UNIWERSYTET VIZJA

PSYCHOLOGIA POZNAWCZA

Ćwiczenie laboratoryjne nr 2

Pamięć robocza i jej korelaty neuronalne

pojemność, efekt pozycji seryjnej i potencjały wywołane (ERP)

Span tasks | Efekt pierwszeństwa i świeżości | Komponenty P300 i N400

dr inż. Mateusz Pomianek

Przedmiot	Psychologia poznawcza
Rok akadem.	2026/2027
Semestr	Letni – rok III
Forma zajęć	Ćwiczenia
Metody	Analiza danych ze span tasks (tabele wbudowane), interpretacja przebiegów ERP, eksperyment grupowy
Narzędzia	Arkusz kalkulacyjny (Excel / LibreOffice Calc), tabele danych z niniejszej instrukcji
Grupa	_____
Data	_____

1. Informacje ogólne o zajęciach

Na poprzednich zajęciach badaliśmy granice uwagi selektywnej: co przepuszcza filtr poznawczy, a co zostaje za nim. Drugie ćwiczenia laboratoryjne przenoszą nas głębiej w architekturę systemu poznawczego – do pamięci roboczej. To tu informacja jest aktywnie utrzymywana i przetwarzana przez kilka sekund. To tu decyduje się, czy treść percepcji stanie się świadomą myślą, czy zniknie bezpowrotnie.

Zajęcia mają charakter analizy danych: wszystkie niezbędne tabele z wynikami badań są zamieszczone bezpośrednio w tej instrukcji. Zadaniem studentów jest obliczenie wskaźników, wykonanie wykresów, interpretacja przebiegów ERP oraz sformułowanie hipotez o mechanizmach pamięci roboczej. Obok analizy ilościowej przewidziana jest także krótka sesja eksperymentalna: każda para mierzy pojemność swojej własnej pamięci roboczej za pomocą zadań span wykonanych bez komputera.

Cele kształcenia

Wiedza: Student opisuje model pamięci roboczej Baddeleya i Hitcha (1974) wraz z jego późniejszymi rozszerzeniami (bufor epizodyczny, 2000); wyjaśnia efekty pierwszeństwa i świeżości oraz ich neuronalne korelaty; charakteryzuje komponenty ERP powiązane z pamięcią roboczą (P300, N400, N200).

Umiejętności: Student oblicza wskaźniki pojemności pamięci roboczej (digit span, spatial span, reading span); tworzy i interpretuje krzywe pozycji seryjnej na podstawie danych tabelarycznych; odczytuje amplitudy i latencje komponentów ERP ze schematycznych przebiegów i stawia hipotezy o ich znaczeniu poznawczym.

Kompetencje społeczne: Student ocenia ograniczenia metodologiczne badań pamięci roboczej w warunkach laboratoryjnych; krytycznie porównuje wyniki własnych pomiarów z danymi normatywnymi; konstruktywnie dyskutuje wyniki w parach i na forum grupy.

1.1. Powiązanie z Lab 1

Na Lab 1 analizowaliśmy czas reakcji w zadaniu Stroopa jako miarę interferencji między procesami automatycznymi, a kontrolowanymi. Efekt Stroopa angażuje procesy kontroli poznawczej, w tym hamowanie reakcji dominującej, utrzymywanie instrukcji zadania i selekcję odpowiedzi. Procesy te są zgodne z funkcjami przypisywanymi centralnemu systemowi wykonawczemu w modelu pamięci roboczej Baddeleya, choć efekt Stroopa nie powinien być redukowany wyłącznie do działania tego systemu. Dziś zbadamy ten system bezpośrednio.

1.2. Harmonogram zajęć (120 min)

Czas	Blok	Aktywność
0–10 min	Wprowadzenie	Przegląd celów, podział na pary, omówienie struktury zajęć
10–35 min	Wykład interaktywny	Model Baddeleya i Hitcha; subsystemy; efekt pozycji seryjnej; ERP w badaniach pamięci
35–60 min	Eksperyment w parach	Każda para mierzy digit span i spatial span (protokole w sekcji 4); zapis wyników
60–75 min	Analiza danych I	Obliczanie wskaźników span na podstawie własnych pomiarów i danych z Tabeli 1
75–95 min	Analiza danych II	Krzywe pozycji seryjnej (Tabela 2); wykresy; analiza danych ERP (Tabele 3–4)
95–110 min	Dyskusja plenarna	Prezentacja hipotez; zestawienie wyników par; pytania prowadzącego
110–120 min	Podsumowanie	Zadanie domowe; zapowiedź Lab 3 (język i poznanie)

Wymagania wstępne

Przed zajęciami studenci powinni zapoznać się z rozdziałem dotyczącym pamięci roboczej i pamięci krótkotrwałej w podręczniku Nęcki, Orzechowskiego i Szymury (2013) lub Sternberga i Sternberg (2012) Wymagana znajomość pojęć: pętla fonologiczna, notatnik wzrokowo-przestrzenny, centralny system wykonawczy, bufor epizodyczny.

Studenci przynoszą na zajęcia laptop lub tablet z arkuszem kalkulacyjnym. Dane do analizy są zamieszczone w tej instrukcji. Nie ma potrzeby pobierania zewnętrznych plików.

2. Podstawy teoretyczne

2.1. Model pamięci roboczej Baddeleya i Hitcha

2.1.1. Architektura systemu

Alan Baddeley i Graham Hitch zaproponowali w 1974 roku model pamięci roboczej jako alternatywę dla jednostkowego magazynu krótkotrwałego w modelu Atkinsona i Shiffrina. Pamięć robocza nie jest biernym buforem przechowującym informacje, lecz aktywnym systemem wieloskładnikowym. W oryginalnym modelu wyróżniono trzy elementy, do których Baddeley dodał w 2000 roku czwarty.

- **Pętla fonologiczna (phonological loop):** przechowuje informacje werbalne i dźwiękowe w formie akustycznej; składa się z magazynu fonologicznego, w którym ślady pamięciowe zanikają po około 2 sekundach, oraz procesu powtarzania artykulacyjnego (subwokalnym), który pozwala odświeżać reprezentacje werbalne. (articulatory rehearsal). Pojemność ograniczona liczbą elementów, które można wymowić w 2 sekundy (efekt długości słowa).
- **Notatnik wzrokowo-przestrzenny (visuospatial sketchpad):** utrzymuje informacje wzrokowe i przestrzenne; dwa składniki: cache wzrokowy (statyczne reprezentacje) i skryba wewnętrzny (informacje ruchowe i przestrzenne). Zasoby odrębne od pętli fonologicznej – podwójne zadanie wzrokowe interferuje z notatnikiem, ale nie z pętlą.

- **Centralny system wykonawczy (central executive):** najważniejszy, a zarazem najgorzej rozumiany składnik; kontroluje uwagę, przełącza między zadaniami, koordynuje działanie podsystemów; odpowiada za hamowanie rozpraszających informacji. Funkcjonalnie wiązany z sieciami kontroli wykonawczej CEN, obejmującymi m.in. obszary kory przedczołowej i ciemieniowej, w tym dlPFC, ale nie daje się sprowadzić do jednej struktury mózgowej
- **Bufor epizodyczny (episodic buffer, 2000):** interfejs integrujący informacje z pętli fonologicznej, notatnika i pamięci długotrwałej w spójne epizody; ograniczona pojemność (ok. 4 ‚chunków'); umożliwia tworzenie złożonych reprezentacji (np. obraz + dźwięk + znaczenie).

2.1.2. Pojemność pamięci roboczej i liczba Millera

George Miller (1956) zaproponował słynną liczbę siedem plus minus dwa jako pojemność pamięci bezpośredniej. Późniejsze badania (Cowan, 2001) zakwestionowały tę wielkość: po wyeliminowaniu efektów powtarzania i kęsów (chunków) rzeczywista pojemność centralnego systemu wynosi ok. czterech elementów. Różnica między liczbą Millera a liczbą Cowana wynika z faktu, że Miller nie kontrolował chunków: cyfry w blokach znanych wzorów (np. 1945) są przechowywane jako jeden element.

Pojemność mierzymy za pomocą zadań span: digit span (ciągi cyfr), letter span (litery), word span (słowa) oraz spatial span (lokalizacje w przestrzeni). Wyniki staną się przedmiotem analizy w sekcji 5.

2.1.3. Rola pamięci roboczej w złożonych procesach poznawczych

Pamięć robocza jest ściśle powiązana z inteligencją płynną (r = 0,60–0,90 w różnych metaanalizach; Conway i in., 2003), rozumieniem tekstu, arytmetyką mentalą i uczeniem się języków. Kluczową rolę odgrywa tu zdolność do jednoczesnego przetwarzania i przechowywania informacji, operacjonalizowana przez zadania complex span, takie jak reading span (Daneman i Carpenter, 1980): uczestnik odpowiada na pytania do zdań, jednocześnie zapamiętując ostatnie słowo każdego zdania.

2.2. Efekt pozycji seryjnej

2.2.1. Zjawisko i jego interpretacja

Efekt pozycji seryjnej (serial position effect) opisuje regularność występującą w zadaniach swobodnego przypominania: elementy z początku i końca listy są przypominane częściej niż elementy ze środka. Wyróżniamy dwa składowe efekty:

- **Efekt pierwszeństwa (primacy effect):** lepsza pamięć początkowych elementów; wyjaśniany przeniesieniem do pamięci długotrwałej dzięki większej liczbie powtarzań podartykulacyjnych podczas prezentacji. Wrażliwy na tempo prezentacji: wolniejsze tempo zwiększa efekt pierwszeństwa (więcej czasu na powtarzanie).
- **Efekt świeżości (recency effect):** lepsza pamięć ostatnich elementów; wyjaśniany ich obecnością w pamięci roboczej w momencie przypominania. Wrażliwy na opóźnienie: zadanie wypełniające po ekspozycji listy (np. odliczanie wstecz przez 30 s) eliminuje efekt świeżości, ale nie efekt pierwszeństwa.

Dysocjacja efektów pierwszeństwa i świeżości jest kluczowym argumentem za rozróżnieniem między pamięcią roboczą a pamięcią długotrwałą (Glanzer i Cunitz, 1966). Pacjenci z uszkodzeniami przyśrodkowych struktur skroniowych, istotnych dla pamięci długotrwałej, mogą wykazywać osłabione uczenie się materiału z początkowych pozycji listy przy względnie lepiej zachowanym przypominaniu ostatnich elementów, zależnym od pamięci krótkotrwałej lub roboczej (jak H.M.).

2.2.2. Współczesne modele efektu pozycji seryjnej

Model SIMPLE (Brown i in., 2007) wyjaśnia efekt pozycji seryjnej bez odwołania do odrębnych systemów pamięciowych: podobieństwo temporalne elementów decyduje o ich rozróżnialności – elementy z końca listy są bardziej odrębne temporalnie i stąd lepiej przypominane. Model SAM

(Raaijmakers i Shiffrin, 1981) nakłada na to kontekst skojarzeniowy: elementy tworzą skojarzenia z kontekstem aktualnym i ze sobą nawzajem. Współczesne debaty dotyczą tego, czy efekt świeżości odzwierciedla jedną czy wiele różnych reprezentacji o rozmaitych właściwościach.

2.3. Potencjały wywołane (ERP) w badaniach pamięci roboczej

2.3.1. Czym są ERP

Potencjały wywołane zdarzeniami (Event-Related Potentials, ERP) są uśrednionymi zmianami napięcia elektroencefalograficznego związanymi z określonym zdarzeniem bodźcowym lub ruchowym. Uzyskuje się je przez uśrednianie wielu prób czasowo zsynchronizowanych z bodźcem lub odpowiedzią. Liczba prób zależy od komponentu, jakości sygnału i procedury; w praktyce może obejmować od kilkudziesięciu do kilkuset prób. Wtedy losowe wahania sygnału EEG wynikające z aktywności niezwiązanej z bodźcem wzajemnie się znoszą, a powtarzalny komponent związany z bodźcem wzmacnia się. Wynikiem jest charakterystyczny przebieg falowy określony latencją (czas od bodźca) i amplitudą (wielkość odchylenia w mikroV).

Konwencja nazewnictwa: litera P oznacza dodatnie (positive) odchylenie potencjału, N – ujemne (negative); liczba oznacza przybliżoną latencję w milisekundach lub kolejność wystąpienia (np. P300, N400, N200).

2.3.2. Kluczowe komponenty ERP powiązane z pamięcią roboczą

Komponent	Latencja	Topografia	Znaczenie poznawcze	Znaczenie dla pamięci roboczej
P300 (P3b)	300–600 ms	Centralnie-ciem.	Aktualizacja modelu środowiska; alokacja zasobów uwagi do bodźca docelowego	Wrażliwy na obciążenie pamięci roboczej: amplituda spada, latencja rośnie wraz ze wzrostem liczby elementów do zapamiętania
N400	300–500 ms	Centralno-tylny	Integracja semantyczna: trudność w dopasowaniu słowa do kontekstu	Wrażliwy na sprzeczność semantyczną w zadaniach pamięci roboczej (np. słowo niezgodne z kategorią)
N200 (N2b)	200–350 ms	Frontalnie	detekcją konfliktu, kontrolą odpowiedzi, rozróżnianiem bodźców i monitorowaniem niezgodności.	Aktywowany podczas wykrywania celu w zadaniach n-back; korelat procesu porównania
CDA (Contralateral Delay Activity)	300–800 ms	Posterior kontr.	Utrzymywanie reprezentacji wzrokowo-przestrzennych w pamięci roboczej; amplituda koreluje z liczbą przechowywanych obiektów	Bezpośredni marker pojemności notatnika wzrokowo-przestrzennego; plateau przy ok. 3–4 obiektach.
Slow Negative Wave (SWN)	500–1000+ ms	Frontalnie	Utrzymywanie aktywnej reprezentacji w pamięci roboczej podczas opóźnia	Powolna fala ujemna może odzwierciedlać utrzymywanie i kontrolę informacji w pamięci roboczej podczas opóźnienia, ale jej interpretacja zależy od zadania, modalności bodźców i rozmieszczenia elektrod.

2.4. Zadanie n-back jako paradygmat pamięci roboczej

Zadanie **n-back** (Kirchner, 1958) jest jednym z najczęściej stosowanych paradygmatów do badania aktualizacji pamięci roboczej. Uczestnik ogląda sekwencję bodźców i odpowiada ‚Tak', gdy aktualny bodziec jest identyczny jak bodziec **n** pozycji wcześniej (n = 1, 2 lub 3). Zadanie wymaga jednoczesnego przechowywania ostatnich n elementów, aktualizacji bufora po każdym nowym bodźcu i hamowania wcześniejszych odpowiedzi ‚Tak', które byłyby błędne dla bieżącej pozycji.

Metaanalizy badań fMRI (Owen i in., 2005) wskazują, że wzrost obciążenia w zadaniu n-back angażuje rozległą sieć czołowo-ciemieniową, obejmującą m.in. grzbietowo-boczną korę przedczołową (dlPFC), obszary ciemieniowe, przednią część zakrętu obręczy oraz wyspę. Amplituda P300 obniża się monotonicznie wraz ze wzrostem **n** (1→ 2→ 3), co odzwierciedla rosnące obciążenie zasobami uwagi.

3. Dane do analizy

Wszystkie tabele poniżej stanowią pełny materiał analityczny na dzisiejsze zajęcia. Nie ma konieczności pobierania żadnych zewnętrznych plików. Dane są fikcyjne, lecz wygenerowane tak, by odzwierciedlać realistyczne rozkłady typowe dla badań pamięci roboczej u młodych dorosłych.

3.1. Tabela 1. Wyniki zadań span (n = 24 uczestników)

Badanie przeprowadzono na grupie 24 studentów psychologii (wiek 19–23 lat). Digit span wprost i wspak zgodne z procedurą WAIS-IV; spatial span według procedury Corsi Block Test; reading span według Daneman i Carpenter (1980), wynik w zakresie 0–6; IQ z Matryc Ravena (wersja standardowa).

Tabela 1. Wyniki zadań span i IQ dla 24 uczestników

Uczestnik	Wiek	Płeć	Digit span (wprost)	Digit span (wspak)	Spatial span	Reading span	IQ (Raven)
P01	20	K	7	5	6	3,8	118
P02	21	M	6	4	5	3,2	110
P03	19	K	8	6	7	4,4	125
P04	22	M	5	3	4	2,8	101
P05	20	K	7	5	6	3,6	115
P06	21	M	9	7	8	4,8	130
P07	23	K	6	4	5	3,1	108
P08	19	M	7	5	6	3,7	116
P09	22	K	5	3	4	2,6	98
P10	20	M	8	6	7	4,2	122
P11	21	K	6	4	5	3,3	111
P12	23	M	7	5	6	3,9	119
P13	20	K	8	6	7	4,5	126
P14	22	M	5	3	4	2,7	99
P15	19	K	7	5	6	3,5	113
P16	21	M	9	7	8	4,9	132
P17	20	K	6	4	5	3,0	106
P18	22	M	7	5	6	3,8	117
P19	23	K	5	3	4	2,5	96
P20	20	M	8	6	7	4,1	121
P21	21	K	7	5	6	3,6	114
P22	19	M	6	4	5	3,2	109
P23	22	K	8	6	7	4,3	123
P24	20	M	7	5	6	3,7	116

3.2. Tabela 2. Efekt pozycji seryjnej (% poprawnych przypomnień)

Lista 12 słów dwuzgłoskowych prezentowana w tempie 1 słowo / 2 s. Trzy warunki międzygrupowe: **A** – swobodne przypominanie natychmiastowe; **B** – przypominanie po 30-sekundowym opóźnieniu wypełnionym odliczaniem wstecz (eliminacja świeżości); **C** – uczestnik równocześnie klasyfikuje litery (podwójne zadanie, obciążenie centralnego systemu wykonawczego). Każda grupa n = 30.

Tabela 2. Procent poprawnych przypomnień w zależności od pozycji i warunku. Dane średnie z grupy

Pozycja na liście	Warunek A (natychmiastowe)	Warunek B (opóźnione 30 s)	Warunek C (podwójne zadanie)
1 (początek)	82	78	48
2	76	72	44
3	64	61	39
4	55	53	35
5	48	46	33
6 (środek)	44	42	31
7	46	43	32
8	52	50	34
9	61	57	38
10	70	63	43
11	79	56	47
12 (koniec)	91	48	50

3.3. Tabela 3. Amplitudy P300 i wskaźniki behawioralne (n-back)

Dwanaście spośród 24 uczestników miało równolegle rejestrowane EEG (BrainAmp, 64 kanały, częstotliwość próbkowania 500 Hz). Tabela zawiera uśrednione amplitudy komponentu P300 z elektrody Pz dla celów w warunkach 1-back, 2-back i 3-back oraz odpowiadające im czasy reakcji i dokładność.

Tabela 3. Amplitudy P300 (mikroV) i wskaźniki behawioralne w zadaniu n-back.

Uczestnik	N1 μV	N2 μV	N3 μV	RT 1-back (ms)	RT 2-back (ms)	RT 3-back (ms)	Dokł. 1-back (%)	Dokł. 2-back (%)	Dokł. 3-back (%)
P01	8,4	6,1	4,2	401	487	612	96	88	72
P02	7,8	5,6	3,8	423	512	648	94	85	68
P03	9,1	6,8	4,9	388	465	581	97	91	78
P04	6,9	4,8	3,1	451	546	701	91	80	62
P05	8,2	6,0	4,0	408	493	625	95	87	71
P06	9,8	7,4	5,3	375	445	558	98	93	82
P07	7,5	5,3	3,5	438	528	672	92	82	64
P08	8,5	6,2	4,3	399	484	608	96	88	73
P09	6,6	4,5	2,9	463	558	715	90	78	60
P10	8,9	6,6	4,7	392	471	590	97	90	76
P11	7,7	5,5	3,7	428	516	655	93	84	67
P12	8,3	6,1	4,1	404	491	620	95	87	72

Jak czytać Tabelę 3

N1, **N2**, **N3** to amplitudy **P300** (w mikroV, wartości dodatnie) dla warunków **1-back**, **2-back** i **3-back**. Oczekiwany wzorzec: **N1 > N2 > N3** (spadek amplitudy wraz ze wzrostem obciążenia). Odchylenia od wzorca są diagnostycznie interesujące.

RT i dokładność pozwalają sprawdzić związek między amplitudą ERP a zachowaniem. Uczestnik z wysoką amplitudą P300 powinien wykazywać krótszy RT i wyższą dokładność.

3.4. Tabela 4: Opisy przebiegów ERP (do interpretacji jakościowej)

Tabela 4 zawiera zbiorcze opisy komponentów ERP wyodrębnionych po uśrednieniu ze wszystkich 12 uczestników z zarejestrowanym EEG. Na podstawie tych danych będziesz interpretować zmiany amplitudy i latencji oraz stawiać hipotezy o mechanizmach poznawczych.

Tabela 4. Zbiorcze opisy komponentów ERP dla warunków n-back i zadania semantycznego

Warunek	Komponent	Latencja szczytowa (ms)	Amplituda (mikroV)	Lokalizacja max.	Interpretacja wstępna
1-back cel	P300	340	+8,4	Pz, Cz	Silna aktualizacja modelu; niskie obciążenie PM
2-back cel	P300	395	+6,1	Pz, Cz	Umiarkowane obciążenie; dłuższa latencja
3-back cel	P300	468	+4,2	Pz	Wysokie obciążenie PM; znacząca redukcja amplitudy
1-back nie-cel	N200	235	-3,1	Fz, FCz	Sprawna detekcja dystraktorow; inhibicja reakcji
2-back nie-cel	N200	268	-4,2	Fz, FCz	Większa amplituda N200: trudniejszy proces porównania
3-back nie-cel	N200	312	-5,8	Fz, FCz	Najbardziej rozbudowana detekcja konfliktu
Semantycznie niesp. słowo	N400	420	-7,6	Cz, Pz	Silna odpowiedź na niezgodność semantyczną
Semantycznie sp. słowo	N400	410	-2,1	Cz, Pz	Minimalna odpowiedź: łatwa integracja w kontekst

4. Eksperyment w parach, pomiar własnej pamięci roboczej

Przed przystąpieniem do analizy danych tabelarycznych każda para wykonuje krótkie zadania span według poniższych instrukcji. Jedna osoba jest badającym, druga badanym; następnie role się zamieniają. Wyniki wpisz do arkusza w sekcji 5.2.

4.1. Digit span wprost – instrukcja

Procedura: digit span wprost

Badający odczytuje ciągi cyfr głośno, w tempie jedna cyfra na sekundę, równym głosem bez akcentowania. Badany po każdym ciągu niezwłocznie powtarza usłyszane cyfry w tej samej kolejności.

Zaczynamy od ciągu 3-cyfrowego. Jeśli badany poprawnie powtarza, przechodzimy do 4-cyfrowego itd. Każda długość testowana jest dwukrotnie (dwa różne ciągi). Span wynosi tyle, ile długość ciągu, przy której przynajmniej jedna z dwóch prób jest poprawna.

Ciągi cyfr do odczytu (badający odczytuje po jednym wierszu):

3 cyfry: `4–7–1 / 8–3–6`

4 cyfry: `3–8–2–5 / 7–1–9–4`

5 cyfr: `2–6–4–8–1 / 9–3–7–2–5`

6 cyfr: `5–1–8–3–9–2 / 4–7–2–6–1–8`
7 cyfr: `3–9–1–7–4–2–8 / 6–2–8–5–1–9–3`
8 cyfr: `7–4–2–9–1–6–3–8 / 2–8–5–3–9–4–7–1`
9 cyfr: `5–1–9–3–7–2–8–4–6 / 8–3–6–1–4–9–2–7–5`

4.2. Digit span wspak – instrukcja

Procedura: digit span wspak

Identyczna procedura jak digit span wprost, lecz badany powtarza usłyszane cyfry w odwrotnej kolejności (od końca do początku).

Ciągi cyfr do odczytu:

3 cyfry: `6–2–9 / 4–8–1`
4 cyfry: `1–5–3–8 / 9–2–7–4`
5 cyfr: `7–3–9–1–5 / 2–8–4–6–3`
6 cyfr: `4–1–7–3–8–2 / 6–9–2–5–1–7`
7 cyfr: `8–2–5–1–9–4–7 / 3–7–1–6–4–8–2`

Uwaga: span wspak jest średnio o 1–2 cyfry krótszy niż span wprost – jest to zgodne z normą (WAIS-IV).

4.3. Spatial span – uproszczona wersja papierowa

Procedura: spatial span (wersja papierowa)

Badający wskazuje kolejno pola w siatce 4x4 (patrz: siatka poniżej). Badany po zakończeniu sekwencji wskazuje pola w tej samej kolejności. Każda długość testowana dwukrotnie. Tempo: jedno pole na sekundę.

Siatka 4x4 (badający rysuje siatkę na kartce lub używa siatki z Załącznika A):

```
[ A1 ][ A2 ][ A3 ][ A4 ]
[ B1 ][ B2 ][ B3 ][ B4 ]
[ C1 ][ C2 ][ C3 ][ C4 ]
[ D1 ][ D2 ][ D3 ][ D4 ]
```

Sekwencje do odczytu:

```
3 pola: A1–C3–B2 / D4–A2–C1
4 pola: B3–D1–A4–C2 / A3–C4–B1–D2
5 pól:  D3–B2–A1–C4–D1 / C2–A4–B3–D2–A3
6 pól:  A2–D4–B1–C3–A4–B2 / D1–A3–C2–B4–D3–C1
7 pól:  C4–A1–D2–B3–C1–A4–D3 / B2–D4–A3–C2–B1–D1–A2
```

5. Instrukcja analizy danych

5.1. Analiza tabeli 1: Zadania span

1. **Statystyki opisowe:** Oblicz średnią (M), odchylenie standardowe (SD) i zasięg (min–max) dla digit span wprost, digit span wspak, spatial span i reading span dla całej grupy (n = 24).
2. **Różnice między miarami:** Czy digit span wprost jest większy od digit span wspak u każdego uczestnika? Oblicz różnicę wprost – wspak dla każdego uczestnika i podaj zakres tej różnicy.
3. **Liczba Millera a liczba Cowana:** Porównaj średną digit span wprost z prognozą Millera (7 +- 2) i Cowana (4 ± 1). Który model lepiej opisuje Twoje dane?

4. **Korelacja span – IQ:** Oblicz współczynnik korelacji Pearsona między reading span a wynikiem IQ. Zinterpretuj wielkość efektu. Porównaj z prognozą Conway i in. (2003): r = 0,60–0,90.
5. **Hierarchia span:** Która miara span wykazuje najwyższy związek z IQ? Co sugeruje to o różnicy między prostym przechowywaniem (digit span) a pamięcią roboczą z przetwarzaniem (reading span)?

5.2. Analiza tabeli 2: Efekt pozycji seryjnej

1. **Krzywa pozycji seryjnej:** Utwórz wykres liniowy z pozycją na osi X (1–12) i procentem poprawnych przypomnień na osi Y (0–100), osobną linią dla każdego warunku. Wykres musi mieć tytuł, opisane osie i legendę.
2. **Identyfikacja efektów:** Zdefiniuj obszar pierwszeństwa (pozycje 1–3) i obszar świeżości (pozycje 10–12). Oblicz średnią % poprawnych w każdym obszarze osobno dla trzech warunków.
3. **Wpływ opóźnienia:** Porównaj warunek A z B. Jak zmienił się efekt świeżości? Jak zmienił się efekt pierwszeństwa? Wyjaśnij mechanizm tych różnic w oparciu o model Baddeleya.
4. **Wpływ podwójnego zadania:** Porównaj warunek A z C. Które pozycje ucierpiały najbardziej? Co to mówi o roli centralnego systemu wykonawczego w formowaniu efektu pozycji seryjnej?

5.3. Analiza tabeli 3: P300 i wskaźniki behawioralne

1. **Wzorzec amplitudy:** Oblicz średnią amplitudę P300 dla każdego warunku n-back (kolumny N1, N2, N3) na podstawie danych z 12 uczestników. Narysuj wykres słupkowy: amplituda (os Y) vs warunek n-back (os X) z paskami błędu (SD).
2. **Związek amplitudy z dokładnością:** Oblicz korelację Pearsona między amplitudą P300 w warunku 2-back (kolumna N2) a dokładnością w tym samym warunku (kolumna 9). Zinterpretuj kierunek i siłę korelacji.
3. **Związek amplitudy z czasem reakcji:** Oblicz korelację między amplitudą P300 w warunku 3-back (N3) a RT w warunku 3-back. Oczekiwany kierunek: ujemny (wyższa amplituda → krótszy RT). Sprawdź, czy dane potwierdzają to przewidywanie.
4. **Kto jest wydajny?** Zidentyfikuj trzech uczestników z najwyższą i trzech z najniższą amplitudą N1. Czy grupy te różnią się pod względem dokładności i RT w warunkach 2-back i 3-back?

5.4. Analiza tabeli 4: Interpretacja jakościowa ERP

1. **Wzorzec P300 w n-back:** Opisz zmianę latencji i amplitudy P300 wraz ze wzrostem n (1→2→3). W jaki sposób te dwie miary ną po sobie świadczą o pojęciu ‚obciążenie pamięci roboczej'?
2. **Wzorzec N200:** Jak zmienia się N200 (latencja i amplituda) między warunkami 1-back, 2-back i 3-back? Co to sugeruje o procesie porównania w pamięci roboczej?
3. **N400 i semantyczna zgodność:** Porównaj amplitudy N400 dla słów semantycznie zgodnych i niezgodnych. Jaki efekt wielkości można szacować z tych danych? Co mówi to o automatyczności integracji semantycznej?
4. **Synteza metod:** Czy wskaźniki behawioralne (RT, dokładność) i neuronalne (P300) prowadzą do tych samych wniosków o pojemności pamięci roboczej? W którym miejscu wyniki się rozchodzą i jak to interpretować?

6. Arkusze wyników: do wypełnienia podczas zajęć

Imię i nazwisko: **Numer albumu:** **Partner analityczny:**	
Data zajęć:	

6.1. Wyniki własnego pomiaru span

Pomiar własny – para	Dane / odpowiedz studenta
Imię i nazwisko Badanego 1:	
Digit span wprost – Badany 1:	liczba cyfr (span)
Digit span wspak – Badany 1:	liczba cyfr (span)
Spatial span – Badany 1:	liczba pól (span)
Imie i nazwisko Badanego 2:	
Digit span wprost – Badany 2:	
Digit span wspak – Badany 2:	
Spatial span – Badany 2:	
Czy wyniki mieszczą się w normie (porównaj z tabelą 1)?	tak / nie / częściowo – opisz

6.2. Wyniki analizy Tabeli 1

Statystyki opisowe – span tasks	Dane / odpowiedz studenta
Digit span wprost: M (SD) [min–max]:	
Digit span wspak: M (SD) [min–max]:	
Spatial span: M (SD) [min–max]:	
Reading span: M (SD) [min–max]:	
Korelacja reading span – IQ (r Pearsona):	r = ____; p ocenione jako: niski / średni / wysoki efekt
Który model lepiej opisuje dane: Miller czy Cowan?	uzasadnienie liczbowe

6.3. Wyniki analizy Tabeli 2

Efekt pozycji seryjnej	Dane / odpowiedz studenta
średni % poprawnych, obszar pierwszeństwa (poz. 1–3), warunek A:	%
średni % poprawnych, obszar świeżości (poz. 10–12), warunek A:	%
średni % poprawnych, obszar świeżości, warunek B:	%
Zmiana efektu świeżości A vs B (różnica % punktów):	pkt proc.
Zmiana efektu pierwszeństwa A vs B:	pkt proc.
średni % poprawnych – środek listy (poz. 5–8), warunek A vs C:	A: ____ %; C: ____ %
Wniosek o roli CSW w efekcie pozycji seryjnej:	

6.4. Wyniki analizy Tabeli 3

P300 i wskaźniki behawioralne	Dane / odpowiedz studenta
średnia amplituda P300: N1 / N2 / N3 (mikroV)	____ / ____ / ____

P300 i wskaźniki behawioralne	Dane / odpowiedz studenta
Spadek amplitudy N1 → N3 (%)	%
Korelacja P300(N2) – dokładność 2-back: r =	r = ____; kierunek: dodatni / ujemny
Korelacja P300(N3) – RT 3-back: r =	r = ____; kierunek: dodatni / ujemny
Trzej uczestnicy z najwyższą amplitudą N1	ID, średni RT 3-back, dokł. 3-back
Trzej uczestnicy z najniższą amplitudą N1	ID, średni RT 3-back, dokł. 3-back

7. Protokół analityczny – pytania do opracowania

7.1. Pamięć robocza i modele

Nr	Pytanie analityczne	Odpowiedz / notatka
1	Na podstawie Tabeli 1: czy średni digit span wprost jest bliższy prognozie Millera (7 ± 2) czy Cowana (4 ± 1)? Skąd bierze się ta różnica? Opisz rolę chunków w wyjaśnieniu rozbieżności.	
2	Digit span wprost jest prawie zawsze dłuższy od wspak. Jakie dwa składniki pamięci roboczej są zaangażowane odpowiednio w obu zadaniach? Dlaczego zadanie wspak wymaga większego udziału centralnego systemu wykonawczego?	
3	Korelacja reading span z IQ powinna być wyższa niż korelacja digit span wprost z IQ. Sprawdźź to na Tabeli 1 (oblicz obie korelacje). Co ta różnica mówi o tym, który subsystem pamięci roboczej jest kluczowy dla inteligencji płynnej?	
4	Pacjent z izolowanym uszkodzeniem lewej kory skroniowej (efekt: trudności z powtarzaniem dźwięków) miałby zaburzoną pętlę fonologiczną, ale nienaruszony notatnik wzrokowo-przestrzenny. Jak przewidujesz jego wyniki w Tabeli 1 (digit span vs spatial span)? Uzasadnij w oparciu o model Baddeleya.	

7.2. Efekt pozycji seryjnej

Nr	Pytanie analityczne	Odpowiedz / notatka
1	Na podstawie Tabeli 2: dlaczego opóźnienie 30 s eliminuje efekt świeżości, ale nie efekt pierwszeństwa? Opisz mechanizm dla każdego z efektów oddzielnie, odwołując się do modelu Baddeleya.	
2	Warunek C (podwójne zadanie) redukuje efekt na środkowych pozycjach listy najbardziej. Jak to wyjaśnić w oparciu o koncepcję obciążenia centralnego systemu wykonawczego? Dlaczego pozycje końcowe w warunku C są względnie lepiej zapamiętane od początkowych?	
3	Model SIMPLE (Brown i in., 2007) wyjaśnia efekt pozycji seryjnej bez odwołania do odrębnych systemów pamięci. Jakie przewidywanie tego modelu można przetestować na podstawie Tabeli 2? Czy dane z Tabeli 2 potwierdzają czy podważają model SIMPLE?	

7.3. Dane ERP i neuronauki poznawcze

Nr	Pytanie analityczne	Odpowiedz / notatka
1	Opisz wzorzec zmiany amplitudy i latencji P300 między warunkami 1-back, 2-back i 3-back (Tabela 4). Która z tych dwóch miar jest lepszym wskaźnikorem obciążenia pamięci roboczej i dlaczego?	
2	N200 rośnie (amplituda staje się bardziej ujemna) wraz ze wzrostem n. Jak to wyjaśnić w kontekcie procesu porównania w zadaniu n-back? Która teoria uwagi z Lab1 (Load Theory, FIT) jest sprzeczna z tym wynikiem, a która z nim spójna?	
3	Amplituda N400 dla słów semantycznie niezgodnych jest wielokrotnie większa niż dla zgodnych. Czy ten wynik świadczy o tym, że integracja semantyczna jest procesem automatycznym czy kontrolowanym? Odwołaj się do modelu z Lab 1 (wczesne vs późne filtrowanie).	
4	Wyobraź sobie, że uczestnik z Tabeli 3 ma wysoką amplitudę P300 w warunku 1-back, ale jej amplituda nie spada proporcjonalnie między 1-back a 3-back (załóż: N1 = 9,8 mikroV, N3 = 9,1 mikroV). Jak zinterpretować taki profil? Jakie dodatkowe dane pozwoliłyby rozstrzygnąć, czy to wyjątkowo duża pojemność PM, czy strategia taktyczna?	

7.4. Integracja i ograniczenia

Nr	Pytanie analityczne	Odpowiedz / notatka
1	Zadania span (Tabela 1) i dane ERP (Tabela 3) są dwoma różnymi sposobami operacjonalizacji pojemności pamięci roboczej. Które podejście ma wyższą trafność teoretyczną, a które wyższą trafność ekologiczną? Uzasadnij.	
2	Jakie trzy główne ograniczenia ma badanie pamięci roboczej wyłącznie za pomocą zadań span? Zaproponuj dwa inne paradygmaty, które uzupełniłyby te braki.	

8. Zadanie domowe i literatura

Zadanie domowe (na Lab 3)

Napisz krótki raport z analizy (min. 700 słów, styl APA 7) zawierający: (1) tabelę statystyk opisowych dla czterech miar span; (2) wykres krzywych pozycji seryjnej dla trzech warunków; (3) wykres amplitudy P300 w funkcji n-back z paskami błędu; (4) interpretację wyników w odniesieniu do modelu Baddeleya i Hitcha.

Raport musi zawierać jeden akapit poświęcony ograniczeniom metodologicznym analizy danych wbudowanych w instrukcję (brak randomizacji uczestników, brak warunku kontrolnego itp.).

Forma: plik .pdf lub .docx, czcionka 11 pt Calibri, marginesy 2,5 cm. Termin: do początku Lab 3.

8.1. Literatura obowiązkowa

1. **Baddeley, A. D. i Hitch, G. J. (1974).** Working memory. W: G. Bower (red.), The Psychology of Learning and Motivation (t. 8, s. 47–89). Academic Press.
2. **Baddeley, A. D. (2000).** The episodic buffer: A new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 4(11), 417–423.

3. **Cowan, N. (2001).** The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. Behavioral and Brain Sciences, 24(1), 87–114.
4. **Glanzer, M. i Cunitz, A. R. (1966).** Two storage mechanisms in free recall. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 5(4), 351–360.
5. **Nęcka, E., Chwila, J. i Szymura, B. (2013).** Psychologia poznawcza. PWN. [Rozdział 5: Pamięć robocza i krótkotrwała]

8.2. Literatura uzupełniająca

6. **Miller, G. A. (1956).** The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review, 63(2), 81–97.
7. **Daneman, M. i Carpenter, P. A. (1980).** Individual differences in working memory and reading. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19(4), 450–466.
8. **Conway, A. R. A., Kane, M. J. i Engle, R. W. (2003).** Working memory capacity and its relation to general intelligence. Trends in Cognitive Sciences, 7(12), 547–552.
9. **Polich, J. (2007).** Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. Clinical Neurophysiology, 118(10), 2128–2148.
10. **Luck, S. J. (2014).** An Introduction to the Event-Related Potential Technique (2nd ed.). MIT Press. [Rozdziały 3 i 6]
11. **Brown, G. D. A., Neath, I. i Chater, N. (2007).** A temporal ratio model of memory. Psychological Review, 114(3), 539–576.

Załącznik nr 1

Siatka 4×4 do zadania spatial span

Siatka główna 1

A1	A2	A3	A4
B1	B2	B3	B4
C1	C2	C3	C4
D1	D2	D3	D4

Siatka główna 2

A1	A2	A3	A4
B1	B2	B3	B4
C1	C2	C3	C4
D1	D2	D3	D4

Siatka dodatkowa / treningowa 1

A1	A2	A3	A4
B1	B2	B3	B4
C1	C2	C3	C4
D1	D2	D3	D4

Siatka dodatkowa / treningowa 2

A1	A2	A3	A4
B1	B2	B3	B4
C1	C2	C3	C4
D1	D2	D3	D4

Miejsce na notatki