająca silnej inhibicji, równocześnie nie tracąc korzyści płynących z analizy całego bogactwa dostępnego materiału, co jest możliwe dzięki mechani-

zmowi facylitacji (por. Słabosz, 2000). Ostrożnie mechanizmy te można przypisać sprawności mechanizmu kontrolnego WM. Pojemna pamięć robocza pozwalałaby z kolei na operowanie wieloma aktywnymi elementami problemu, tym mniej powiązanych bezpośrednio z zadaniem, im większa jest owa pojemność. Wydaje się zatem, że efektywność rozwiązywania zadań dywergencyjnych – ograniczając dalsze rozważania do udziału WM w tym procesie – może być powiązana zarówno z pojemnościowym, jak i kontrolnym mechanizmem pamięci roboczej.

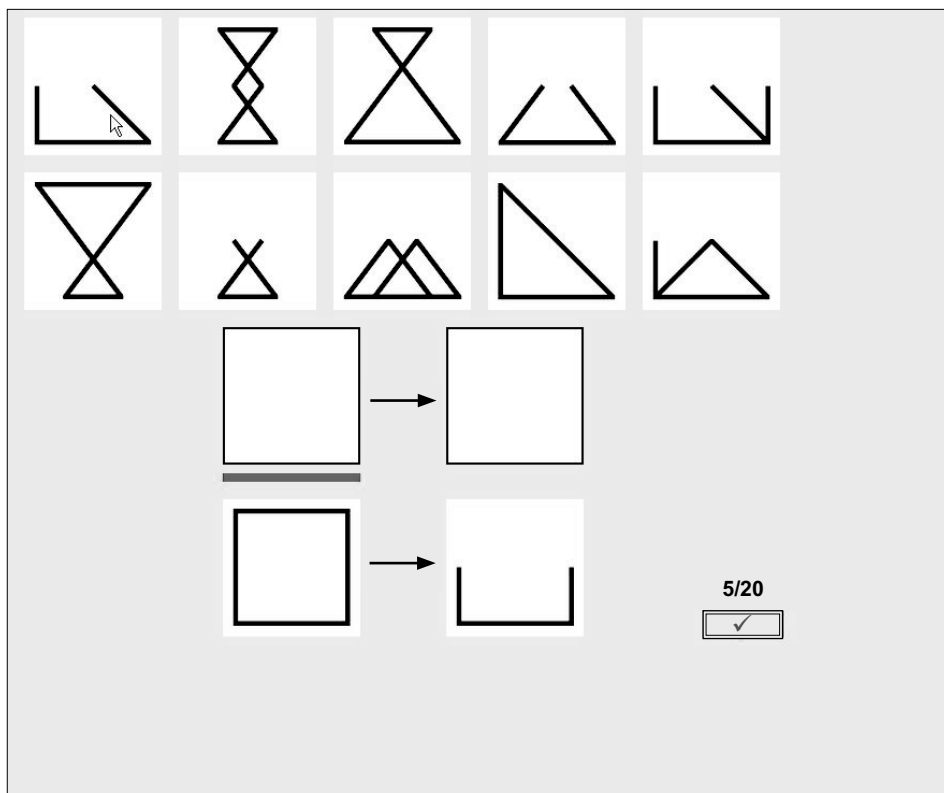
Nowsze badania dotyczące roli pamięci roboczej w procesie rozwiązywania problemów wglądowych i zadań dywergencyjnych nie są konkluzywne. Hambrick i Engle (2003) w zdolności do kontroli procesu alokacji uwagi upatrują czynnika sprzyjającego efektywnemu przeszukiwaniu przestrzeni problemu i poszukiwaniu rozwiązania. Wyniki badań zdają się, częściowo, potwierdzać to założenie. Na przykład Ash i Wiley (2006) testowali związek między wydajnością pamięci roboczej a efektywnością radzenia sobie w zadaniach wglądowych. Zakłada się, że w zadaniu wglądowym musi dojść do restrukturyzacji problemu, którą – zwykle – poprzedza impas wywołany przeszukaniem niewłaściwej przestrzeni problemowej, wynikającej bezpośrednio z pierwotnego sformułowania zadania. Badacze eksperymentalnie wyizolowali dwie fazy: (1) wstępnego przeszukania przestrzeni problemu, (2) restrukturyzacji zadania. Uzyskane wyniki wskazywały na istotny udział wydajności pamięci roboczej – interpretowanej w kategoriach mechanizmu kontrolnego – w rozwiązywaniu problemów wglądowych, o ile w zadaniu były obecne obie fazy. Kiedy jednak wyizolowano tylko fazę (2) restrukturyzacji zadania, podając osobom badanym informacje pozwalające wyeliminować niewłaściwe „tropy” w fazie (1), efekt ten zniknął. Interesujące rezultaty dotyczące związków między wykonywaniem zadań wymagających myślenia dywergencyjnego i zadania n-wstecz, z użyciem neuroobrazowania techniką fMRI, uzyskał Takeuchi z zespołem (Takeuchi, Taki, Hashizume, Sassa, Nagase, Nouchi, Kawashima, 2011). Zbieżność w zakresie aktywacji różnych obszarów mózgu w grupie osób bardziej twórczych (wyróżnionych na podstawie zadania dywergencyjnego) i bardziej efektywnych w zadaniu pamięciowym zinterpretowano w kategoriach nieefektywnej alokacji uwagi osób bardziej twórczych. Dyfuzja uwagi byłaby mechanizmem sprzyjającym włączeniu do zadań twórczych informacji odlegle powiązanej z problemem, co miałyby sprzyjać generowaniu nowych rozwiązań (por. Rawlings, 1985; Stavridou, Furnham, 1996). Na tym tle warto jeszcze wspomnieć o rezultatach uzyskanych przez DeYounga, Flandersa i Petersona (2008), którzy poszukiwali predyktorów efektywności rozwiązywania problemów wglądowych. W swoich badaniach uwzględnili zdolność myślenia konwergencyjnego (estymowaną z czynników inteligencji werbalnej i pamięci roboczej), myślenia dywergencyjnego i przełamywania schematów. Wyniki wskazywały, że wszystkie z nich wpływają na rozwiązywanie problemów wglądowych, lecz po wyizolowaniu wariacji unikatowej dla tego typu problemów (przez zestawienie ich z problemami niewglądowymi) okazało się, że jedynie zdolności myślenia dywergencyjnego i przełamywania schematów pozostają istotnymi jego predyktorami.

Niespójność w wynikach badań skłoniła autora do systematycznego poszukiwania poznawczego podłoża efektywności wytwarzania dywergencyjnego w odwołaniu do elementarnych procesów uwagowych i pamięciowych (Orzechowski, 2000a; 2004c). W kolejnej serii badań, która dotyczyła poznawczych korelatów dywergencyjnego wytwarzania związków analogicznych, użyto werbalnej i niewerbalnej wersji zadania ART (Orzechowski, 1999a). Zadanie zostało istotnie zmodyfikowane, aby mogło przyjąć charakter dywergencyjny przy zachowaniu możliwości pomiaru czasu latencji hipotetycznych komponentów procesu rozumowania przez analogię. W serii drugiej skomputeryzowano jeden z Guilfordowskich testów giętkości myślenia, który wybrano głównie ze względu na relacyjny charakter rozumowania wykorzystywany w zadaniach testowych, a co za tym idzie możliwość manipulacji ich liczbą. W obu seriach eksperymentalnych zmiana – w porównaniu z poprzednimi projektami autora – uległa metodologia badań wpływu wydajności elementarnych procesów poznawczych na efektywność realizacji procesów wyższego rzędu. Po pierwsze, zrezygnowano z pomiaru WM (i innych procesów poznawczych, które w tym opracowaniu zostaną pominięte) i wytwarzania dywergencyjnego za pomocą osobnych zadań. W metodologii zastosowanej w obu seriach badań manipulacji zmienną o charakterze elementarnym – na przykład wymaganiami w zakresie manipulacji umysłowych różną liczbą relacji między elementami zadania relacyjnego czy w zakresie kontroli zadań jednoczesnych – dokonano w ramach zadania dywergencyjnego. W ten sposób bezpośrednio z porównania poziomu wykonania danego zadania w różnych warunkach eksperymentalnych, a nie pośrednio – odnosząc się do poziomu zdolności pamięciowych – stało się możliwe wnioskowanie o udziale procesów WM w rozumowaniu. Po drugie, rozdzielono manipulacje czynnikiem pamięciowym i kontrolnym, aby było możliwe niezależne wnioskowanie o ich udziale w wytwarzaniu dywergencyjnym. Z każdej serii badań zostanie zaprezentowany jeden eksperyment, który został wybrany pod kątem jego celu, jakim było uchwycenie roli mechanizmu pamięciowego (*storage*) i kontrolnego (*executive*) pamięci roboczej w realizacji zadań poznawczych o charakterze dywergencyjnym.

Eksperyment 3.1. Pamięć robocza a dywergencyjne wytwarzanie relacji analogicznych¹³

W eksperymencie zastosowano dwa autorskie zadania nV-APT (*non-verbal analogy production task*) i V-APT (*verbal analogy production task*) będące modyfikacją zadania ART (Orzechowski, 1999a). Zadania nV-APT i V-APT co do zasady i planu eksperymentalnego miały charakter izomorficzny, a różniły się jedynie materiałem

¹³ Badania przeprowadzono w ramach realizacji projektu badawczego „Myślenie konwergencyjne i dywergencyjne a różnice indywidualne w zakresie stylu przetwarzania informacji, funkcjonowania uwagi i pamięci” przyznanego przez Komitet Badań Naukowych (PB 1 H01F 009 15).



Ryc. 33. Przykład zadania testowego nV-APT. W przykładzie zostały zadane człony C i D analogii, zatem należało uzupełnić A i B. Kliknięcie wybranego elementu powodowało jego „wskoczenie” w aktywne okno (podkreślone grubą linią). Badany mógł dowolnie zmieniać kolejność uzupełnianych elementów.

Źródło: opracowanie własne.

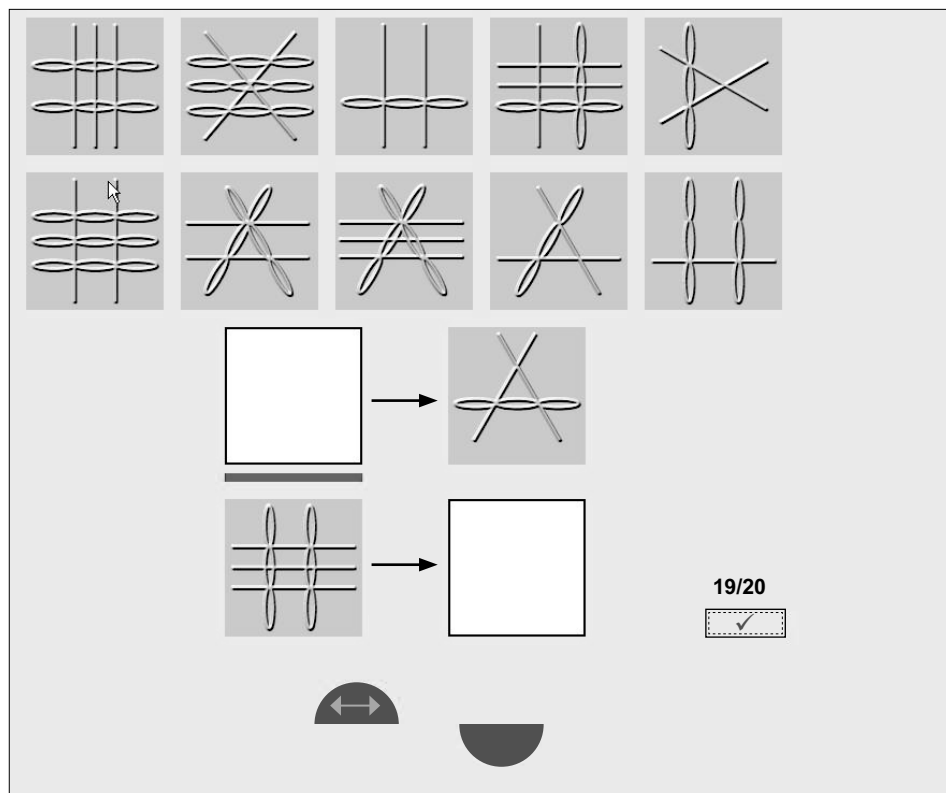
– odpowiednio: figuralnym i werbalnym. Pierwsze z nich polegało na generowaniu związków analogii na materiale, który stanowiły proste figury geometryczne i symbole. Na ekranie komputera było prezentowane zadanie oraz 10 elementów, które można było wykorzystać, aby utworzyć prawidłowy związek analogiczny (zob. ryc. 33). Technicznie rzecz ujmując, zadaniem osoby badanej był wybór takich elementów, które wstawione w brakujące miejsca utworzą poprawny związek analogii, typu $A : B :: C : D$. W każdym zadaniu z przedstawionego materiału można utworzyć co najmniej kilkanaście poprawnych analogii.

W eksperymencie manipulowano trzema czynnikami: liczbą wskazówek (dwa poziomy), rodzajem wskazówek (cztery poziomy w warunkach jednej wskazówki i sześć poziomów w warunkach dwóch wskazówek) oraz liczbą zadań jednoczesnych (dwa poziomy). Pierwsza manipulacja polegała na dostarczaniu osobom badanym wskazówek, czyli różnej liczby zadanych członów analogii. Aby utrzymać dywer-

gencyjny charakter zadania, podawano jedną (np. człon A) albo dwie wskazówki (np. człon A i B). Rodzaj wskazówki to z kolei konkretny człon (człony) analogii przedstawiony osobie badanej. W warunku jednej wskazówki były możliwe cztery jej warianty: A, B, C lub D, a w układzie dwóch wskazówek – sześć: A i B, C i D, A i C, B i D, A i D lub B i C. Na przykład w pierwszym przypadku, kiedy człon A i B zostaną zaprezentowane jako wskazówki, zadanie polega na uzupełnieniu członów C i D, co pozwala na pomiar czasów latencji tych ostatnich. Przyjmując za Sternbergiem (1977a; 1977b), że za każdym członem analogii kryją się określone operacje poznawcze, wartości czasu latencji mogą zostać odniesione do interesujących nas komponentów rozumowania. Czas latencji można ponadto analizować w kontekście tego, co było dane we wskazówkach. Interesujące jest bowiem, czy uzupełnienie członu C (związane z procesem odwzorowania), kiedy dane są człon A i B, jest tym samym co wówczas, gdy dane są na przykład A i D. Manipulacja liczbą wskazówek wpływa na zmienność obciążenia pamięci roboczej w zakresie przechowywania. Założono, że jeśli jest prezentowana jedna wskazówka, osoba badana jest zmuszona manipulować w WM jednocześnie trzema brakującymi elementami, a jeśli dwie – to brakującymi dwoma. Trzecia manipulacja dotyczyła, podobnie jak w wielu zadaniach diagnozujących zakres WM, liczby zadań jednoczesnych. W warunku „podwójnym” wprowadzono zadanie wtórne polegające na podążaniu za przesuującym się po ekranie półkolem (zob. ryc. 34). Poziom wykonania zadania wtórnego potraktowano jako wskaźnik indywidualnej efektywności procesów kontrolnych pamięci roboczej: zwiększenie wymagań kontroli wykonania zadania pierwotnego, które zgodnie z instrukcją osoby badane miały potraktować priorytetowo, będzie powodowało obniżenie poziomu wykonania zadania wtórnego. Mimo że zadanie ma charakter przestrzenny, nie obciąża podsystemu wzrokowo-przestrzennego, dlatego też uznano je za miarę efektywności mechanizmu zarządczego. W nV-APT użyto 20 zadań, po 10 w warunkach „pojedynczym” i „podwójnym”. Na rycinie 34 przedstawiono przykład zadania testowego w wersji zadań jednoczesnych, zaczerpnięty z nV-APT.

W zadaniu eksperymentalnym V-APT zastosowano plan eksperymentalny analogiczny do nV-APT, zmianie uległ jedynie rodzaj zastosowanego materiału z niewerbalnego na werbalny (słowa). Materiał do zadania skonstruowano w taki sposób, aby zadane elementy analogii pozwalały na dokonanie co najmniej kilkunastu poprawnych sposobów jej uzupełniania. Mogło być ich jednak nieco mniej niż w warunku niewerbalnym, co wynika ze specyfiki relacji między pojęciami języka naturalnego. Na rycinach 35 i 36 przedstawiono przykłady zadań testowych w warunkach „pojedynczym” i „podwójnym”, zaczerpnięte z V-APT.

W badaniach udział wzięło 40 osób (27 kobiet i 13 mężczyzn; wiek: $20,2 \pm 0,97$ lat). Kolejność wykonania zadań została zrównoważona w drodze losowania. Ze względu na relatywnie niewielką liczbę prób w każdym z zadań (mimo tego wykonanie każdego z nich trwało około 45 minut) większość analiz rezultatów zadań nV-APT i V-APT dokonano na wskaźnikach czasu latencji i poziomu wykonania

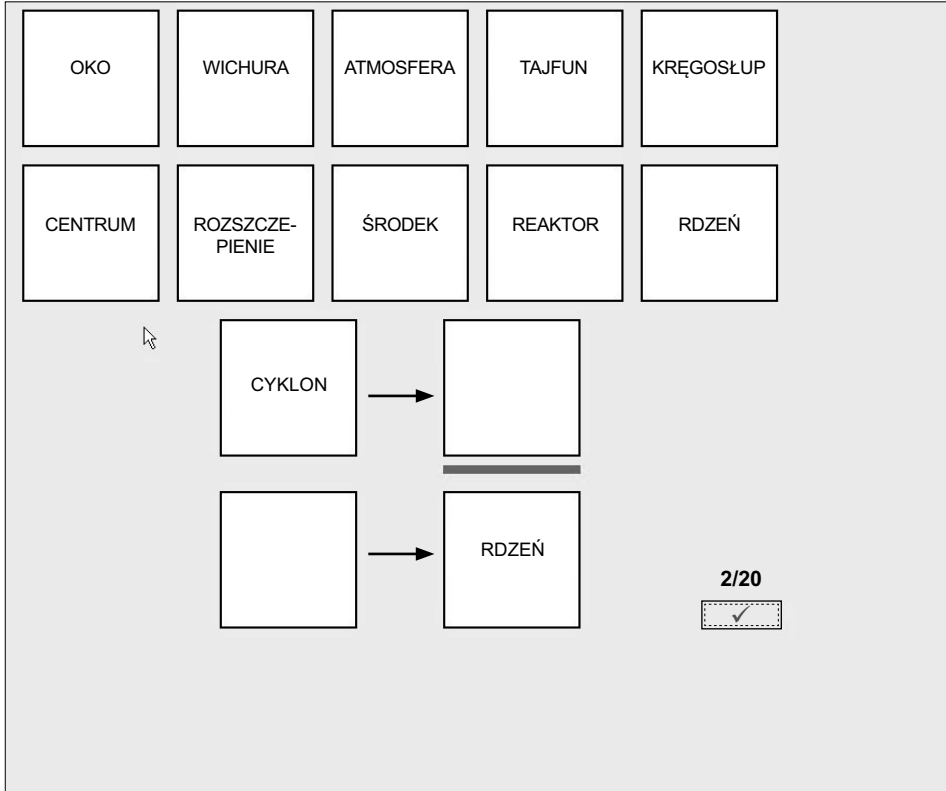


Ryc. 34. Przykład zadania testowego nV-APT w warunkach zadań jednoczesnych. W tym przykładzie dane są człony B i D, a należy uzupełnić A i D. Zadanie wtórne polega na podążaniu za przesuwającym się po ekranie półkolem.

Źródło: opracowanie własne.

zadania wtórnego. Wskaźnik poprawności uwzględniono jedynie w ocenie wpływu zmiennych zagregowanych.

Analizy wykazały, że całkowity czas reakcji w zadaniu nV-APT okazał się istotnie dłuższy (o 29%) w warunkach jednej wskazówki niż w warunkach dwóch wskazówek ($F(1, 35) = 24,74, p < 0,0001$). Analogiczne porównanie w poprawności zadania priorytetowego oraz średnich poziomów błędów w zadaniu wtórnym nie wykazało statystycznie istotnej różnicy. Czas reakcji oraz poprawność – analizowana dla skumulowanych warunków – różniły się istotnie w efekcie manipulacji liczbą zadań jednoczesnych, ale wyłącznie w warunkach jednej wskazówki (większe obciążenie WM). Wprowadzone wówczas zadanie wtórne istotnie wydłużyło czas wygenerowania rozwiązania ($F(1, 37) = 16,90, p = 0,0002$). Wydaje się zatem, że manipulacja umysłowa większą liczbą elementów analogii istotnie zwiększa koszty poznawcze wykonania zadania, co – w myśl przyjętych założeń – wynika z istotnego wpływu



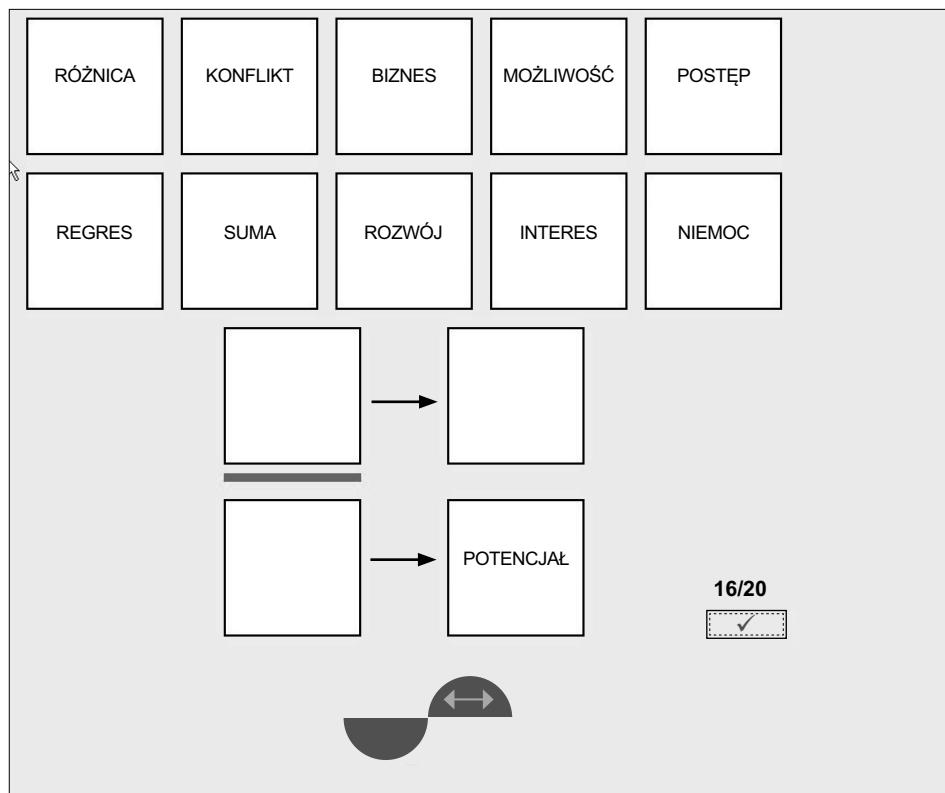
Ryc. 35. Przykład zadania testowego V-APT. Możliwe rozwiązania:

cyklon : oko :: kręgosłup : rdzeń,
 cyklon : oko :: reaktor : rdzeń,
 cyklon : wichura :: centrum : rdzeń,
 cyklon : wichura :: środek : rdzeń,
 cyklon : atmosfera :: rozszczepienie : rdzeń, itd.

Źródło: opracowanie własne.

limitu pojemności WM na proces dywergencyjnego wytwarzania analogii. Manipulacja liczbą zadań jednoczesnych wskazuje natomiast na znaczący wpływ procesów kontrolnych, ale tylko w warunkach bardziej obciążającym WM (jedna wskazówka – trzy niewiadome). Koszty kontrolne mają jednak wyłącznie czasowy charakter, nie wykryto bowiem wpływu doładowania zadaniem wtórnym na poprawność w zadaniu nV-APT. Oczywiście nie znaczy to, że zadanie wymaga kontroli tylko w warunkach jednej wskazówki, lecz dane nie wskazują, aby była ona istotnie wyższa – biorąc pod uwagę poprawność rozumowania – niż w warunkach dwóch wskazówek.

W analizie czasu latencji poszczególnych etapów zadania nV-APT zastosowano zabieg statystyczny polegający na uzupełnieniu brakujących danych średnimi czasów latencji (a w kolejnych analizach również w zadaniu wtórnym) w warunkach,

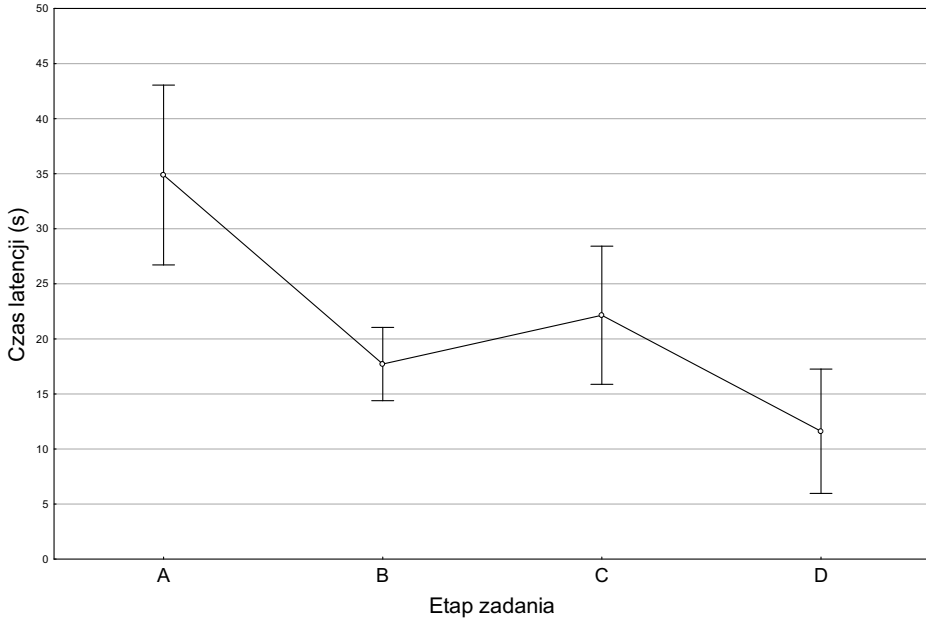


Ryc. 36. Przykład zadania testowego V-APT w warunku zadań jednoczesnych.

Źródło: opracowanie własne.

w których dany etap zawierał wskazówkę. W warunkach tych – co oczywiste – pojawiał się brak danych. W wyniku zastosowania tak złożonego planu eksperymentalnego w zakresie czynnika „rodzaju wskazówki” (10 warunków) było możliwe estymowanie brakujących czasów latencji z danych uśrednionych z pozostałych warunków. W ten sposób – abstrahując od czynników liczby wskazówek i liczby zadań jednoczesnych – przeprowadzona analiza wykazała efekt główny etapu zadania ($F(3, 102) = 45,45, p < 0,0001$; zob. ryc. 37). Czas latencji okazał się najdłuższy w etapie A (kontrast A–B był istotny), a najkrótszy w etapie D (kontrast C–D również istotny); pomiędzy etapami B i C nie było istotnych różnic.

Analogiczną analizę przeprowadzono w przypadku poziomego wykonania zadania wtórnego. Rezultaty były zgodne z wynikami analiz czasu latencji ($F(3, 111) = 10,50, p < 0,0001$). Istotnie wyższą liczbę błędów w zadaniu wtórnym wykryto w etapie A, w porównaniu z wszystkimi pozostałymi, między którymi nie było różnic (nieistotne kontrasty pomiędzy etapami B, C i D). Czas latencji, jako miara złożoności komponentu procesu rozumowania, oraz poziom wykonania zadania doładowującego, jako

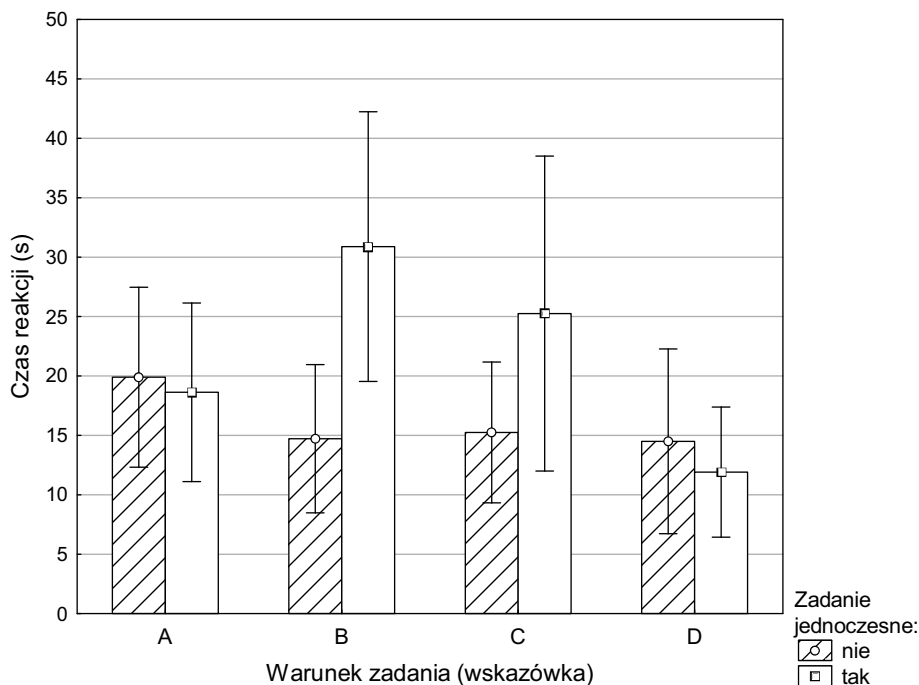


Ryc. 37. Średni czas latencji poszczególnych etapów w zadaniu nV-APT ($F(3, 102) = 45,45$, $p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

miara wymagań, jakie stawia on systemowi kontrolnemu WM, wskazują, że najbardziej „kosztowne” dla systemu poznawczego jest wygenerowanie elementu A (obiektu rozumowania analogicznego), a najmniej – D. Przeprowadzono również analizę czasów latencji tylko w warunku większego obciążenia WM (jedna wskazówka – trzy niewiadome). Czas jest wówczas wskaźnikiem latencji uzupełnienia pozostałych trzech członów analogii; innymi słowy, jest miarą złożoności procesu generowania pozostałych elementów zadania. Okazało się, że czas reakcji jest najdłuższy w warunkach drugim i trzecim (między nimi brak istotnych różnic statystycznych), w których została narzucona odpowiednio wskazówka B albo C, krótszy – w warunku pierwszym (wskazówka A) i najkrótszy – w warunku czwartym (wskazówka D) ($F(3, 111) = 15,09$, $p < 0,0001$). Uwzględnienie w analizie warunków z jedną wskazówką wpływu manipulacji liczbą zadań jednoczesnych przyniosło istotną interakcję ($F(3, 111) = 15,25$, $p < 0,0001$; zob. ryc. 38). Okazało się, że w warunku jednego zadania nie miało znaczenia, która ze wskazówek została podana, nie stwierdzono bowiem różnic w czasie latencji w zależności od podanej wskazówki. Włączenie zadania wtórnego wpływało jednak istotnie na czas uzupełnienia pozostałych elementów, kiedy wskazówką były człony B albo C.

Analiza poziomu wykonania zadania wtórnego przeprowadzona w warunku jednej wskazówki wykazała istotne różnice w zależności od rodzaju wskazówki



Ryc. 38. Średni czas reakcji w zadaniu nV-APT w zależności od dostarczonej wskazówki zadania (A, B, C albo D) i liczby zadań jednoczesnych ($F(3, 111) = 15,25, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

($F(3, 114) = 6,66, p < 0,001$). Najniższy wskaźnik błędów uzyskano w warunku pierwszym, a najwyższy w drugim. W pozostałych warunkach różnice były nieistotne.

Wydaje się zatem, że w wersji zadania z jedną wskazówką nie ma znaczenia, która z nich zostanie podana – sumaryczny czas wykonania zadania jest statystycznie zawsze taki sam. Szacowane w ten sposób zaangażowanie systemu pamięciowego WM jest więc porównywalne. Niektóre z narzuconych elementów niosą jednak z sobą większe lub mniejsze koszty dla systemu kontrolnego. Biorąc pod uwagę jednocześnie wskaźniki zadania priorytetowego i wtórnego, narzucenie członu B (nośnika), a w dalszej kolejności C, wydaje się najbardziej obciążające dla systemu WM. Wskazuje to na dwa procesy istotne dla dywergencyjnego wnioskowania przez analogię: uchwycenie relacji między pierwszymi dwoma członami analogii oraz dokonanie odwzorowania. Najbardziej jednak krytyczny wariant zadania to narzucenie elementu B, które stawia systemowi WM szczególne wymagania w zakresie wykorzystania zarówno pojemności, jak i funkcji kontrolnych.

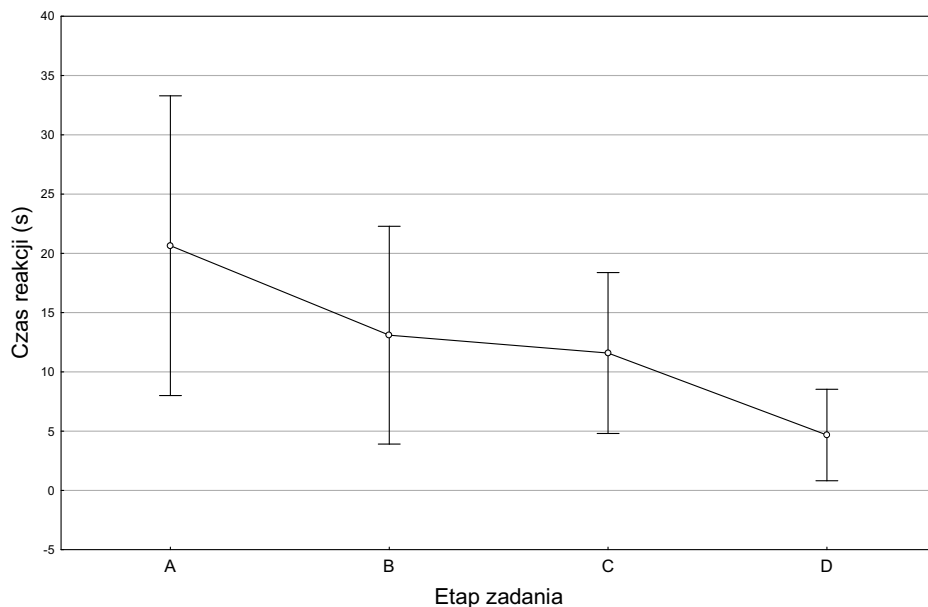
Analogiczne analizy przeprowadzone w zadaniu V-APT wskazują, że całkowity czas reakcji był dłuższy o 73% w warunku jednej wskazówki niż dwóch wskazówek

($F(1, 37) = 68,68, p = 0,0001$). Odpowiednio niższa była wówczas poprawność – niemal o 20% niższa w warunku jednej wskazówki ($F(1, 39) = 38,58, p < 0,001$). Nie wykryto natomiast różnic w ogólnym wskaźniku błędów w zadaniu wtórnym w wyniku manipulacji liczbą wskazówek. Rezultaty są więc analogiczne jak w zadaniu nV-ART. Zadanie w wersji werbalnej było jednak wykonywane wolniej, choć bardziej poprawnie niż w wariancie niewerbalnym (odpowiednio 29,1 s do 21,8 s i 65,5% do 49% poprawnych reakcji). Po uwzględnieniu liczby wskazówek okazało się, że czas reakcji w werbalnym zadaniu z jedną wskazówką wyniósł średnio 38,6 s, podczas gdy w warunku niewerbalnym – 18,9 s. W zadaniu z dwiema wskazówkami czas w warunku werbalnym wyniósł 22,6 s, a w niewerbalnym 23,8 s. Różnica w szybkości wykonania dotyczy zatem wyłącznie warunku jednej wskazówki, czyli – jak przyjęto – warunku bardziej obciążającego WM pod względem jej pojemności.

W analizie efektu etapu zadania zastosowano identyczną procedurę statystyczną jak w zadaniu nV-APT. Czas latencji kolejnych etapów, analizowany niezależnie od liczby wskazówek i zadań jednoczesnych, okazał się najdłuższy w etapie A, a najkrótszy w etapie D. Czas latencji w etapach B i C nie różnił się istotnie ($F(3, 111) = 48,42, p = 0,0001$; zob. ryc. 39). Bez względu na wartości estymowanych czasów latencji (szczególnie w etapie A), jak i względne różnice w latencji między poszczególnymi etapami okazały się mniejsze niż w warunku niewerbalnym, wzorec wyników jest jednak podobny. Najdłużej trwa wybór właściwego elementu A, a najkrócej – D. Istotna interakcja czynników etapu i liczby wskazówek wydaje się wskazywać na źródło trudności w tym wariancie zadania ($F(3, 111) = 14,54, p < 0,0001$; zob. ryc. 40). Okazało się, że czas latencji w etapie A w warunkach jednej wskazówki był istotnie dłuższy niż w warunkach dwóch wskazówek. Pozostałe czasy nie różniły się istotnie, gdy porównano analogiczne średnie między warunkami z różną liczbą wskazówek.

Analiza wykonania zadania wtórnego z uwzględnieniem czynnika etapu wykazała wyższy poziom wskaźnika błędów w etapie A niż w pozostałych etapach. Wyższy był również poziom błędów w etapie C w porównaniu z B i D ($F(3, 111) = 10,50, p = 0,0001$). I znowu nie wykryto jakościowych różnic w porównaniu z wynikami uzyskanymi w wersji zadania z użyciem materiału niewerbalnego.

Przeprowadzono również analizę czasu reakcji i poziomu wykonania zadania wtórnego tylko w warunkach jednej wskazówki, czyli – jak założono – większego obciążenia WM. Czas reakcji okazał się dłuższy w warunkach pierwszym i czwartym, w których została narzucona odpowiednio wskazówka A i D, niż w warunkach drugim i trzecim (wskazówki B i C) ($F(3, 114) = 11,09, p < 0,0001$). Pomiędzy drugim i trzecim warunkiem nie było istotnych różnic. Również liczba zadań jednoczesnych nie miała różnicującego wpływu na czas reakcji w porównywanych warunkach. Analiza poziomu wykonania zadania doładującego w warunku jednej wskazówki wykazała istotne różnice ze względu na jej rodzaj ($F(3, 114) = 2,87, p < 0,04$). Najniższy wskaźnik błędów wykryto w warunku pierwszym. W pozostałych trzech warunkach różnice były nieistotne. Wzorec tych wyników nie odbiega znacząco od uzyskanych w zadaniu niewerbalnym. Jedynie wyniki czasu reakcji układają się

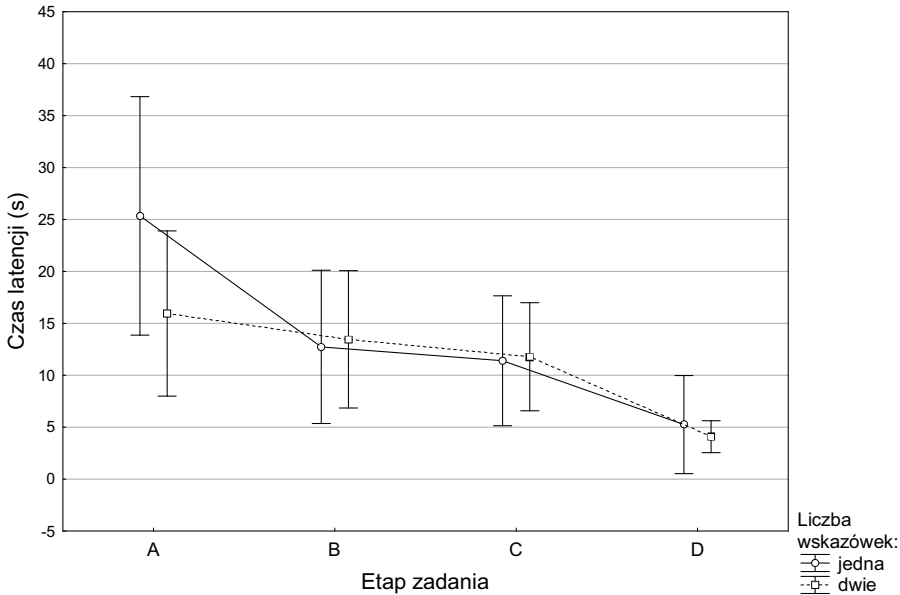


Ryc. 39. Średni czas latencji poszczególnych etapów w zadaniu V-APT ($F(3, 111) = 48,42$, $p = 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

według nieco innego wzorca. W warunku werbalnym podanie wskazówki A i D w większym stopniu zwiększało ogólny czas reakcji.

Zasadnicze różnice w przeprowadzonych analizach wskaźników zadań nV-APT i V-APT dotyczą ogólnego poziomu wykonania, to jest czasu wytworzenia poprawnego związku analogii (dłuższego w warunku werbalnym) i ogólnego poziomu poprawności (niższego w warunku niewerbalnym). Ponieważ jednak pozostałe wzorce reagowania uzyskane w wyniku manipulacji liczbą wskazówek, ich rodzajem oraz doładowaniem zadaniem jednoczesnym są dość podobne, wyjaśnienia powyższej różnicy należałoby poszukiwać nie w specyfice materiału, a przede wszystkim w charakterze i liczbie relacji, które należy rozpatrzyć w procesie wnioskowania. Różnice w poprawności wykonania werbalnych i niewerbalnych testów analogii nie są – jeśli zadbac o równoważny poziom trudności – niczym niezwykłym. Co więcej, w diagnostyce korzysta się z tej różnicy, przyjmując, że analogie niewerbalne są ładowane czynnikiem inteligencji płynnej, podczas gdy zadania werbalne – skrytalizowaną wiedzą. Wynika to zapewne z konieczności badania *ad hoc* relacji między elementami niewerbalnymi, gdyż – jeśli są nimi na przykład złożone figury geometryczne – z natury są one nieznanne. W materiale werbalnym wiele relacji jest z kolei elementem wiedzy zawartej w LTM – wiedza ta wymaga tylko przywołania. Ciekawym, ale zaskakującym jest zatem wynik wskazujący na dłuższe wytwarzanie związków analogii w przypadku materiału werbalnego (warunek jednej wskazówki). Może to



Ryc. 40. Średni czas reakcji w zadaniu nV-APT w zależności od etapu zadania (A, B, C albo D) i liczby wskazówek (jedna albo dwie) ($F(3, 111) = 14,54, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

wynikać ze specyfiki pojęć naturalnych, które – ze względu na rozmyte granice – dają więcej możliwości budowania relacji między nimi, a w związku z tym trzeba ich więcej rozpatrzyć, szczególnie w zadaniu dywergencyjnym. Mimo że materiał jest znany, relacji tych jest na tyle dużo, że proces ich przeszukiwania zajmuje dodatkowy czas. Reprezentacje bodźców werbalnych są aktywowane automatycznie, podobnie jak relacje z powiązaną z nimi wiedzą. Zapewne większość z nich będzie irrelevantna dla zadania, dlatego będzie wymagać hamowania. W warunku jednej wskazówki osoba badana sama decyduje o relacji, podczas gdy w większości warunków z dwiema wskazówkami relacja ta jest określona. Poszukiwanie rozwiązań odbywa się więc w zawężonej przestrzeni – jest zatem szybsze, a różnice między rodzajem materiału (w zakresie czasu reakcji) zacierają się.

Stąd, nadal ostrożnie interpretując wyniki w kontekście założeń, może wynikać różnica w poziomie obciążenia WM w warunkach jednej i dwóch wskazówek. Zawężenie liczby potencjalnych relacji znacznie odciąża WM w warunku werbalnym (różnica w czasie i poprawności wykonania zadania priorytetowego), podczas gdy w warunku niewerbalnym tylko przyspiesza wyszukiwanie (różnica w RT). Idąc tym tropem – równie ostrożnie – można przyjąć, że dywergencyjne generowanie związków analogicznych jest procesem wymagającym zarówno zasobów pamięciowych, jak i sprawowania kontroli przez mechanizm centralny WM. Oczywiście wniosek

należy zawęzić do – mimo wszystko – konkretnej, narzuconej struktury zadania, która ma charakter otwarty, ale tylko w pewnym zakresie.

Przeprowadzone analizy wskazały mniej i bardziej krytyczne momenty dla dywergencyjnego rozumowania przez analogię. Jest to, z jednej strony, moment realizacji najistotniejszych operacji rozumowania przez analogię – czyli ustalenie relacji $A : B$, a następnie odwzorowanie jej w kontekście elementu C . Wyniki konsekwentnie wskazują, że zarówno w konwergencyjnym (Orzechowski, 1999a), jak i dywergencyjnym generowaniu związków analogicznych są to operacje podstawowe, czego dowodzą nie tylko czasy latencji, ale również efekty dociążenia systemu poznawczego zadaniem wtórnym. Z drugiej strony wyniki wskazują również na nierównoważność warunków, w których wskazówką były różne człony zadania. Być może jednym z powodów tej trudności, na przykład kiedy został narzucony człon B analogii, jest konieczność cofnięcia się w rozumowaniu, aby ustalić obiekt (człon A). W wielu analogiach relacja $A : B$ nie jest tożsama z relacją $B : A$, a ponadto zostaje zaburzona naturalna w tym zadaniu liniowość rozumowania: od lewej do prawej. Zadanie w wersji dywergencyjnej wymaga rozpatrzenia wielu relacji dla wielu obiektów, co stanowi znaczne obciążenie dla systemu WM. Typowy, liniowy przebieg rozumowania pozwala na optymalne wykorzystanie zasobów WM: po ustaleniu relacji $A : B$ obydwa elementy mogą zostać zredukowane do łączącej ich relacji, a same obiekty nie muszą być dalej utrzymywane w pamięci roboczej. Zmiana kolejności realizacji komponentów wnioskowania może dociążać WM koniecznością wykonania dodatkowych albo nietypowych operacji poznawczych. Wspomniane momenty w realizacji procesu rozumowania analogicznego wydają się podobne w wypadku zastosowania różnego rodzaju materiału i zasadniczo nie różnią się od wykonania zadań konwergencyjnych (Orzechowski, 1999a; 2004a). Podsumowując, wyniki przeprowadzonych badań wskazują na zasadniczą rolę procesów pamięciowych i kontrolnych WM w rozumowaniu dywergencyjnym, kiedy zadaniem jest generowanie związków analogii. O ile kwestia przechowywania elementów zadania wydaje się klarowna, o tyle dalszych badań wymaga doprecyzowanie natury procesów kontrolnych.

W kolejnych badaniach własnych podjęto próbę weryfikacji hipotezy o związku wydajności WM z wytwarzaniem dywergencyjnym w innego rodzaju zadaniach, które wymagałyby również rozumowania relacyjnego. Ostatni z prezentowanych eksperymentów był częścią większego programu badawczego, w którym testowano wybrane predykcje modelu Nęcki i Orzechowskiego (2005), analizując wpływ procesów uwagowych i pamięciowych na różne aspekty wytwarzania dywergencyjnego. Poniżej zostanie omówione jedno z badań, które dotyczyło udziału pamięci roboczej w zadaniu wymagającym giętkości myślenia jako jednego z wymiarów analizy myślenia dywergencyjnego.

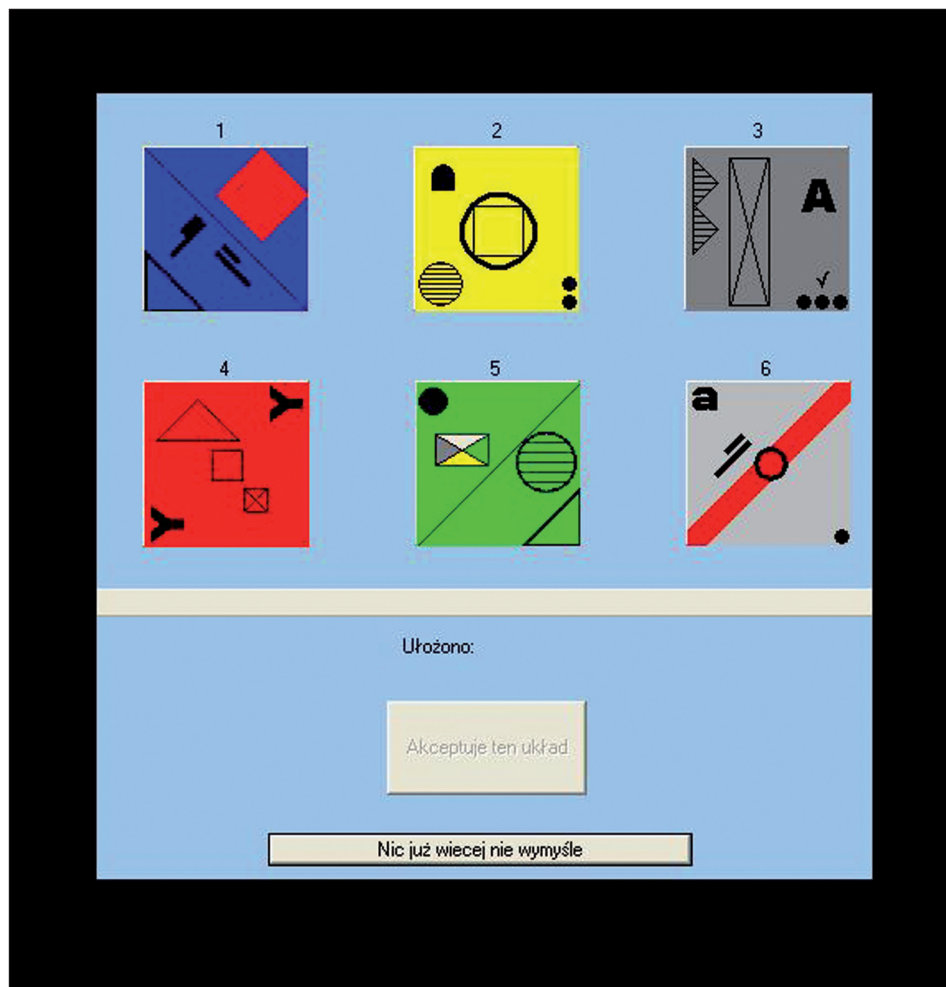
Eksperyment 3.2. Pamięć robocza a dywergencyjne wytwarzanie podobieństw figuralnych¹⁴

W interpretacji wyników eksperymentu 3.1 zwrócono uwagę, że zmiana obciążenia systemu WM w różnych etapach procesu rozumowania przez analogię może być skutkiem złożoności relacji pomiędzy elementami zadania. Nie wiadomo jednak, czy złożoność ta wynika z konieczności jednoczesnego operowania większą liczbą elementów, czy też większą liczbą relacji łączących te elementy. W literaturze (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007) twierdzi się, że proces rozumowania polega na tworzeniu nowych relacji między wieloma elementami reprezentującymi zadanie w celu integracji ich w nową strukturę. Zadanie to angażuje funkcje zarządcze, lecz złożoność tej nowej struktury jest limitowana pojemnością pamięci roboczej, to jest obszaru bezpośredniego dostępu. Ograniczenie to dotyczy liczby elementów, które mogą być jednocześnie umiejscowione w systemie odpowiedzialnym za koordynację. Zakładana przez Oberauera równoważność między liczbą elementów a liczbą relacji, które mogą je łączyć, jest tylko jedną z możliwości. Wydaje się bowiem, że w rozumowaniu relacyjnym (szczególnie we wnioskowaniu przez analogię) czynniki te są ortogonalne. Między dwoma elementami, jeśli są one zdefiniowane przez wiele cech, można odnaleźć wiele relacji. Może też być tak, że pomimo wielu cech definicyjnych, o relacji decyduje tylko jedna z nich (pozostałe są dla związku nieistotne). Pojawia się zatem zasadnicze pytanie, czy o złożoności relacji decyduje liczba elementów, czy też liczba relacji, które mogą zachodzić między tymi elementami. Aby odpowiedzieć na to pytanie, skonstruowano dywergencyjne zadanie wymagające rozumowania relacyjnego, w którym selektywnie manipulowano albo liczbą elementów definiujących człony zadania (przy stałej liczbie relacji), albo liczbą relacji między nimi (przy stałej liczbie elementów definiujących).

Nie po raz pierwszy autor sięgnął do klasyki psychologii. Zadanie, które – jak się wydaje – pozwoliło na bardzo precyzyjną manipulację czynnikami liczby cech i liczby relacji między elementami zadania, zostało oparte na teście podobieństwa figuralnego (Guilford, 1978). Test podobieństwa figuralnego polega na wyszukiwaniu jak największej liczby klas składających się z trzech figur (wybranych z puli sześciu). Przyjmuje się, że klasa powstaje na skutek wyabstrahowania jednej lub więcej relacji łączących wybrane trzy elementy. Zadanie to wymaga więc rozumowania relacyjnego – poszukiwania relacji między trzema elementami, przy czym materiał jest tak dobrany, aby w każdej próbie można było wygenerować wiele takich trójek. Ponieważ każda z nich (albo większość) jest oparta na innej relacji między wybranymi elementami, dla Guilforda było to zadanie wymagające przede wszystkim giętkości myślenia.

Na potrzeby badań własnych (Orzechowski, 2004c) opracowano skomputeryzowaną wersję testu podobieństwa figuralnego (*figural similarities computerized task*, FSCT) w dwóch wariantach. W pierwszym manipulowano liczbą elementów de-

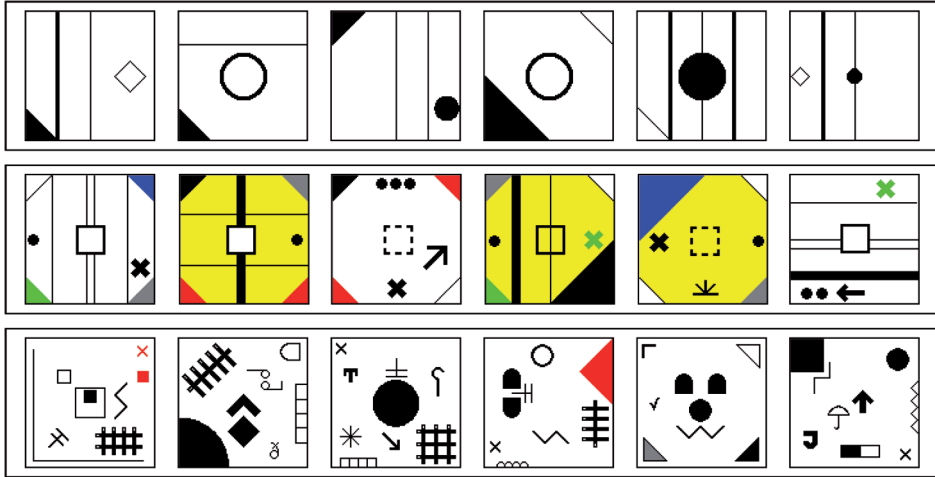
¹⁴ Badania przeprowadzono w ramach realizacji projektu badawczego „Procesualne charakterystyki myślenia dywergencyjnego” przyznanego przez Komitet Badań Naukowych (PB 5 H01F 006 21).



Ryc. 41. Zadanie FSCT-A: komputerowa wersja testu podobieństw figuralnych. Jeden z przykładowych zestawów układów elementów.

Źródło: opracowanie własne.

finiujących poszczególne figury użyte w zadaniu, a w drugim – liczbą relacji, na podstawie których jest możliwe stworzenie trzelementowej klasy. Niezależnie od wariantu osoba badana otrzymywała zestaw sześciu figur. Jej zadaniem było odnalezienie jak największej liczby klas składających się z trzech wybranych figur. W przykładowym zadaniu zaprezentowanym na rycinie 41 trzelementowe klasy tworzą figury: 1, 5 i 6 (linia skośna, niezależnie od kierunku pochylenia); 1, 2 i 4 (zawierają kwadrat, niezależnie od jego wielkości i koloru); 2, 5 i 6 (zawierają koło); 3, 4 i 6 (zawierają literę) itd. Liczba poprawnych możliwości klasyfikacji wahała się w przedziale 8–10.



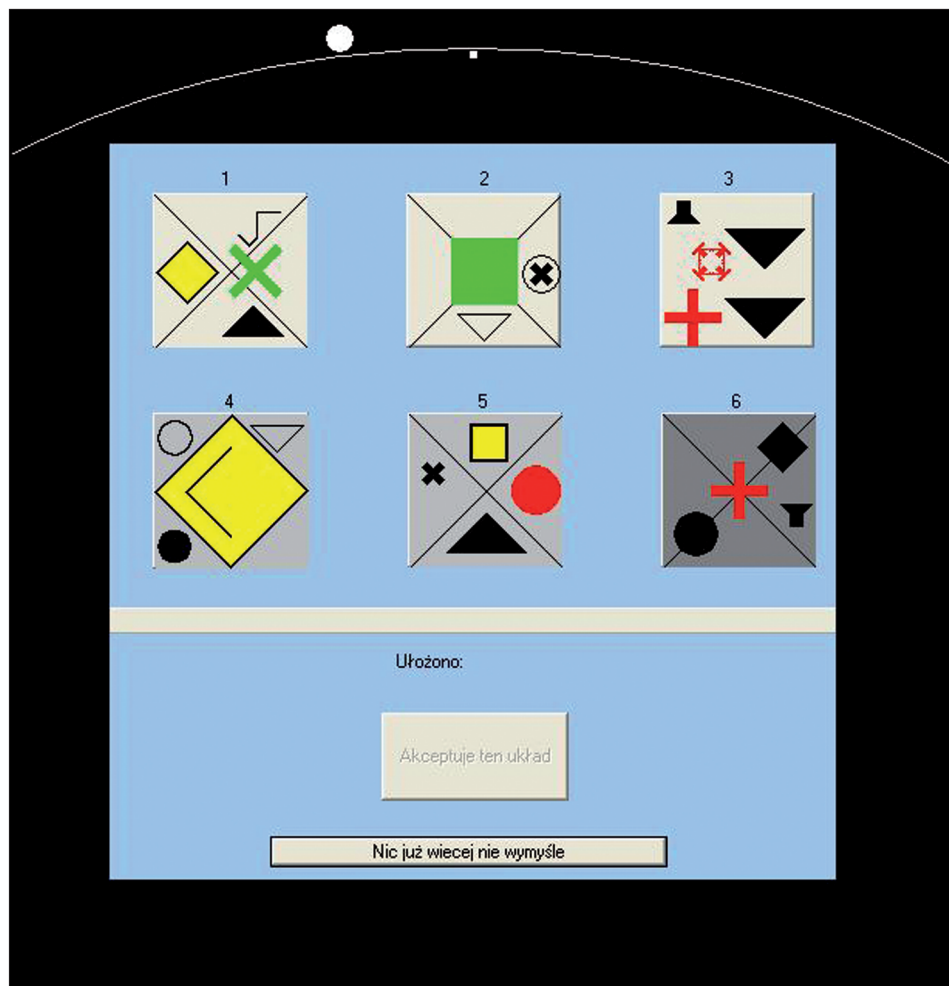
Ryc. 42. Przykładowe trzy zestawy bodźców z zadania FSCT-A różniące się liczbą elementów definiujących figurę (trzy, sześć albo dziewięć).

Źródło: opracowanie własne.

W zadaniu FSCT w wariancie A, manipulacji liczbą elementów definiujących, stworzono układy, w których liczba ta przyjmowała jeden z trzech poziomów: trzy, sześć i dziewięć elementów. Do utworzenia trzejelementowych klas z zaprezentowanych układów wystarczyło jednak zawsze wzięcie pod uwagę tylko jednej cechy, a co za tym idzie – tylko jedna relacja była podstawą utworzenia klasy. Innymi słowy, rosnącej w wyniku manipulacji liczbie elementów tworzących figurę towarzyszyła zawsze tylko jedna relacja klasyfikacyjna (por. ryc. 42).

W celu uchwycenia wpływu procesów kontrolnych na wykonanie FSCT w polowie zadań testowych zostało wprowadzone zadanie wtórne – proste zadanie motoryczne wykonywane równocześnie z zadaniem klasyfikacyjnym. Polegało ono na utrzymywaniu kulki na szczycie umownego wzgórza (zob. ryc. 43). Trudność polegała na tym, że kulka stale staczała się z prawej albo lewej strony szczytu wzgórza. Przyjęto, że poziom wykonania zadania wtórnego jest miarą efektywności kontroli dokonywanej przez centralny system wykonawczy WM. Pomiaru odchylenia położenia kulki od optimum dokonywano w sposób ciągły, próbując w ten sposób uchwycić dynamikę zmian w zakresie poziomu kontroli, której wymagało zadanie priorytetowe. Zadanie składało się z 6 warunków eksperymentalnych wynikających z manipulacji liczbą elementów składających się na figurę (3, 6 albo 9) x 2 poziomy czynnika liczba zadań jednoczesnych (1 albo 2 zadania). Łącznie badana osoba wykonywała 18 zadań (6 warunków x 3 zadania) oraz 2 zadania treningowe. Po każdej odpowiedzi osoba wpisywała uzasadnienie wyboru w celu eliminacji przypadkowych układów.

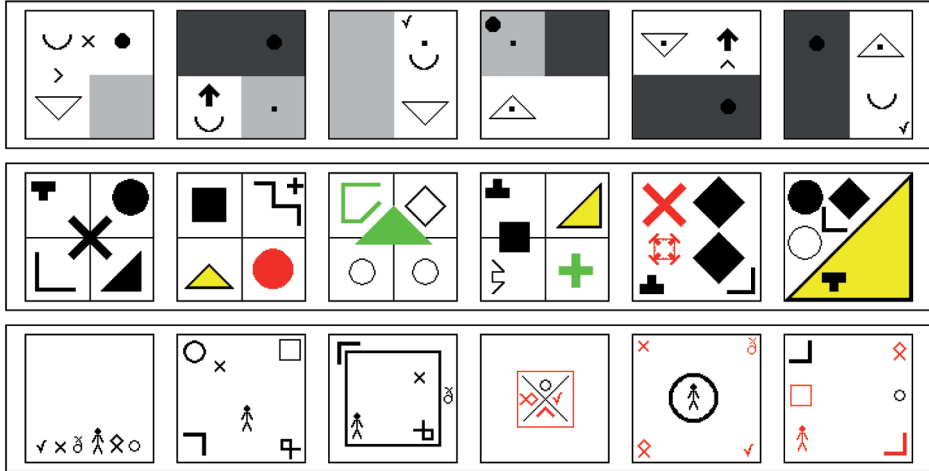
Zadanie FSCT w wariancie B miało dokładnie taki sam plan czynnikowy, lecz główna manipulacja dotyczyła liczby relacji tworzących trzejelementową klasę. Jed-



Ryc. 43. Zadanie FSCT-A – wersja zadań jednoczesnych. Osoba badana oprócz testu podobieństwa figuralnego ma za zadanie utrzymywanie kulki na szczycie łuku.

Źródło: opracowanie własne.

nocześnie poziom liczby elementów definiujących figurę został ujednolicony dla całego zadania i wynosił sześć. Zadania zostały tak skonstruowane, aby liczba relacji, które należało wziąć pod uwagę, wynosiła dwa, trzy albo cztery (zob. ryc. 44). W warunkach dwóch relacji nie można zbudować poprawnej klasy, jeśli uwzględni się tylko jeden element figury (czyli tylko jedną relację), w warunkach trzech elementów – jeśli próbuje się użyć tylko jednej albo dwóch relacji itd. Wykluczono również możliwość tworzenia klas na podstawie większej niż określona w danym warunku liczby elementów. W połowie prób ponownie zastosowano paradygmat zadań jednoczesnych, analogicznie do wariantu A. Manipulacja wariantem zadania (A albo B) była doko-



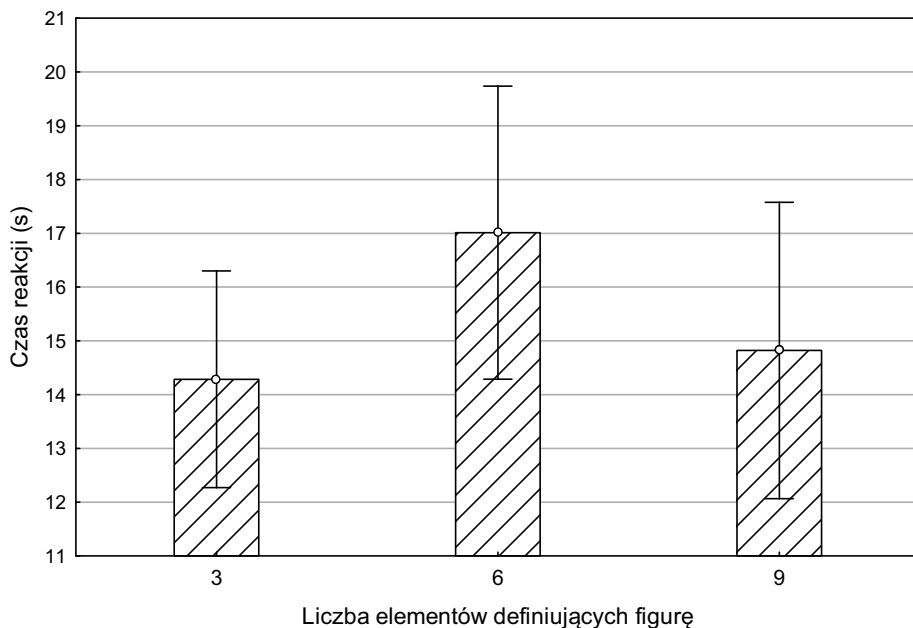
Ryc. 44. Przykładowe trzy zestawy bodźców z zadania FSCT-B, różniące się liczbą reguł definiujących trzejelementową klasę.

Źródło: opracowanie własne.

nywana międzygrupowo. W pierwszym badaniu, z użyciem zadania FSCT-A, udział wzięło 50 osób (41 kobiet i 9 mężczyzn; wiek: $20,6 \pm 1,36$ lat). W badaniu drugim, w wariancie FSCT-B, zbadano 40 osób (31 kobiet i 9 mężczyzn; wiek: $20,65 \pm 1,7$ lat).

Przyjęto, że obie manipulacje – liczbą elementów definiujących figurę oraz liczbą relacji definiujących klasę – mogą mieć wpływ na poziom wykonania zadania związany z rosnącym obciążeniem WM. Każda z nich w różnym jednak stopniu wpływa na zaangażowanie podsystemów pamięciowego i kontrolnego WM. Założono, że manipulacja liczbą elementów definiujących będzie wpływać przede wszystkim na dociążenie systemu kontrolnego, podczas gdy manipulacja liczbą relacji – systemu pamięciowego (Unsworth, Engle, 2005). W obu przypadkach zadanie wtórne będzie wskaźnikiem efektywności mechanizmu kontrolnego.

Pierwsze z założeń wynikało z rozumowania, że im więcej będzie elementów definiujących figurę (zadanie FSCT-A), tym więcej potencjalnych relacji zbudowanych na ich podstawie należy rozpatrzyć w procesie wnioskowania. Jeśli relacja między figurami jest oparta tylko na jednym z tych elementów, obciążenie podsystemu pamięciowego WM jest wówczas niewielkie (konieczność utrzymania w WM jednej cechy w jednostce czasu), ale zadanie to będzie wymagające dla systemu kontrolnego, będzie bowiem konieczna efektywna aktualizacja WM w celu rozpatrzenia rosnącej liczby elementów definiujących figury oraz hamowania cech dystrykcyjnych aż do znalezienia cechy istotnej dla relacji. Manipulacja liczbą elementów definiujących, przy kontroli liczby relacji łączących elementy zadania, powinna wpłynąć na ogólny czas wykonania zadania (im więcej elementów, tym dłużej będzie trwał proces ich analizy) i jego poprawność (im więcej elementów, tym większe ryzyko wy-



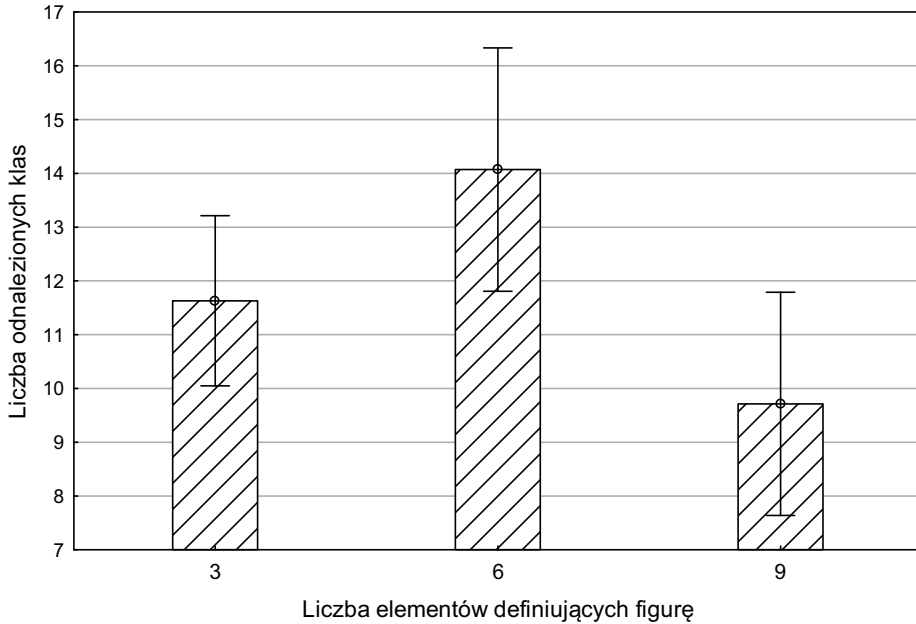
Ryc. 45. Średni czas reakcji w zadaniu FSCT-A w zależności od liczby elementów definiujących figurę ($F(2, 82) = 37,98, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

boru niewłaściwych i pominięcia tych, które tworzą klasę). Manipulacja ta powinna wpłynąć również na wzrost obciążenia systemu kontrolnego, a co za tym idzie na poziom wykonania zadania wtórnego (im więcej elementów, tym większe wymagania dla aktualizacji WM).

Po drugie założono, że im więcej relacji należy wykorzystać, aby stworzyć klasę (zadanie FSCT-B), tym większe będzie obciążenie podsystemu pamięciowego WM, relacje te muszą bowiem być wzięte jednocześnie pod uwagę w procesie kategoryzacji. Pominięcie choćby jednej będzie prowadzić do błędnego rozwiązania. Jest to również zadanie wymagające dla systemu kontrolnego WM, ale ponieważ liczba elementów składających się na figurę jest stała, wymaganie to również będzie względnie stałe w całym zadaniu. Zatem manipulacja liczbą relacji wpłynie na obciążenie systemu pamięciowego WM i – podobnie jak manipulacja liczbą elementów – będzie mieć wpływ na czas i poprawność reakcji.

W obu wariantach zadania uzyskano istotny wpływ manipulacji podstawowym czynnikiem różnicującym wersje. W zadaniu FSCT-A liczba elementów definiujących figurę wpłynęła zarówno na czas reakcji ($F(2, 82) = 37,98, p < 0,0001$; zob. ryc. 45), jak i na liczbę poprawnych rozwiązań ($F(2, 82) = 11,39, p < 0,0001$; zob. ryc. 46). W obu przypadkach związek ten był krzywoliniowy. Rosnąca liczba elementów definiujących najpierw powodowała wzrost czasu i liczby odnalezionych



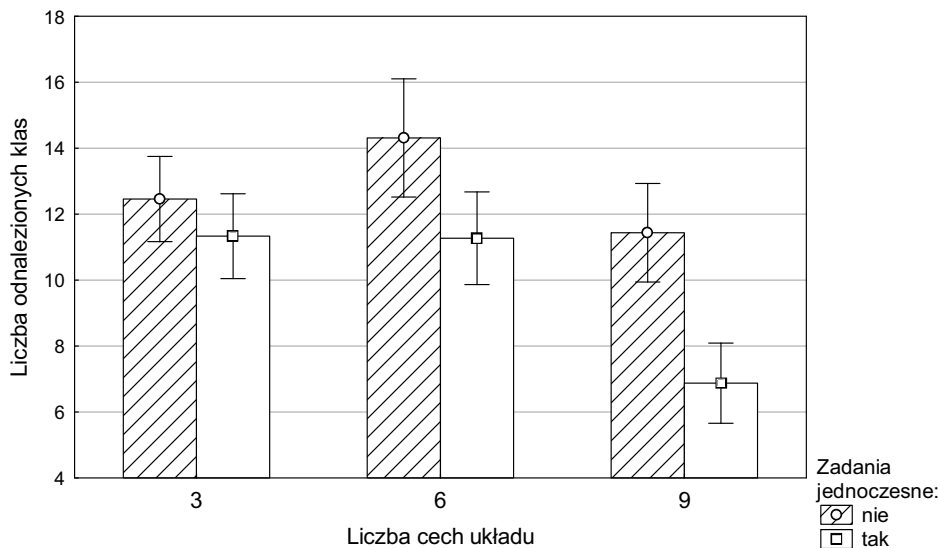
Ryc. 46. Średnia poprawność w zadaniu FSCT-A w zależności od liczby elementów definiujących figurę ($F(2, 82) = 11,39, p < 0,0001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

klas (przy średnim jej obciążeniu), a następnie ich zmniejszenie (przy maksymalnym obciążeniu). W zadaniu FSCT-B uzyskano natomiast istotny efekt wpływu czynnika liczby relacji, ale tylko na poprawność rozwiązań ($F(2, 76) = 4,49, p < 0,02$; zob. ryc. 47). Wzrost liczby relacji, które należało uwzględnić w danym warunku zadania, powodował początkowo zwiększenie liczby odnalezionych kategorii, a następnie jej spadek.

W obu wariantach zadania FSCT wykryto również istotny efekt zadania podwójnego polegający na zmniejszeniu liczby odnalezionych kategorii w warunku zadań jednoczesnych (FSCT-A: $F(1, 41) = 21,75, p < 0,0001$; FSCT-B: $F(1, 38) = 10,21, p = 0,003$). Tylko jednak w wariancie A interakcja czynników „liczba elementów definiujących figurę” i „liczba zadań jednoczesnych” okazała się istotna ($F(2, 82) = 7,59, p < 0,001$; ryc. 48). Analogiczna interakcja liczby relacji definiujących klasę i liczby zadań jednoczesnych w wariancie B była nieistotna.

Uzyskane wyniki wskazują na związek zarówno liczby elementów definiujących figury użyte w zadaniu FSCT-A, jak i liczby relacji między figurami w zadaniu FSCT-B z różnymi wskaźnikami poziomu wykonania zadania klasyfikacyjnego. W obu przypadkach były to jednak związki krzywoliniowe. Najistotniejsze wydaje się to, że obydwa czynniki mają związek z rozumowaniem relacyjnym, co – zgodnie z założeniami – wynika z udziału WM w przetwarzaniu wymiarów wpływających

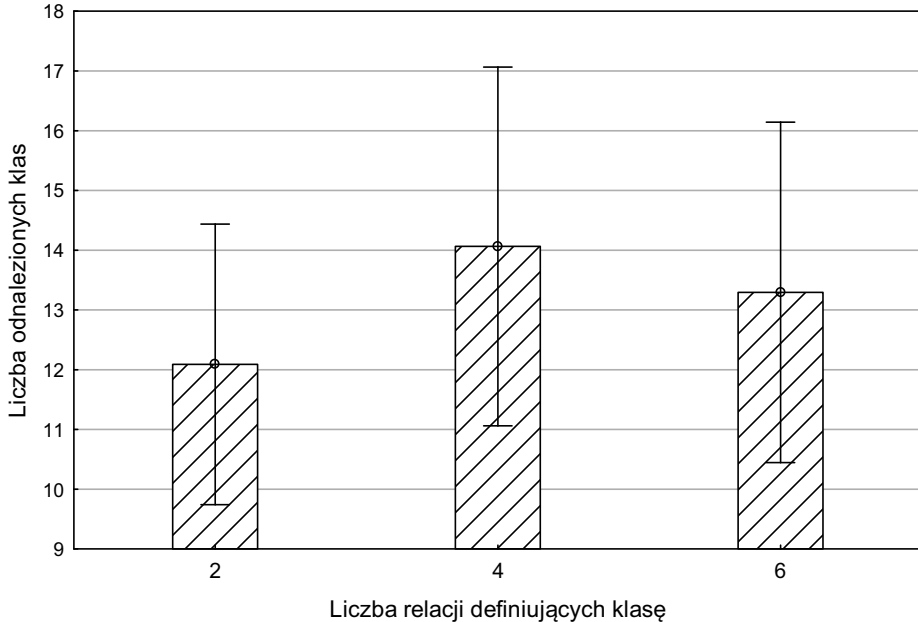


Ryc. 47. Średnia poprawność w zadaniu *FSCT-B* w zależności od liczby relacji definiujących trzy-elementową klasę ($F(2, 76) = 4,49, p < 0,02$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

zarówno na złożoność bodźców (liczba elementów), jak i na złożoność relacji (liczba relacji) między nimi. Pytanie, dlaczego związki te okazały się krzywoliniowe, stanowi zagadkę. Być może zadanie już w najprostszym jego wariacie było względnie trudne, więc analiza już tylko trzech elementów figury albo dwóch relacji zachodzących między nimi (poziom pierwszy) prowadziła do znaczącego obciążenia WM. Dalsza manipulacja obydwoma czynnikami zmuszała osoby badane do redukcji złożoności zadania klasyfikacyjnego, aby stało się ono wykonalne. W przypadku sześciu elementów definiujących albo trzech relacji (poziom drugi), redukcja złożoności prowadziła do niewielkiej poprawy poziomu wykonania (więcej odnalezionych klas), choć w jednym z wariantów (*FSCT-A*) odbyło się to kosztem wydłużenia czasu reakcji. Jak wspomniano, redukcja tego rodzaju może niekiedy sprzyjać procesowi abstrahowania, a nawet być podstawą nabywania nowej wiedzy. I ona jednak niekiedy zawodzi (poziom trzeci – dziewięć elementów albo cztery relacje), ponieważ taka złożoność nie zawsze może być efektywnie zredukowana.

Redukcja taka – gdyby założyć, że wystąpiła – byłaby bardziej kosztowna dla procesów kontrolnych WM w warunkach manipulacji liczbą elementów definicyjnych, lecz już niekoniecznie liczbą relacji. Precyzując, w obu wariantach zadania proces rozumowania relacyjnego wymaga kontroli (w obu wystąpiła różnica w poprawności klasyfikacji w wyniku wprowadzenia zadania wtórnego), ale tylko w warunkach rosnącej liczby elementów koszt redukcji złożoności byłby związany z obciążeniem



Ryc. 48. Średnia poprawność w zadaniu FSCT-A w zależności od liczby elementów definiujących figurę i liczby zadań jednoczesnych ($F(2, 82) = 7,59, p < 0,001$). Pionowe słupki oznaczają 95-procentowe przedziały ufności.

Źródło: opracowanie własne.

centralnego systemu wykonawczego. Wydaje się – wciąż pozostając na gruncie hipotetycznego mechanizmu redukcji – że w zadaniu FSCT-A silnemu hamowaniu musi podlegać lawinowo rosnąca liczba aktywowanych elementów definiujących. Są to cechy fizyczne (rzadziej semantyczne), takie jak określone kształty, kolory itd., zatem aktywacja dokonuje się automatycznie, a ponieważ klasyfikacja wymaga uwzględnienia tylko jednej z nich, reszta musi zostać wyhamowana. System poznawczy ponosi koszty takiej redukcji proporcjonalne do liczby hamowanych cech (elementów tworzących figurę). Z kolei relacje między figurami, jak się wydaje, muszą zostać aktywnie wzbudzone w klasyfikowanym materiale. Przyjmując, że warunek dwóch i trzech relacji drenował możliwości pojemnościowe WM, dalsze zwiększanie liczby relacji prowadziło do ich redukcji, nie sprawdzając się w warunkach czterech relacji. Pod względem obciążenia systemu kontrolnego zadanie FSCT-B we wszystkich warunkach manipulacji liczbą relacji byłoby jednolite, a wykonanie zadania opierało się na pojemnej (albo nie) pamięci roboczej. O ile wyjaśnienie krzywoliniowych związków między manipulacją specyficznymi czynnikami zadań FSCT-A i FSCT-B jest hipotetyczne, o tyle istotność rezultatów głównych w obu zadaniach oraz interakcja z czynnikiem zadań jednoczesnych w drugim z nich potwierdza przyjęte założenia.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują na złożony związek funkcjonowania WM z poziomem wykonania zadań dywergencyjnych wymagających rozumowania. W świetle wyników eksperymentu 3.2 wydaje się, że zarówno liczba elementów definiujących materiał figuralny, która wpływa na jego złożoność, jak i liczba relacji definiujących trzyelementową klasę wiążą się z udziałem pamięci roboczej. Ostrożnie można przyjąć, że złożoność stymulacji (przy tylko jednej relacji istotnej dla klasyfikacji) obciąża system kontrolny kosztami hamowania nieistotnych wymiarów bodźca, złożoność relacji obciąża natomiast system pamięciowy WM koniecznością utrzymania większej ich liczby. Dodatkowo nakłada się na to mechanizm redukcji złożoności zadania, jeśli liczba relacji do rozpatrzenia wynikająca ze złożoności bodźca albo liczba relacji, które jednocześnie muszą być uwzględnione, przekracza możliwości poznawcze jednostki.

Wyniki eksperymentu 3.1 wskazują z kolei na podstawowe znaczenie rodzaju i liczby relacji dla procesu dywergencyjnego rozumowania przez analogię. W świetle uzyskanych wyników etap odwzorowania związany z wygenerowaniem członu C z uwzględnieniem relacji A : B wydaje się obciążać WM w największym stopniu. Jeśli założyć, że w tym etapie dochodzi do ustalenia relacji wyższego rzędu pozwalającej na selektywne przeniesienie relacji A : B na C : D, są to co najmniej dwie relacje.

Na podstawie uzyskanych rezultatów eksperymentu 3.2 postulowany przez Oberauera (Oberauer, Süß, Wilhelm, Sander, 2007) mechanizm integracji relacyjnej można rozbudować o wyjaśnienie dotyczące nie tylko innego rodzaju zadań niż użyte do metaanalizy wykonanej przez badacza, ale również o szczególne warunki, w jakich zachodzi ten proces. Wydaje się, że WMC ma istotny udział w rozumowaniu, który można syntetycznie ująć jako tworzenie nowych relacji między wieloma elementami reprezentującymi zadanie w celu integracji ich w nową strukturę. Udział WM w tym procesie jest związany zarówno ze złożonością (liczbą) relacji, dla której krytyczna jest pojemność WM, jak i ze złożonością materiału (liczba cech/elementów definicyjnych), która z kolei bardziej angażuje procesy kontrolne. Przeprowadzone badania nie pozwalają zidentyfikować, które z wielu postulowanych procesów kontrolnych biorą udział w zadaniu – nie to było zresztą ich głównym celem. Niemniej wszystkie procesy wyodrębnione przez Oberauera, to jest równoczesne przechowywanie i przetwarzanie (*simultaneous storage and processing*), nadzór (*supervision*) oraz koordynacja (*coordination*), wydają się konieczne. Po pierwsze, zadanie wymaga jednoczesnego przetwarzania (sprawdzania relacji z uwzględnieniem kolejnych cech materiału) i przechowywania (odnalezionych relacji mogących się stać podstawą klasyfikacji), szczególnie w zadaniu FSCT-B, w którym manipulowano liczbą relacji. Ponieważ zarówno w warunku jednej relacji (FSCT-A), a tym bardziej wielu relacji (FSCT-B), osoba badana nie wie, ile relacji musi użyć oraz czy przetwarzając kolejne cechy, nie trafi na takie, które spowodują falsyfikację przyjętej hipotezy roboczej o związku między wybranymi elementami zadania, mechanizm ten ma udział w obu wariantach zadania. Po drugie, wymaga nadzoru, który w tym przypadku polega między innymi

na hamowaniu aktywacji cech bodźca automatycznie wzbudzonych w fazie jego kodowania, o ile okażą się irrelevantne dla relacji. W zadaniu FSCT-A większość z nich okazuje się nieistotna, a ze względu na rosnącą w wyniku manipulacji eksperymentalnej liczbę cech dystrakcyjnych wymagania względem systemu kontrolnego także rosną. Również w zadaniu FSCT-B hamowaniu podlegają nieistotne wymiary bodźca, ale – skoro każdy bodziec jest zdefiniowany przez taką samą liczbę cech – stwierdzono ogólny wpływ procesów kontroli niezależny od manipulacji liczbą relacji. Po trzecie, udział mechanizmu koordynacji, zasadniczy zdaniem Oberauera w procesie integracji relacyjnej, wynika bardziej z natury zadania i stanowi o istocie rozumowania, w którym jest konieczne ustalenie złożonych relacji.

Robocza synteza – zarys modelu teoretycznego

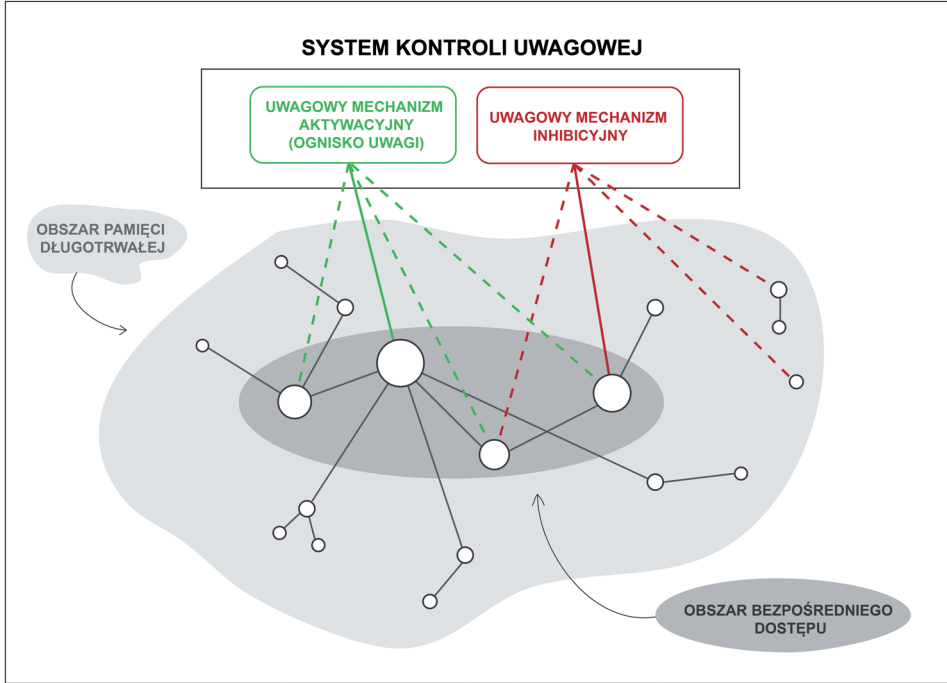
Na koniec chciałbym zaproponować zarys ogólnego modelu funkcjonowania mechanizmu pamięciowego WM, który byłby roboczą syntezą wyników uzyskanych w trzech obszarach badawczych przedstawionych w monografii. Wydaje się, że dla takiej próby może być interesujące jednoczesne uwzględnienie struktury systemu pamięciowego WM, w której są realizowane procesy pamięciowe, przede wszystkim kodowania, utrzymywania i wydobywania (przeszukiwania) informacji, zachodzące w realizacji zarówno elementarnych, jak i złożonych zadań systemu poznawczego. Z oczywistych względów propozycja teoretyczna jest ograniczona do wąskiego obszaru materiału empirycznego zgromadzonego w literaturze przedmiotu i w badaniach własnych. Biorąc pod uwagę zarówno pierwsze, jak i drugie, procesy elementarne zachodzące w podsystemie pamięciowym były analizowane z uwzględnieniem różnego rodzaju (werbalny/niewerbalny), znajomości (znany/nieznany) czy podobieństwa materiału, jego rozmiaru i czasu prezentacji. O elementarności zadań poznawczych z uwzględnieniem między innymi tych właściwości decyduje brak odniesienia do celów zachowania. Innymi słowy, zakodowanie, utrzymanie i wydobycie informacji z podsystemu pamięciowego WM jest jedynym i ostatecznym celem zadania. Wydaje się również, że relacje między elementami zadań pamięciowych są raczej zmienną zakłócającą (na przykład pozwalającą na stosowanie mnemotechnik) niż istotną charakterystyką materiału. To zrozumiałe, gdy założymy, że relacja – jeśli nie jest uprzednio znana osobie badanej – wymaga procesu abstrahowania, co pochłania zasoby przetworzeniowe oraz stanowi osobny element, który obciąża (kiedy staje się dodatkowym elementem zestawu pamięciowego) albo odciąża (gdy zastępuje część albo całość zestawu, na przykład zestaw liter jednym słowem) podsystem pamięciowy WM.

W złożonych zadaniach poznawczych podsystem pamięciowy WM odgrywa natomiast rolę „służalczą” w stosunku do celu, jakim jest realizacja innego zadania, na przykład wyabstrahowanie reguły, podjęcie decyzji, wyciągnięcie wniosku z przesłanek. Niewątpliwie oprócz systemu pamięciowego w wykonywaniu tego rodzaju zadań zachodzi konieczność realizacji złożonych procesów przetwarzania informacji

i ich kontroli. Mimo że nie było to celem moich badań, wydaje się, iż konieczność kontroli procesów pamięciowych niższego rzędu wynika niejako oddolnie z uzyskanych rezultatów badań, a nie na przykład z arbitralnie przyjętego modelu kontroli w pamięci roboczej. Istotna jest również, jak się wydaje, konieczność abstrahowania relacji zachodzących w obrębie elementów przechowywanych w WM.

W propozycji tej kryje się z pewnością wiele założeń, które wiążą się z aktualnym poziomem rozwoju psychologii poznawczej jako paradygmatu naukowego. Niemniej, przyjmując je – również roboczo – wydaje się, że analizując jakiegokolwiek funkcje czy procesy systemu poznawczego, istotne jest to, w jakiej strukturze są one realizowane. W przypadku pamięci roboczej zakłada się, że jest to struktura poznawcza, która jest odpowiedzialna za realizację procesów zarówno kontrolowanego, jak i – pewnej klasy – automatycznego przetwarzania informacji (por. Cowan, 2005a). Jest ona – mówiąc metaforycznie – rodzajem roboczego „poła umysłowego”, w którym między innymi jest możliwe badanie relacji i integracja różnych modalności, choć z badań neuropsychologicznych wynika, że na poziomie mózgowym są one przetwarzane w różnych strukturach. Właśnie z tego powodu pamięć robocza jest niezwykle atrakcyjnym konstruktem, który miałby tłumaczyć, jak możliwe jest zarówno ustalenie relacji między bodźcami różnych modalności (zasadniczej na przykład dla nabywania języka relacji obraz – słowo), jak i realizacja procesów rozumowania.

O strukturze systemu pamięci roboczej wnioskować można wyłącznie z analizy procesów, które – w założeniu – mają ją angażować. Zatem pomimo podziału, jakiego dokonano pomiędzy I i II częścią tej monografii, metodologia badań poświęconych strukturze i procesom pamięci roboczej jest spójna, co zresztą było jednym z założeń podjętych programów badawczych. W kwestii struktury WM moja propozycja teoretyczna nie odbiega zasadniczo od modeli aktywacyjnych, przy czym w świetle badań opisanych w I części najbliższa wydaje się propozycja Oberauera (zob. ryc. 49). W krótkotrwałym przechowywaniu informacji zasadniczy wydaje się mechanizm aktywacji, który ma charakter automatyczny i w zależności od bogactwa posiadanych reprezentacji wiedzy powiązanej z eksponowanym materiałem powoduje pobudzenie nie tylko tego, co pojawia się w zadaniu pamięciowym, ale także szerszej sieci reprezentacji poznawczych. Dlatego materiał bardzo dobrze znany, jakim są litery, cyfry, słowa czy obrazy, powoduje – jeśli czas jego ekspozycji jest odpowiednio długi – szerokie pobudzenie LTM, którego, jak się zakłada, WM jest aktywną częścią. To z jednej strony wyjaśnia, dlaczego struktury wiedzy eksperckiej pozwalają na kodowanie stosunkowo rozległego materiału, a z drugiej – dlaczego innego rodzaju materiał, na przykład heksagramy czy ideogramy, nie ma szans na efektywne kodowanie w zadaniach pamięciowych. Materiał ten nie ma reprezentacji w LTM, a jego podstawowa cecha (nazwa kategorii) nie jest dystynktywna w późniejszym wydobyciu. Szybka, jednokrotna prezentacja nie pozwala na zakodowanie takich cech materiału, które byłyby dystynktywne. Najważniejsze wydaje się zatem podobieństwo elementów pamięciowych, które generuje trudne do dyskryminacji wzorce aktywacji. Manipulacja eksperymentalna podobieństwem



Ryc. 49. Roboczy model pamięci roboczej będący modyfikacją modelu Klausu Oberauera.

Źródło: opracowanie własne.

materiału, na przykład fonologicznym czy fizycznym (takim jak wysokość prostokątów w eksperymencie 2.2), może mieć istotny wpływ na późniejsze wydobycie. Niskie podobieństwo pozwala na późniejsze bardziej efektywne wydobycie materiału, a wysokie podobieństwo efektywność tę zmniejsza. Stoi za tym hipotetyczny mechanizm korzystania z ogólnej aktywacji pochodzącej od elementów zestawu i poszukiwanego bodźca docelowego przynajmniej jako wskazówki do kontrolowanego przeszukiwania WM.

Mechanizm aktywacyjny jest krótkotrwały (aktywacja szybko spada w funkcji czasu) oraz podatny na interferencję. Dlatego aktywacja, jeśli nie towarzyszy jej kontrolowany proces podtrzymywania, szybko zanika, a taki materiał jak litery i cyfry, silnie interferując w obrębie danej próby i pomiędzy kolejnymi zestawami, jest trudny do efektywnego różnicowania, mimo że posiada jedną wyrazistą cechę dyskryminacyjną (nominał). Słowa czy złożone obrazy, jeśli będą ekspozowane relatywnie powoli, dzięki aktywacji reprezentacji wiedzy i kodowaniu ich cech dystynktywnych mają szansę na znacznie bardziej efektywne wydobycie niż choćby litery, które nie mają znaczeń, więc pobudzona struktura LTM jest relatywnie uboga.

Wydaje się jednak, że również jest możliwe kontrolowane aktywowanie informacji, które jest podstawą wolicjonalnego wydobywania wiedzy z LTM, ale też podtrzymania aktywacji informacji już wzbudzonej (na przykład elementów zestawu

pamięciowego lub innego zadania). Hipotetycznym mechanizmem odpowiedzialnym za ten proces jest mechanizm ogniska uwagi, który, jak sądzę, stanowi pierwszy konieczny proces przebiegający pod kontrolą uwagi. Mechanizm ten jest limitowany wydajnością i architekturą poznawczą – pozwala na pełną dostępność tylko jednego elementu w jednostce czasu, a jego przekierowanie na inny element odbywa się sekwencyjnie. Dlatego też to, co można z pełnym przekonaniem powiedzieć o „magicznej liczbie” rozumianej jako pojemność informacyjna WM, to że wynosi ona jeden. Na szczęście dzięki przerzutności ogniska uwagi jest możliwe utrzymanie zwiększonej dostępności jeszcze kilku elementów. Liczba ta zależy od rodzaju bodźców, a dokładnie od tego, czy dostępne są ich cechy dystynktywne. Dlatego dostępność dobrze znanego materiału jest większa (do czterech elementów) niż nieznanego (jeden, najczęściej ostatni, element). Jeśli w zadaniu nie ma wskazówek, które elementy są ważne, a ich liczba nie pozwala na utrzymanie wszystkich w obszarze bezpośredniego dostępu, ognisko uwagi korzysta z bieżącego rozkładu aktywacji w materiale, czyli najczęściej z pozycji elementu na liście.

Efekty pozycji, a szczególnie efekty pierwszeństwa i świeżości w WM, wskazują, że w typowych zadaniach pamięciowych każdy eksponowany element przechodzi przez ognisko uwagi, odgrywa ono zatem istotną rolę w kodowaniu materiału. Ograniczeniem mechanizmu kodowania jest nie tylko rodzaj i znajomość materiału, ale również rozmiar i tempo jego ekspozycji. Im większy jest jego rozmiar, tym mniej limitowanych zasobów systemu przypada na każdy z nich. Pierwszy z nich otrzymuje wszystko, co może wyjaśniać efekt pierwszeństwa, czyli większą jego dostępność, nawet jeśli rozmiar materiału przekracza pojemność obszaru bezpośredniego dostępu. Tempo ekspozycji może jednak i ten efekt zaburzyć, jeśli jest bardzo wysokie. Obie manipulacje – rozmiarem i tempem ekspozycji – oraz wspomniany rodzaj i znajomość materiału wpływają na efektywność procesu kodowania informacji i jej późniejszą dostępność. Wydaje się zatem, że pojemność obszaru bezpośredniego dostępu jest limitowana, ale jednocześnie nie jest stała, jeśli jej miarą jest liczba porcji informacji. Gdybyśmy tę pojemność umieli wyrazić w kategoriach ograniczeń procesu kontrolowanego zarządzania ogniskiem uwagi, miara ta byłaby być może bardziej precyzyjna, a przede wszystkim bliższa naturze owego ograniczenia.

Zapewne w większości naturalnych zadań poznawczych, w których bierze udział pamięć robocza, istnieją mniej lub bardziej wyraźne wskazania sugerujące, które elementy sytuacji są ważne i wymagają aktywnego podtrzymywania. Eksperymentalna manipulacja na przykład wyróżnieniem niektórych bodźców kolorem (eksperyment 1.4), jak się zdaje, jest wystarczającą wskazówką dla mechanizmu ogniska uwagi, aby nadać priorytet takim elementom. Takimi wskazówkami mogą być również bodźce użyte jako elementy poprzedzające semantycznie czy afektywnie zarówno wybrane elementy zestawu, jak i *probe* (eksperyment 1.3). Wskazania takie niejako z natury znajdują się w złożonym materiale. Jeśli jego elementy są definiowane przez wiele cech mogących stanowić podstawę efektywnej dyskryminacji, to wówczas proces kodowania oraz późniejszego wydobywania może być skuteczny nawet w większych zbiorach pamięciowych (eksperyment 2.3).

Poza obszarem bezpośredniego dostępu aktywacja elementów pamięciowych jest bardzo niska, co nie oznacza jednak całkowitej utraty dostępu do tego materiału. Ponownie wydaje się, że zależy to od tego, jak skuteczny był proces kodowania informacji. Jeśli jest to wiedza ekspercka, ale również na przykład złożone obrazy (choćby zastosowane w eksperymencie 2.3 zdjęcia z biblioteki IAPS), dostępność materiału może być nawet bardzo wysoka, co zapewne pozostaje w związku z pobudzeniem powiązanych z nią trwałych struktur reprezentacji wiedzy czy wzbudzonego pobudzenia emocjonalnego.

Bardzo istotny dla procesu wydobywania (przeszukiwania) informacji w systemie pamięciowym WM wydaje się postulowany powyżej proces kodowania materiału. W przeszukiwaniu WM konieczne jest zapewnienie jak najszybszego dostępu do wymaganych danych. Na podstawie analizy tego procesu z użyciem różnych bodźców można wnioskować, że mechanizm przebiega w dwóch albo trzech fazach. Pierwsza faza to proces automatycznego i równoległego indeksowania śladów pamięciowych oparty na ich ogólnym poziomie aktywacji. Jeśli kodowanie odbywa się ze względu na cechy dystynktywne dla późniejszego wydobywania, informacja ta może być istotna i – co więcej – może uniezależniać system od aktywacji związanej z efektem pozycji. Jeśli jednak kryterium wyszukania jest nieznanne w momencie ekspozycji, faza ta może być co najwyżej podpowiedzią dla kolejnego etapu, który jest już kontrolowanym i sekwencyjnym procesem porównania kolejnych śladów pamięciowych z bodźcem docelowym. Ponieważ dzieje się to dzięki ognisku uwagi, wyższa aktywacja może zmienić priorytet bodźca w tym procesie, ale nie jest wystarczającą podstawą do reakcji, choćby dlatego, że wysoka aktywacja (nawet zgodna z aktywacją *probe*) może wynikać z innych cech niż istotne dla kryterium wyszukania. Wysoka aktywacja pochodzi również od ostatniego elementu, który znajdował się w ognisku uwagi. Jeśli nie jest on *targetem*, jego aktywacja musi być wygaszona, aby system poznawczy mógł przejść do porównywania wzorca z kolejnym elementem. Wydaje się zatem, że proces hamowania jest więc drugim istotnym procesem kontrolnym, koniecznym w procesie wydobywania informacji z WM. Pozwala on na powstrzymanie się od automatycznej reakcji opartej na silnej aktywacji czy „poczuciu znajomości”, które mogą pochodzić od dystraktorów. Jeśli faza sekwencyjna prowadzi do odnalezienia *targetu*, przeszukiwanie jest wygaszane (dzięki hamowaniu). W przeciwnym razie jest uruchamiana dodatkowa faza polegająca na ponownym równoległym przeszukaniu obszaru znajdującego się poza obszarem bezpośredniego dostępu. Zastosowanie kontrolowanego przeszukiwania jest wówczas niemożliwe ze względu na niedostępność cech stanowiących podstawę mechanizmu przypomnienia. Jeśli jednak aktywność pewnej informacji jest wyższa od progowej, wskazówką wówczas dostępną jest szczytkowa aktywacja ogólna. Proces ten ma architekturę równoległą, więc może objąć jednocześnie cały podzbiór elementów poza obszarem bezpośredniego dostępu, zanim jego aktywacja zostanie wygaszona do poziomu bazowego. Jest to ostatnia okazja do odnalezienia *targetu*, chociaż – ze względu na mało wyrafinowany charakter mechanizmu oceny znajomości – istnieje wysokie ryzyko błędu w tym procesie.

W złożonych zadaniach, którymi w badaniach własnych były zadania indukcyjne o charakterze dywergencyjnym, pamięć robocza pełni bardzo istotne funkcje. Abstrahując od funkcji kontrolnych, wydaje się, że mechanizm ogniska uwagi, który pozwala na dostęp do kilku elementów zadania, jest kluczowy dla możliwości odkrycia relacji łączącej wybrane elementy zadania. Zakładając, że ustalenie relacji jest możliwe przez badanie związków między wyabstrahowanymi cechami elementów zadania, system musi mieć dostęp do co najmniej dwóch takich elementów. Im bardziej złożone relacje (czy choćby ich liczba), tym bardziej zadanie obciąża system WM. Również złożoność samych elementów (liczba cech definicyjnych) wpływa na to obciążenie, a relacja jest wówczas jednostką informacji, która sama wymaga aktywnego podtrzymania. Dlatego manipulacja liczbą relacji prowadzi do szybkiego pogorszenia wykonania, co stanowi kryterium oceny w niektórych metodach diagnostycznych. Obciążenie WM większą liczbą relacji może przekroczyć – indywidualnie zmienny – zakres obszaru bezpośredniego dostępu. Większa liczba cech, wymagająca hamowania cech i relacji dystrakcyjnych, może natomiast stanowić innego rodzaju ograniczenie, które również może prowadzić do pogorszenia wykonania.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że dwa konieczne procesy kontrolne WM to nadzór nad kontrolowanym aktywowaniem informacji w celu podtrzymania jej dostępności oraz hamowanie informacji dystrakcyjnej. W tym drugim przypadku dystrakcja może pochodzić od nieistotnych cech bodźca, ale również od irrelevantnych relacji pomiędzy tymi cechami. Zauważmy, że są to mechanizmy krytyczne, istotne na przykład w procesach abstrahowania pozytywnego (aktywacja cech) i negatywnego (hamowanie cech), które są podstawą uczenia się w ontogenezie. Są to też, jak się wydaje, najistotniejsze procesy dla postulowanej przez Oberauera integracji relacyjnej (relacje oparte są przecież na wyabstrahowanych cechach). Mechanizmy te są jednocześnie składowymi innych postulowanych funkcji kontrolnych pamięci roboczej, na przykład aktualizacji. Proces ten wymaga ciągłego i efektywnego hamowania aktywacji pewnego bodźca i kontrolowanego aktywowania innego, który – jak na przykład w zadaniu *n-wstecz* – nie musi być ostatnim prezentowanym. Dlatego też nie tylko proces hamowania, ale i aktywowania informacji musi podlegać silnej kontroli (przewyciężającej automatyczną aktywację pochodzącą od ostatniego bodźca).

Przedstawiona propozycja syntezy jest nie tylko robocza, ale również zasadniczo ograniczona do zgrupowanego materiału empirycznego. Niemniej już w tej postaci generuje nowe pomysły badawcze, co – mam nadzieję – będzie jej (zapewne) krótkotrwałym wkładem w rozwój tej niezwykle fascynującej problematyki.

BIBLIOGRAFIA

- Ackerman P.L., Beier M.E., Boyle M.O. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, s. 567–589.
- Ackerman P.L., Beier M.E., Boyle M.O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131, s. 30–60.
- Allen R.J., Baddeley A.D., Hitch G.J. (2006). Is the binding of visual features in working memory resource-demanding? *Journal of Experimental Psychology: General*, 135(2), s. 298–313.
- Allen R.J., Hitch G.J., Baddeley A.D. (2009). Cross-modal binding and working memory. *Visual Cognition*, 17, s. 83–102.
- Anderson J.R. (1976). *Language, Memory, and Thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson J.R., Bower G.H. (1973). *Human Associative Memory*. Washington, DC: Winston and Sons.
- Anderson J.R., Lebiere Ch. (1998). *The Atomic Components of Thought*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Armour-Thomas E., Allen B.A. (1990). Componential analysis of analogical-reasoning performance of high and low achiever. *Psychology in the Schools*, 27, s. 269–275.
- Ash I.K., Wiley J. (2006). The nature of restructuring in insight: An individual – differences approach. *Psychonomic Bulletin and Review*, 13, s. 66–73.
- Atkinson R.C., Juola J.F. (1974). Search and retrieval processes in recognition memory. W: D.H. Krantz, R.C. Atkinson, R.D. Luce, P. Suppes (red.), *Contemporary Developments in Mathematical Psychology. Vol. 1. Learning, Memory and Thinking* (s. 243–293). San Francisco, CA: Freeman.
- Atkinson R.C., Shiffrin R.M. (1968). Human memory: a proposed system and its control processes. W: K.W. Spence (red.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (s. 89–195). New York: Academic Press.
- Baddeley A.D. (1966). Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic, and formal similarity. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 18(4), s. 362–365.
- Baddeley A.D. (1986). *Working Memory*. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley A.D. (1993). Working memory or working attention? W: A. Baddeley, L. Weiskrantz (red.), *Attention: Selection, Awareness, and Control. A Tribute to Donald Broadbent* (s. 152–170). Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley A.D. (1998). *Pamięć. Poradnik użytkownika*. Warszawa: Prószyński i S-ka.
- Baddeley A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, s. 417–423.
- Baddeley A.D. (2001). Is working memory still working? *European Psychologist*, 7, s. 85–97.
- Baddeley A.D. (2007). *Working Memory, Thought, and Action*. Oxford: Oxford University Press.

- Baddeley A.D., Della Sala S. (1998). Working memory and executive control. W: A.C. Roberts, T.W. Robbins, L. Weiskrantz (red.), *The Prefrontal Cortex. Executive and Cognitive Functions* (s. 9–21). Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley A.D., Hitch G.T. (1974). Working memory. W: G.A. Bower (red.), *The Psychology of Learning and Motivation* (t. 2, s. 47–90). New York: Academic Press.
- Baddeley A.D., Logie R.H. (1999). Working memory: The multiple-component model. W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (s. 28–61). Cambridge: Cambridge University Press.
- Baddeley A.D., Thomson N., Buchanan M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, s. 575–589.
- Baddeley A.D., Vallar G., Wilson B. (1987). Sentence comprehension and phonological memory: some neuropsychological evidence. W: M. Coltheart (red.), *Attention and Performance* (t. 12, s. 509–529). Hove: Lawrence Erlbaum.
- Baddeley A.D., Wilson B.A. (2002). Prose recall and amnesia: Implications for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, 40, s. 1737–1743.
- Bahar M., Hansel M.H. (2000). The relationship between some psychological factors and their effect on the performance of grid questions and word association tests. *Educational Psychology*, 20, s. 349–364.
- Balas R., Orzechowski J., Stettner Z., Piotrowski K.T., Nęcka E. (2003, wrzesień). *Attentional mechanisms of access to the information stored in working memory*. XIIIth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Granada.
- Balas R., Stettner Z., Orzechowski J., Piotrowski K.T. (2005). *Limited capacity of focal attention in working memory*. XIVth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Leiden, August 31–September 3.
- Balas R., Stettner Z., Piotrowski K.T. (2005). Ognisko uwagi w pamięci roboczej a efekt pozycji. *Studia Psychologiczne*, 43, s. 85–89.
- Bar M. (2003). A cortical mechanism for triggering top-down facilitation in visual object recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, s. 600–609.
- Bargh J.A. (1999). Automatyzmy dnia powszedniego. *Czasopismo Psychologiczne*, 5, s. 209–256.
- Barrouillet P. (1996). Transitive inferences from set-inclusion relations and working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, s. 1408–1422.
- Barrouillet P., Bernardin S., Camos V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, s. 83–100.
- Barrouillet P., Lecas J.F. (1998). How can mental models account for content effects in conditional reasoning: A developmental perspective. *Cognition*, 67, s. 209–253.
- Barrouillet P., Lecas J.F. (1999). Mental models in conditional reasoning and working memory. *Thinking and Reasoning*, 5(4), s. 289–302.
- Blanchette I., Dunbar K. (2002). Representational change and analogy: How analogical inferences alter target representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, s. 672–685.
- Bloom P. (1999). Language capacities: Is grammar special? *Current Biology*, 9, s. 127–128.
- Bloom L.C., Watkins M.J. (1999). Two-components theory of the suffix effect: Contrary findings. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 25, s. 1452–1474.

- Borella E., Carretti B., Mammarella I.C. (2006). Do working memory and susceptibility to interference predict individual differences in fluid intelligence? *European Journal of Cognitive Psychology*, 18, s. 51–69.
- Braine M.D.S., Rumain B. (1983). Logical reasoning. W: J.H. Flavell, E.M. Markman (red.), *Handbook of Child Psychology. Cognitive Development* (t. 3, s. 263–399). New York: John Wiley & Sons.
- Braver T.S., Cohen J.D., Nystrom L.E., Jonides J., Smith E.E., Noll D.C. (1997). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *NeuroImage*, 5, s. 49–62.
- Brookes M.J., Wood J.R., Stevenson C.M., Zumer J.M., White T.P., Liddle P.F., Morris P.G. (2011). Changes in brain network activity during working memory tasks: A magnetoencephalography study. *NeuroImage*, 55(4), s. 1804–1815.
- Buehner M., Krumm S., Pick M. (2005). Reasoning = working memory \neq attention. *Intelligence*, 33, s. 251–272.
- Burrows D., Okada R. (1971). Serial position effects in high-speed memory search. *Perception & Psychophysics*, 10, 305–308.
- Capaldi E.J., Neath I. (1995). Remembering and forgetting as context discrimination. *Learning & Memory*, 2, s. 107–132.
- Capon A., Handley S., Dennis I. (2003). Working memory and reasoning: An individual differences perspective. *Thinking and Reasoning*, 9, s. 203–244.
- Carroll L.M., Jalbert A., Penney A.M., Neath I., Surprenant A.M., Tehan G. (2010). Evidence for proactive interference in the focus of attention of working memory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 64, s. 208–214.
- Case R., Kurland M., Goldberg J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, s. 386–404.
- Cave K.R., Wolfe J.M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, s. 225–271.
- Charness N. (1979). Components of skill in bridge. *Canadian Journal of Psychology*, 33, s. 1–16.
- Charness N. (1981). Search in chess: Age and skill differences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, s. 467–476.
- Chase W.G., Ericsson K.A. (1982). Skill and working memory. W: G.H. Bower (red.), *The Psychology of Learning and Motivation* (t. 16, s. 1–58). New York: Academic Press.
- Chase W.G., Simon H.A. (1973). Perception in chess. *Cognitive Psychology*, 4, s. 55–81.
- Chen Z., Cowan N. (2009). Core verbal working memory capacity: The limit in words retained without covert articulation. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, s. 1420–1429.
- Chuderski A., Nęcka E. (2010). Intelligence and cognitive control. W: A. Gruszka, G. Matthews, B. Szymura (red.), *Handbook of Individual Differences in Cognition* (s. 263–282). New York: Springer.
- Chuderski A., Orzechowski J. (2005). Mechanizm dwufazowego przeszukiwania pamięci roboczej – model obliczeniowy. *Studia Psychologiczne*, 43, s. 37–50.
- Chuderski A., Orzechowski J. (2009). Sprawność pamięci roboczej a poziom inteligencji ogólnej. W: J. Orzechowski, R. Balas, K. Piotrowski, Z. Stettner (red.), *Pamięć robocza* (s. 181–202). Warszawa: Academica.

- Chuderski A., Stettner Z., Orzechowski J. (2007). Computational modeling of individual differences in short term memory search. *Cognitive Systems Research*, 8, s. 161–173.
- Chuderski A., Stettner Z., Orzechowski J. (2008). *Bipartite structure of working memory*. Proceedings of 30th Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Washington, USA, July 23–26.
- Chuderski A., Taraday M., Nęcka E., Smoleń T. (2012). Storage capacity explains fluid intelligence but executive control does not. *Intelligence*, 40, s. 278–295.
- Clifton C., Birenbaum S. (1970). Effects of serial position and delay of probe in a memory scan task. *Journal of Experimental Psychology*, 86, s. 69–76.
- Cocchini G., Logie R.H., Della Sala S., MacPherson S.E., Baddeley A.D. (2002). Concurrent performance of two memory tasks: Evidence for domain-specific working memory systems. *Memory and Cognition*, 30, s. 1086–1095.
- Cohen G., Kiss G., LeVoi M. (1993). *Memory – Current Issues*. Buckingham: Open University Press.
- Cohen J.D., Forman S.D., Braver T.S., Casey B.J., Servan-Schreiber D., Noll D.C. (1994). Activation of the prefrontal cortex in a nonspatial working memory task with functional MRI. *Human Brain Mapping*, 1, s. 293–304.
- Cohen J.D., Perlstein W.M., Braver T.S., Nystrom L.E., Noll D., Jonides J., Smith E.E. (1997). Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, 386, s. 604–608.
- Colom R., Abad F.J., Rebollo I., Shih P.C. (2005). Memory span and general intelligence: A latent variable approach. *Intelligence*, 33, s. 623–642.
- Colom R., Rebollo I., Palacios A., Juan-Espinosa M., Kyllonen P.C. (2004). Working memory is (almost) perfectly predicted by g. *Intelligence*, 32, s. 227–296.
- Conrad R. (1963). Acoustic confusions and memory span for words. *Nature*, 197, s. 1029–1030.
- Conrad R. (1971). The effect of vocalizing on comprehension in the profoundly deaf. *British Journal of Psychology*, 62, s. 147–150.
- Conrad R., Hull A.J. (1964). Information, acoustic confusion, and memory span. *British Journal of Psychology*, 55, s. 429–432.
- Conway A.R.A., Cowan N., Bunting M.F., Theriault D.J., Minkoff S.R.B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, 30, s. 163–183.
- Conway A.R.A., Engle R.W. (1994). Working memory and retrieval: A resource – dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, s. 354–373.
- Conway A.R.A., Jarrold C., Kane M.J., Miyake A., Towse J.N. (2007). Variation in working memory: An introduction. W: A.R.A. Conway, C. Jarrold, M.J. Kane, A. Miyake, J.N. Towse (red.), *Variation in Working Memory* (s. 3–17). Oxford: Oxford University Press.
- Conway A.R.A., Kane M.J., Bunting M.F., Hambrick D.Z., Wilhelm O., Engle R.W. (2006). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12, s. 769–786.
- Corballis M.C., Kirby J., Miller A. (1972). Access to the elements of the memorized list. *Journal of Experimental Psychology*, 94, s. 185–190.
- Corbetta M., Kincade J.M., Shulman G.L. (2002). Neural systems for visual orienting and their relationships to spatial working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, s. 508–523.

- Cosmides L., Tooby J. (1992). Cognitive adaptation of social exchange. W: J.H. Barkow, L. Cosmides, J. Tooby (red.), *Adapted Mind: Evolutionary Psychology and the Generation of Culture* (s. 163–228). London: Oxford University Press.
- Cosmides L., Tooby J. (1994). Origins of domain specificity: The evolution of functional organization. W: L.A. Hirschfeld, S.A. Gelman (red.), *Mapping the Mind: Domain Specificity in Cognition and Culture* (s. 85–116). New York: Cambridge University Press.
- Cowan N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104, s. 163–191.
- Cowan N. (1993). Activation, attention, and short-term memory. *Memory & Cognition*, 21, s. 162–167.
- Cowan N. (1995). *Attention and Memory: An Integrated Framework*. Oxford: Oxford University Press.
- Cowan N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, s. 87–185.
- Cowan N. (2005a). *Working Memory Capacity*. Hove, East Sussex: Psychology Press.
- Cowan N. (2005b). Understanding intelligence: A summary and an adjustable-attention hypothesis. W: O. Wilhelm, R.W. Engle (red.), *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (s. 469–488). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Cowan N. (2005c). Working-memory capacity limits in a theoretical context. W: C. Izawa, N. Ohta (red.), *Human Learning and Memory: Advances in Theory and Application*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Cowan N. (2007). What can infants tell us about working memory development? W: L.M. Oakes, P.J. Bauer (red.), *Short- and Long-term Memory in Infancy and Early Childhood: Taking the First Steps toward Remembering* (s. 126–150). New York: Oxford University Press.
- Cowan N., Elliott E.M., Saults J.S., Morey C.C., Mattox S., Hismjatullina A., Conway A.R.A. (2005). On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51, 42–100.
- D’Esposito M., Postle B.R. (1999). The dependence of the mnemonic components of working memory on prefrontal cortex. *Neuropsychologia*, 37, s. 89–101.
- Daneman M., Carpenter P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, s. 450–466.
- Daneman M., Merikle P.M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3, s. 422–433.
- Das J.P., Kirby J.R., Jarman R.F. (1975). Simultaneous and successive syntheses: An alternative model for cognitive abilities. *Psychological Bulletin*, 82, s. 87–103.
- DeYoung C.G., Flanders J.L., Peterson J.B. (2008). Cognitive abilities involved in insight problem solving: An individual differences model. *Creativity Research Journal*, 20, s. 278–290.
- Dolan R.J. (2000). Emotional processing in the human brain revealed through functional neuroimaging. W: M.S.E. Gazzaniga (red.), *The New Cognitive Neurosciences* (s. 1115–1131). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Donders F.C. (1968). Die Schnelligkeit psychischer Prozesse. *Archiv für Anatomie und Physiologie und wissenschaftliche Medizin*, s. 657–681.
- Drachman D.A., Zaks M.S. (1967). The “memory cliff” beyond span in immediate recall. *Psychological Reports*, 21, s. 105–112.

- Driver J., McLeod P. (1992). Reversing visual search asymmetries with conjunctions of movement and orientation. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 18, s. 22–33.
- Ebbinghaus H. (1885/1913). *Memory: A Contribution to Experimental Psychology*. New York: Columbia University.
- Egeth H., Jonides J., Wall S. (1972). Parallel processing of multielement display. *Cognitive Psychology*, 3, s. 674–698.
- Ekman P., Friesen W.V. (1976). *Pictures of Facial Affect*. Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
- Ellis N.C., Hennelly R.A. (1980). A bilingual word-length effect: Implications for intelligence testing and the relative ease of mental calculations in Welsh and English. *British Journal of Psychology*, 71, s. 43–52.
- Elman J. (1993). Learning and development in neural networks: The importance of starting small. *Cognition*, 48, s. 71–99.
- Engle R.W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current Directions in Psychological Science*, 11, s. 19–24.
- Engle R.W. (2010). Role of working-memory capacity in cognitive control. *Current Anthropology*, 51, s. 17–26.
- Engle R.W., Cantor J., Carullo J.J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 18, s. 972–992.
- Engle R.W., Kane M.J., Tuholski S.W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. London: Cambridge Press.
- Engle R.W., Oransky N. (1999). The evolution from short-term to working memory: Multi-store to dynamic models of temporary storage. W: R. Sternberg (red.), *The Nature of Human Cognition* (s. 514–555). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Engle R.W., Tuholski S.W., Laughlin J.E., Conway A.R.A. (1999). Working memory, short term memory and general fluid intelligence: A latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, s. 309–331.
- Ericsson K.A. (1985). Memory skill. *Canadian Journal of Psychology*, 39, s. 188–231.
- Ericsson K.A. (1988). Analysis of memory performance in terms of memory skill. W: R.J. Sternberg (red.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence* (t. 5, s. 137–179). Hillsdale: Erlbaum.
- Ericsson K.A., Delaney P.F. (1999). Long-term working memory as an alternative to capacity models of working memory in everyday skilled performance. W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (s. 257–297). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Ericsson K.A., Kintsch W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, s. 211–245.
- Evans J.St.B.T. (2002). Logic and human reasoning: An Assessment of the deduction Paradigm. *Psychological Bulletin*, 128, s. 978–996.
- Evans J.St.B.T., Brooks P.G. (1981). Competing with reasoning: A test of the working memory hypothesis. *Current Psychological Research*, 1, s. 139–147.

- Farah M. (1988). Is visual imagery really visual? Overlooked evidence from neuropsychology. *Psychological Review*, 95, s. 307–317.
- Forrin B., Cunningham K. (1973). Recognition time and serial position of probed item in short-term memory. *Journal of Experimental Psychology*, 99, s. 272–279.
- Friedman N.P., Miyake A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, s. 101–135.
- Fry A.F., Hale S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7, s. 237–241.
- Gaissmaier W., Schooler L.J., Rieskamp J. (2006). Simple predictions fueled by capacity limitations: When are they successful? *Journal of Experimental Psychology*, 32, s. 966–982.
- Gathercole S.E. (1999). Cognitive approaches to the development of short-term memory. *Trends in Cognitive Science*, 3, s. 410–418.
- Gathercole S.E., Baddeley A.D. (1993). *Working Memory and Language*. Hove: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Gentner D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, s. 155–170.
- Gentner D. (1989). The mechanism of analogical learning. W: S. Vosnindon, A. Ortony (red.), *Similarity and Analogical Reasoning* (s. 199–241). New York: Cambridge University Press.
- Gentner D., Holyoak K., Kokinov B. (red.) (2001). *The Analogical Mind: Perspectives from Cognitive Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gilchrist A.L., Cowan N. (2011). Can the focus of attention accommodate multiple separate items? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, s. 1484–1502.
- Gilhooly K.J., Logie R.H., Wetherick N.E., Wynn V. (1993). Working memory and strategies in syllogistic-reasoning tasks. *Memory & Cognition*, 21, s. 115–124.
- Glass A.C., Millen D.R., Beck L.G., Eddy J.K. (1985). Representation of images in sentence verification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17, s. 245–262.
- Godlewska M., Ohme K.R. (1997). Odmienne efekty wpływu rozproszonego afektu: Zjawisko asymilacji i kontrastu. *Studia Psychologiczne*, 37, s. 43–58.
- Gray J.R., Chabris C.F., Braver T.S. (2003). Neural mechanisms of general fluid intelligence. *Nature Neuroscience*, 6, s. 316–322.
- Green A.E., Fugelsang J.A., Kraemer D.J.M., Shamos N.A., Dunbar K.N. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, s. 125–137.
- Griggs R.A., Cox J.R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology*, 73, s. 407–420.
- Guilford J.P. (1978). *Natura inteligencji człowieka*. Warszawa: PWN.
- Guilford R.N., Juola J.F. (1976). Familiarity effects on memory search and visual search. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 7, s. 142–144.
- Halford G.S., Mayberry M.T., Bain J.D. (1988). Set-size effects in primary memory: When reminders fail. *Memory and Cognition*, 16, s. 480–487.
- Halford G.S., Wilson W.H., Phillips S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, s. 803–864.

- Hambrick D.Z., Engle R.W. (2003). The role of working memory in problem solving. W: J.E. Davidson, R.J. Sternberg (red.), *The Psychology of Problem Solving* (s. 176–206). London: Cambridge University Press.
- Hambrick D.Z., Kane M.J., Engle R.W. (2005). The role of working memory in higher-level cognition: Domain-specific versus domain-general perspectives. W: R.J. Sternberg, J.E. Pretz (red.), *Cognition and Intelligence: Identifying the Mechanisms of the Mind* (s. 104–121). Cambridge: Cambridge University Press.
- Han S.W., Kim M.S. (2009). Do the contents of working memory capture attention? Yes, but cognitive control matters. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, s. 1292–1302.
- Hankała A. (2009). *Aktywność umysłu w procesach wydobywania informacji pamięciowych*. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
- Harris J.R., Shaw M.L., Altom M.J. (1985). Serial-position curves for reaction time and accuracy in visual search: Tests of a model of overlapping processing. *Perception and Psychophysics*, 38, s. 178–187.
- Hasher L., Lustig C., Zacks R.T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. W: A.R.A. Conway, C. Jarrold, M.J. Kane, A. Miyake, J.N. Towse (red.), *Variation in Working Memory* (s. 227–249). New York: Oxford University Press.
- Hasher L., Zacks R.T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. W: G.H. Bower (red.), *The Psychology of Learning and Motivation* (t. 22, s. 193–225). New York: Academic Press.
- Heitz R.P., Unsworth N., Engle R.W. (2005). Working memory capacity, attention control, and fluid intelligence. W: O. Wilhelm, R.W. Engle (red.), *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (s. 61–78). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Hertwig R., Todd P.M. (2003). More is not always better: the benefits of cognitive limits. W: L. Macchi, D. Hardman (red.), *The Psychology of Reasoning and Decision Making: A Handbook*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Hockley W.E. (1984). Analysis of response time distributions in the study of cognitive processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, s. 598–615.
- Hofstadter D.R., Mitchell M. (1994). The Copycat project: A model of mental fluidity and analogy-making. W: K. Holyoak, J. Barnden (red.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory*, vol. 2: *Analogical Connections* (s. 31–112). Norwood, NJ: Ablex Publishing Corporation.
- Holender D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioural and Brain Sciences*, 9, s. 1–66.
- Holyoak K.J., Nisbet R.E. (1988). Induction. W: R.J. Sternberg, E.E. Smith (red.), *The Psychology of Thinking* (s. 50–91). Cambridge: Cambridge University Press.
- Hovland C.I. (1938). Experimental studies in rote-learning theory. I. Reminiscence following learning by massed and distributed practice. *Journal of Experimental Psychology*, 22, s. 201–224.
- Jacoby L.L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30, s. 513–541.
- James W. (1890). *Principles of Psychology*. New York: Holt.
- Jha A.P., Kiyonaga A. (2010). Working-memory-triggered dynamic adjustments in cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36, s. 1036–1042.

- Johnson-Laird P.N. (1983). *Mental Models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird P.N. (1994). Mental models and probabilistic thinking. *Cognition*, 50, s. 189–209.
- Johnson-Laird P.N., Byrne R.M.J. (1991). *Deduction*. Hove, Sussex: Erlbaum.
- Jonides J., Lacey S.C., Nee D.E. (2005). Processes of working memory in mind and brain. *Current Directions in Psychological Science*, 14, s. 2–5.
- Jost A. (1897). Die Assoziationfestigkeit in ihrer Abhängigkeit von der Verteilung der Wiederholungen. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane*, 16, s. 436–472.
- Just M.A., Carpenter P.A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, s. 122–149.
- Just M.A., Carpenter P.A., Keller T.A., Emery L., Zajac H., Thulborn K.R. (2001). Interdependence of non-overlapping cortical systems in dual cognitive tasks. *NeuroImage*, 14, s. 417–426.
- Kahneman D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kane M.J., Hambrick D.Z., Conway A.R.A. (2005). Working memory capacity and fluid intelligence are strongly related constructs: Comment on Ackerman, Beier, Boyle. *Psychological Bulletin*, 131, s. 66–71.
- Kane M.J., Hambrick D.Z., Tuholski S.W., Wilhelm O., Payne T.W., Engle R.W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, s. 189–217.
- Kareev Y. (1995a). Through a narrow window: Working memory capacity and the detection of covariation. *Cognition*, 56, s. 263–269.
- Kareev Y. (1995b). Positive bias in the perception of covariation. *Psychological Review*, 102, s. 490–502.
- Keane M.T., Ledgeway T., Duff S. (1994). Constraints on analogical mapping: A comparison of three models. *Cognitive Science*, 18, s. 387–438.
- Keil A., Ihssen N. (2004). Identification facilitation for emotionally arousing verbs during the attentional blink. *Emotion*, 4(1), s. 23–35.
- Kensinger E.A., Corkin S. (2003). Memory enhancement for emotional words: Are emotional words more vividly remembered than neutral words? *Memory and Cognition*, 31, s. 1169–1180.
- Kieras D.E., Meyer D.E. (1994). The EPIC architecture for modeling human information processing and performance: A brief introduction. *EPIC Report No. 1, TR-94/ONR-EPIC-1*. Ann Arbor: University of Michigan.
- Kieras D.E., Meyer D.E., Mueller S., Seymour T. (1999). Insights to the working memory from the perspective of the EPIC architecture for modeling skilled perceptual-motor and cognitive human performance. W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of Working Memory: Mechanism of Active Maintenance and Control* (s. 183–221). New York: Cambridge University Press.
- King D.L., Jones F.L., Pearlman R.C., Tishman A., Felix C.A. (2002). The length of retention interval, forgetting, and subjective similarity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, s. 660–671.
- Kintsch W., Patel V.L., Ericsson K.A. (1999). The role of long-term working-memory in text comprehension. *Psychologica*, 42, s. 186–198.
- Klauer K.C., Stegmaier R., Meiser T. (1997). Working memory involvement in propositional and spatial reasoning. *Thinking and Reasoning*, 3, s. 9–47.

- Klauer K.C., Zhao Z. (2004). Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, s. 351–358.
- Kokinov B., French R.M. (2002). Computational models of analogy-making. W: L. Nadel (red.), *Encyclopedia of Cognitive Science* (s. 113–118). London: Macmillan.
- Kokinov B., French R.M. (2003). Computational models of analogy-making. W: L. Nadel (red.), *Encyclopedia of Cognitive Science* (s. 113–118). London: Nature Publishing Group.
- Kossowska M., Nęcka E. (1994). Do it your own way: Cognitive strategies, intelligence, and personality. *Personality and Individual Differences*, 16, s. 33–46.
- Kyllonen P.C., Christal R.E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working memory capacity?! *Intelligence*, 14, s. 389–433.
- Lack S.J., Vogel E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, s. 279–281.
- Lang P.J., Bradley M.M., Cuthbert B.N. (2008). *International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual*. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.
- Lehrl S., Fischer B. (1988). The basic parameters of human information processing: Their role in the determination of intelligence. *Personality and Individual Differences*, 9, s. 883–896.
- Logan G.D. (2002). *Parallel and serial processing*. W: H. Pashler, J. Wixted (red.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* (3rd ed.), vol. 4: *Methodology in Experimental Psychology* (s. 271–300). New York: John Wiley & Sons.
- Logie R.H. (1986). Visuo-spatial processes in working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 38A, s. 229–247.
- Logie R.H. (1995). *Visuo-Spatial Working Memory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Logie R.H., Marchetti C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? W: R.H. Logie, M. Denis (red.), *Mental Images in Human Cognition*. Amsterdam: North Holland Press.
- Logie R.H., Zucco G.M., Baddeley A.D. (1990). Interference with visual short-term memory. *Acta Psychologica*, 75, s. 55–74.
- Lovett M., Daily L., Reder L. (2000). A source activation theory of working memory: Cross-task prediction of performance in ACT-R. *Cognitive Systems Research*, 1, s. 99–118.
- Luck S.J., Vogel E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, s. 279–281.
- MacGregor J.N. (1987). Short-term memory capacity: Limitation or optimization? *Psychological Review*, 94, s. 107–108.
- Mackiewicz R. (2009). Pamięć robocza, rozumowanie i modele umysłowe. W: J. Orzechowski, R. Balas, K. Piotrowski, Z. Stettner (red.), *Pamięć robocza* (s. 151–165). Warszawa: Academica.
- Marcel A.J. (1980). Conscious and preconscious recognition of polysemous words: Locating the selective effect of prior verbal context. W: R.S. Nickerson (red.), *Attention and Performance* (t. 8, s. 435–457). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Marcel A.J. (1983). Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition. *Cognitive Psychology*, 15, s. 197–237.
- Maruszewski T. (2011). *Psychologia poznania. Umysł i świat*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.

- Mayes J.T. (1988). On the nature of echoic persistence: Experiments with running memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 14, s. 278–288.
- McCabe D.P., Roediger H.L. III, McDaniel M.A., Balota D.A., Hambrick D.Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24, s. 222–243.
- McClelland J.L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, 86, s. 287–330.
- McConaghy J., Kirby N.H. (1987). Analogical reasoning and ability level: An examination of R.J. Sternberg's componential method. *Intelligence*, 11, s. 137–159.
- McErlee B. (1996). Accessing short-term memory with semantic, and phonological information: A time-course analysis. *Memory and Cognition*, 24, s. 173–187.
- McErlee B. (1998). Attended and non-attended states in working memory: Accessing categorized structures. *Journal of Memory and Language*, 38, s. 225–252.
- McErlee B. (2001). Working memory and focal attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, s. 817–835.
- McErlee B., Doshier B.A. (1989). Serial position and set size in short-term memory: The time course of recognition. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, s. 346–373.
- Meyer D.E., Kieras D.E. (1997a). A computational theory of executive control processes and human multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, s. 3–65.
- Meyer D.E., Kieras D.E. (1997b). A computational theory of executive control processes and human multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104, s. 749–791.
- Miller G.A. (1956). The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 19, s. 948–852.
- Miller G.A., Galanter E., Pribram K.H. (1960). *Plans and the Structure of Behavior*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Milner B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27, s. 272–277.
- Mitchell K.J., Johnson M.K., Raye C.L., D'Esposito M. (2000). fMRI evidence of age-related hippocampal dysfunction in feature binding in working memory. *Cognitive Brain Research*, 10, s. 197–206.
- Miyake A., Friedman N.P., Emerson M.J., Witzki A.H., Howerter A., Wager T.D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, s. 49–100.
- Miyake A., Shah P. (1999). *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control*. New York: Cambridge University Press.
- Monks P.J., Thompson J.M., Bullmore E.T., Suckling J., Brammer M.J., Williams S.C., Simmons A., Giles N., Lloyd A.J., Harrison C.L., Seal M., Murray R.M., Ferrier I.N., Young A.H., Curtis V.A. (2004). A functional MRI study of working memory task in euthymic bipolar disorder: evidence for task-specific dysfunction. *Bipolar Disorders*, 6, s. 550–564.
- Morey C.C., Cowan N., Morey R.D., Rouders J.N. (2011). Flexible attention allocation to visual and auditory working memory tasks: Manipulating reward induces a tradeoff. *Attention, Perception & Psychophysics*, 73, s. 458–472.
- Munakata Y., Morton J.B., O'Reilly R.C. (2007). Computational and developmental approaches to variation in working memory. W: R.A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake,

- J. Towse (red.), *Variation in Working Memory* (s. 162–193). Oxford: Oxford University Press.
- Murdock B.B., Jr. (1961). The retention of individual items. *Journal of Experimental Psychology*, 62, s. 618–625.
- Nęcka E. (1987). *Proces twórczy i jego ograniczenia*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Nęcka E. (1992). Cognitive analysis of intelligence: The significance of working memory processes. *Personality and Individual Differences*, 13, s. 1031–1046.
- Nęcka E. (1994). *Inteligencja i procesy poznawcze*. Kraków: Impuls.
- Nęcka E. (1996). The attentive mind: Intelligence in relation to selective attention, sustained attention, and dual task performance. *Polish Psychological Bulletin*, 27, s. 3–24.
- Nęcka E. (1997). Attention, working memory and arousal: Concept apt to account for the 'process of intelligence'. W: G. Matthews (red.), *Cognitive Science Perspectives on Personality and Emotion* (s. 503–554). Amsterdam: Elsevier Science.
- Nęcka E. (2000). Pobudzenie intelektu. Zarys formalnej teorii inteligencji. Kraków: Universitas.
- Nęcka E. (2002). Kontrola, świadomość, automatyczność: Próba analizy pojęciowej. W: R.K. Ohme (red.), *Natura automatyzmów* (s. 163–168). Warszawa: Szkoła Wyższa Psychologii Społecznej.
- Nęcka E. (2003). *Inteligencja: Geneza, struktura, funkcje*. Gdańsk: Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne.
- Nęcka E. (2009). Pamięć robocza. Wprowadzenie. W: J. Orzechowski, R. Balas, K. Piotrowski, Z. Stettner (red.), *Pamięć robocza* (s. 11–24). Warszawa: Academica.
- Nęcka E., Orzechowski J. (2005). Higher-order cognition and intelligence. W: R. Sternberg, J. Pretz (red.), *Cognition and Intelligence: Identifying the Mechanisms of the Mind* (s. 122–141). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nęcka E., Orzechowski J., Balas R. (w przygotowaniu). On the role of task conditions in short-term memory search.
- Nęcka E., Orzechowski J., Florek S. (2001, wrzesień). *Individual Differences in Strategies to Deal with Working Memory Tasks*. XIIth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Edinburgh.
- Nęcka E., Orzechowski J., Szymura B. (2006). *Psychologia poznawcza*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Nęcka E., Rychlicka A. (1987). *Test twórczego myślenia (TTM)* (niepublikowany maszynopis).
- Neumann O. (1984). Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. W: W. Prinz, A.F. Sanders (red.), *Cognition and Motor Processes* (s. 245–293). Berlin: Springer.
- Norman D.A., Shallice T. (1986). Attention and action: Willed and automatic control of behavior. W: R.J. Davidson, G.E. Schwartz, D. Shapiro (red.), *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory* (t. 4, s. 1–18). New York: Plenum Press.
- Norman G.R., Brooks L.R., Allen S.W. (1989). Recall by expert medical practitioners and novices as a record of processing attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, s. 1166–1174.
- Oberauer K. (2001). Removing irrelevant information from working memory: A cognitive aging study with the modified Sternberg task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, s. 948–957.

- Oberauer K. (2002). Access to information in working memory: Exploring the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(3), s. 411–421.
- Oberauer K. (2005a). Control of the contents of working memory – a comparison of two paradigms and two age groups. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, s. 714–728.
- Oberauer K. (2005b). The measurement of working memory capacity. W: O. Wilhelm, R.W. Engle (red.), *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (s. 393–408). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Oberauer K. (2006). Is the focus of attention in working memory expanded through practice? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, s. 197–214.
- Oberauer K. (2010). Design for a working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 51, s. 45–100.
- Oberauer K., Bialkova S. (2009). Accessing information in working memory: Can the focus of attention grasp two elements at the same time? *Journal of Experimental Psychology: General*, 138, s. 64–87.
- Oberauer K., Kliegl R. (2001). Beyond resources: Formal models of complexity effects and age differences in working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 13, s. 187–216.
- Oberauer K., Kliegl R. (2006). A formal model of capacity limits in working memory. *Journal of Memory and Language*, 55, s. 601–626.
- Oberauer K., Schulze R., Wilhelm O., Süß H.M. (2005). Working memory and intelligence – their correlation and their relation: Comment on Ackerman, Beier, Boyle. *Psychological Bulletin*, 131, s. 61–65.
- Oberauer K., Süß H.M., Schulze R., Wilhelm O., Wittmann W.W. (2000). Working memory capacity – facets of a cognitive ability construct. *Personality and Individual Differences*, 29, s. 1017–1045.
- Oberauer K., Süß H.M., Wilhelm O., Sander N. (2007). Individual differences in working memory capacity and reasoning ability. W: A.R.A. Conway, C. Jarrold, M.J. Kane, A. Miyake, J.N. Towse (red.), *Variation in Working Memory* (s. 49–75). Oxford: Oxford University Press.
- Oberauer K., Süß H.M., Wilhelm O., Wittmann W.W. (2003). The multiple facets of working memory: Storage, processing, supervision, and coordination. *Intelligence*, 31, s. 167–193.
- Oberauer K., Vockenberg K. (2009). Updating of working memory: Lingerings bindings. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62, s. 967–987.
- Orzechowski J. (1998). Nieliniowo-równoległy model rozumowania przez analogię a różnice indywidualne w funkcjonowaniu poznawczym człowieka. *Studia Psychologiczne*, 36, s. 45–56.
- Orzechowski J. (1999a). Nieliniowo-równoległy model rozumowania przez analogię a różnice indywidualne w funkcjonowaniu poznawczym człowieka. Kraków: Wydział Filozoficzny, Uniwersytet Jagielloński (niepublikowana praca doktorska).
- Orzechowski J. (1999b, wrzesień). *Beyond Sternberg's components: Sequential versus parallel processing in analogical reasoning*. XIth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Gent.

- Orzechowski J. (2000a). Myślenie konwergencyjne i dywergencyjne a różnice indywidualne w zakresie stylu przetwarzania informacji, funkcjonowania uwagi i pamięci (niepublikowany raport techniczny nr PB 1 H01F 009 15).
- Orzechowski J. (2000b, lipiec). *Is there really something behind IQ? Intelligence and sequential versus parallel organization of information processing*. 10th European Conference on Personality (ECP), Kraków.
- Orzechowski J. (2002a). Mechanizmy procesu przeszukiwania zasobów pamięci roboczej (niepublikowany raport techniczny).
- Orzechowski J. (2002b, czerwiec). *Dwufazowy model przeszukiwania pamięci roboczej – wstępna weryfikacja założeń*. III Kolokwia Jadwisińskie: Automatyzm. Nowe perspektywy. Jadwisin.
- Orzechowski J. (2003). Struktura pamięci roboczej – weryfikacja dwufazowego modelu przeszukiwania pamięci w świetle wybranych koncepcji pamięci roboczej (niepublikowany raport badawczy).
- Orzechowski J. (2004a). Poznawcze podłoże rozumowania przez analogię: Weryfikacja modelu nieliniowo-równoległego. *Studia Psychologiczne*, 42, s. 95–106.
- Orzechowski J. (2004b, sierpień). *Cognitive mechanisms of flexibility in problem solving*. 28th International Congress of Psychology, Beijing.
- Orzechowski J. (2004c). Procesualne charakterystyki myślenia dywergencyjnego (niepublikowany raport techniczny nr PB 5 H01F 006 21).
- Orzechowski J. (2010). Working memory capacity and individual differences in higher-level cognition. W: A. Gruszka, G. Matthews, B. Szymura (red.), *Handbook of Individual Differences in Cognition* (s. 353–368). New York: Springer.
- Orzechowski J., Balas R. (2005, wrzesień). *Issue of working memory structure: Baddeley's multiple-system model vs Cowan's single-system model*. XIVth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Leiden.
- Orzechowski J., Balas R., Piotrowski K., Stettner Z. (red.) (2009). *Pamięć robocza*. Warszawa: Academica.
- Orzechowski J., Słabosz A., Szymura B. (2001, wrzesień). *Is the construct of divergent production homogeneous? Cognitive mechanisms of fluency, flexibility and originality of thinking*. XIIth Conference of European Society for Cognitive Psychology (ESCoP), Edinburgh.
- Pashler H., Johnston J.C. (1989). Chronometric evidence for central postponement in temporally overlapping tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 41(1-A), s. 19–45.
- Paulewicz B. (2010). Interakcja i adaptacja – propozycja metateoretyczna w badaniach nad zachowaniem. Kraków: Wydział Filozoficzny, Uniwersytet Jagielloński (niepublikowana rozprawa doktorska).
- Peterson L.R., Peterson M.J. (1959). Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, 58, s. 193–198.
- Piotrowski K. (2003). Rola centralnego systemu wykonawczego pamięci roboczej w krótkotrwałym przechowywaniu informacji. Badanie metodą generowania interwałów losowych. Kraków: Wydział Filozoficzny, Uniwersytet Jagielloński (niepublikowana rozprawa doktorska).
- Piotrowski K.T., Stettner Z., Balas R. (2005). Metody badania pamięci roboczej. *Studia Psychologiczne*, 43, s. 7–16.

- Piotrowski K.T., Stettner Z., Orzechowski J., Balas R. (2009). Jak działa pamięć robocza? W: J. Orzechowski, R. Balas, K. Piotrowski, Z. Stettner (red.), *Pamięć robocza* (s. 47–76). Warszawa: Academica.
- Piotrowski K.T., Wierzchoń M. (2005). Wpływ suboptymalnych bodźców emocjonalnych na pamięć roboczą. *Studia Psychologiczne*, 43, s. 103–108.
- Postle B.R., D'Esposito M. (1999). 'What' – then – 'where' in visual working memory: An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, s. 585–597.
- Postle B.R., Stern C.E., Rosen B.R., Corkin S. (2000). An fMRI investigation of cortical contributions to spatial and nonspatial visual working memory. *NeuroImage*, 11, s. 409–423.
- Prabhakaran V., Narayanan K., Zhao Z., Gabrieli J.D. (2000). Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe. *Nature Neuroscience*, 3(1), s. 85–90.
- Prabhakaran V., Smith J.A.L., Desmond J.E., Glover G.H., Gabrieli J.D.E. (1997). Neuronal substrates of fluid reasoning: An fMRI study of neocortical activation during performance of the Raven's Progressive Matrices Test. *Cognitive Psychology*, 33, 43–63.
- Raven J.C., Court J.H., Raven J. (1983). Manual for Raven's Progressive Matrices and vocabulary scales (Section 4, Advanced Progressive Matrices). London: H.K. Lewis.
- Rawlings D. (1985). Psychotism, creativity, and dichotic shadowing. *Personality and Individual Differences*, 6, s. 737–742.
- Repoš G., Baddeley A.D. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, s. 5–21.
- Ricker T.J., AuBuchon A., Cowan N. (2010). Working memory. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 1, s. 573–585.
- Rips L.J. (1994). Deductive reasoning. W: R.J. Sternberg (red.), *Handbook of Perception and Cognition: Thinking and Problem Solving* (s. 149–178). New York: Cambridge University Press.
- Robbins T.W., James M., Owen A.M., Sahakian B.J., Lawrence A.D., McInnes L., Rabbitt P.M.A. (1998). A study of performance on tests from the CANTAB battery sensitive to frontal lobe dysfunction in a large sample of normal volunteers: Implications for theories of executive functioning and cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 4, s. 474–490.
- Rumain B., Connell J., Braine M. (1983). Conversational comprehension processes are responsible for reasoning fallacies in children as well as adults: If is not the biconditional. *Developmental Psychology*, 19, s. 471–481.
- Salthouse T.A. (1996). The processing – speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103, s. 403–428.
- Saults J.S., Cowan N. (2007). A central capacity limit to the simultaneous storage of visual and auditory arrays in working memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(4), s. 663–684.
- Schacter D.L., Tulving E. (1994). What are memory systems of the 1994? W: D.L. Schacter, E. Tulving (red.), *Memory System* (s. 1–38). Cambridge: The MIT Press.
- Schneider W. (1999). Working memory in multilevel hybrid connectionist control architecture (CAP2). W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of Working Memory: Mechanisms of Active Maintenance and Executive Control* (s. 340–374). Cambridge: Cambridge University Press.

- Shah P., Miyake A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, s. 4–27.
- Shulman H.G. (1970). Encoding and retention of semantic and phonemic information in short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 9, s. 499–508.
- Simon H.A. (1974). How big is a chunk? *Science*, 183, s. 482–488.
- Słabosz A. (2000). Inhibicja i facylitacja poznawcza – elementarne składniki procesu twórczego. Kraków: Uniwersytet Jagielloński (niepublikowana praca doktorska).
- Smith E.E., Jonides J. (1997). Working memory: A view from neuroimaging. *Cognitive Psychology*, 33, s. 5–42.
- Snodgrass J.G., Townsend J.T. (1980). Comparing parallel and serial models: Theory and implementations. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 6, s. 330–354.
- Stanovich K.E., West R.F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate? *Behavioral and Brain Sciences*, 23, s. 645–665.
- Stavridou A., Furnham A. (1996). The relationship between psychoticism, trait-creativity and the attentional mechanism of cognitive inhibition. *Personality and Individual Differences*, 21, s. 143–153.
- Sternberg R.J. (1977a). Component processes in analogical reasoning. *Psychological Review*, 84, s. 353–375.
- Sternberg R.J. (1977b). *Intelligence, Information Processing, and Analogical Reasoning: The Componential Analysis of Human Abilities*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sternberg R.J. (1980). A proposed resolution of curious conflict in the literature on linear syllogisms. W: R. Nickerson (red.), *Attention and Performance* (t. 8, s. 719–744). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sternberg R.J. (1981). Reasoning with determinate and indeterminate linear syllogisms. *British Journal of Psychology*, 72, s. 407–420.
- Sternberg R.J. (1985). Componential analysis: A recipe. W: D.K. Detterman (red.), *Current Topics in Human Intelligence* (t. 1, s. 179–201). Norwood, NJ: Ablex.
- Sternberg R.J., Rifkin B. (1979). The development of analogical reasoning process. *Journal of Experimental Child Psychology*, 27, s. 195–232.
- Sternberg S. (1966). High speed scanning in human memory. *Science*, 153, s. 652–654.
- Sternberg S. (1969a). Memory scanning: Mental processes revealed by time experiments. *American Scientist*, 57, s. 17–18.
- Sternberg S. (1969b). The discovery of processing stages: Extensions of Donders' method. *Acta Psychologica*, 30, s. 276–315.
- Stoltzfus E.R., Hasher L., Zacks R.T. (1996). Working memory and aging: Current status of the inhibitory view. W: J.T.E. Richardson, R.W. Engle, L. Hasher, R.H. Logie, E.R. Stoltzfus, R.T. Zacks (red.), *Counterpoints in Cognition: Working Memory and Human Cognition* (s. 66–68). Oxford: Oxford University Press.
- Süß H.M., Oberauer K., Wittmann W.W., Wilhelm O., Schulze R. (2002). Working memory capacity explains reasoning ability – and a little bit more. *Intelligence*, 30, s. 261–288.
- Śmieja M., Orzechowski J., Asanowicz D. (2011). Podłoże inteligencji emocjonalnej: rola poznawczej kontroli emocji (niepublikowany raport badawczy nr N N106 106336).

- Van Zandt P., Townsend J.T. (1993). Self-terminating versus exhaustive processes in rapid visual and memory search: An evaluative review. *Perception & Psychophysics*, 53, s. 563–580.
- Vandierendonck A., De Vooght G., Van der Goten K. (1998). Does random time interval generation interfere with working memory executive functions? *European Journal of Cognitive Psychology*, 10, s. 413–442.
- Vandierendonck A., Kemps E., Fastame M.C., Szmalec A. (2004). Working memory components of the Corsi blocks task. *British Journal of Psychology*, 95, s. 57–79.
- Vinkhuyzen A.E., van der Sluis S., Boomsma D., Geus E.J., Posthuma D. (2010). Individual differences in processing speed and working memory speed as assessed with the Sternberg Memory Scanning Task. *Behavior Genetics*, 40, s. 315–326.
- Vogel E.K., Woodman G.F., Luck S.J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, s. 92–114.
- Waltz J.A., Lau A., Grewal S.K., Holyoak K.J. (2000). The role of working memory in analogical mapping. *Memory & Cognition*, 28, s. 1205–1212.
- Waugh N.C., Norman D.A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, s. 89–104.
- Wheeler M.E., Treisman A.M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, s. 48–64.
- Wichary S., Kossowska M., Orzechowski J., Ślifierz S., Marković J. (2008). Individual differences in decisiveness: Pre-decisional information search and decision strategy use. *Polish Psychological Bulletin*, 39, s. 47–53.
- Wichary S., Orzechowski J., Kossowska M., Ślifierz S., Marković J., Bukowski M. (2005). Strategie podejmowania decyzji a funkcjonowanie pamięci roboczej. *Studia Psychologiczne*, 43(1), s. 907–102.
- Wierchoń M., Orzechowski J., Barbasz J. (2012). Interdyscyplinarność w naukach kognitywnych – *science, fiction czy science fiction?* (s. 113–130). W: A. Chmielewski, M. Dudzikowa, A. Grobler (red.), *Interdyscyplinarnie o interdyscyplinarności. Między ideą a praktyką*. Kraków: Impuls.
- Wilde E.A., Newsome M.R., Bigler E.D., Pertab J., Merkle T.L., Hanten G., Scheibel R.S., Li X., Chu Z., Yallampalli R., Hunter J.V., Levin H.S. (2012). Brain imaging correlates of verbal working memory in children following traumatic brain injury. *International Journal of Psychophysiology*, 82, s. 86–96.
- Wilhelm O. (2005). Measuring reasoning ability. W: O. Wilhelm, R.E. Engle (red.), *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (s. 373–392). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Williams J.M., Mathews A., MacLeod C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120, s. 3–24.
- Wolfe J.M. (1994). Guided Search 2.0. A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, s. 202–238.
- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, s. 419–433.
- Wolski P., Nęcka E. (1996). Is smart brain a fast brain? Interhemispheric transmission time (IHTT) and intelligence. *Polish Psychological Bulletin*, 27, s. 65–74.
- Wolski P., Nęcka E., Rychlicka A. (1991). Interhemispheric transmission time (IHTT) and intelligence: A preliminary report. *Polish Psychological Bulletin*, 22, s. 71–80.

- Van Zandt P., Townsend J.T. (1993). Self-terminating versus exhaustive processes in rapid visual and memory search: An evaluative review. *Perception & Psychophysics*, 53, s. 563–580.
- Vandierendonck A., De Vooght G., Van der Goten K. (1998). Does random time interval generation interfere with working memory executive functions? *European Journal of Cognitive Psychology*, 10, s. 413–442.
- Vandierendonck A., Kemps E., Fastame M.C., Szmalec A. (2004). Working memory components of the Corsi blocks task. *British Journal of Psychology*, 95, s. 57–79.
- Vinkhuyzen A.E., van der Sluis S., Boomsma D., Geus E.J., Posthuma D. (2010). Individual differences in processing speed and working memory speed as assessed with the Sternberg Memory Scanning Task. *Behavior Genetics*, 40, s. 315–326.
- Vogel E.K., Woodman G.F., Luck S.J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, s. 92–114.
- Waltz J.A., Lau A., Grewal S.K., Holyoak K.J. (2000). The role of working memory in analogical mapping. *Memory & Cognition*, 28, s. 1205–1212.
- Waugh N.C., Norman D.A. (1965). Primary memory. *Psychological Review*, 72, s. 89–104.
- Wheeler M.E., Treisman A.M. (2002). Binding in short-term visual memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, s. 48–64.
- Wichary S., Kossowska M., Orzechowski J., Ślifierz S., Marković J. (2008). Individual differences in decisiveness: Pre-decisional information search and decision strategy use. *Polish Psychological Bulletin*, 39, s. 47–53.
- Wichary S., Orzechowski J., Kossowska M., Ślifierz S., Marković J., Bukowski M. (2005). Strategie podejmowania decyzji a funkcjonowanie pamięci roboczej. *Studia Psychologiczne*, 43(1), s. 907–102.
- Wierchoń M., Orzechowski J., Barbasz J. (2012). Interdyscyplinarność w naukach kognitywnych – *science, fiction czy science fiction?* (s. 113–130). W: A. Chmielewski, M. Dudzikowa, A. Grobler (red.), *Interdyscyplinarnie o interdyscyplinarności. Między ideą a praktyką*. Kraków: Impuls.
- Wilde E.A., Newsome M.R., Bigler E.D., Pertab J., Merkle T.L., Hanten G., Scheibel R.S., Li X., Chu Z., Yallampalli R., Hunter J.V., Levin H.S. (2012). Brain imaging correlates of verbal working memory in children following traumatic brain injury. *International Journal of Psychophysiology*, 82, s. 86–96.
- Wilhelm O. (2005). Measuring reasoning ability. W: O. Wilhelm, R.E. Engle (red.), *Handbook of Understanding and Measuring Intelligence* (s. 373–392). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Williams J.M., Mathews A., MacLeod C. (1996). The emotional Stroop task and psychopathology. *Psychological Bulletin*, 120, s. 3–24.
- Wolfe J.M. (1994). Guided Search 2.0. A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1, s. 202–238.
- Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, s. 419–433.
- Wolski P., Nęcka E. (1996). Is smart brain a fast brain? Interhemispheric transmission time (IHTT) and intelligence. *Polish Psychological Bulletin*, 27, s. 65–74.
- Wolski P., Nęcka E., Rychlicka A. (1991). Interhemispheric transmission time (IHTT) and intelligence: A preliminary report. *Polish Psychological Bulletin*, 22, s. 71–80.

- Yonelinas A.P. (1997). Recognition memory ROCs for item and associative information: The contribution of recollection and familiarity. *Memory and Cognition*, 25, s. 747–763.
- Yonelinas A.P. (1999). The contribution of recollection and familiarity to recognition and source-memory judgments: A formal dual-process model and an analysis of receiver operating characteristics. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25, s. 1415–1434.
- Yonelinas A.P. (2002). The nature of recollection and familiarity: A review of 30 years of research. *Journal of Memory and Language*, 46, s. 441–517.
- Yonelinas A.P., Jacoby L.L. (1994). Dissociations of processes in recognition memory: Effects of interference and of response speed. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 48, s. 516–535.
- Yonelinas A.P., Jacoby L.L. (1996). Noncriterial recollection: Familiarity as automatic, irrelevant recollection. *Consciousness and Cognition*, 5, s. 131–141.

Redaktor prowadzący
Mirosław Ruszkiewicz

Adiustacja
Barbara Górską

Korekta
Gabriela Niemiec

Skład i łamanie
Katarzyna Mróz-Jaskuła

Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego
Redakcja: ul. Michałowskiego 9/2, 31-126 Kraków
tel. 12-631-18-81, 12-631-18-82, fax 12-631-18-83