

## VÝVOJ A PILOTNÍ OVĚŘENÍ METODY K MĚŘENÍ VIZUÁLNĚ- PROSTOROVÉHO ÚLOŽIŠTĚ U DĚTÍ HERNÍ FORMOU

*Bc. Daniel Vokál*

Katedra psychologie, Fakulta sociálních studií, Masarykova univerzita, Brno, Česká republika

Danek.vokal@seznam.cz

### **Abstrakt**

Cílem této studie bylo vytvořit novou metodu pro měření vizuálně-prostorového krátkodobého úložiště (jedné z úzkých schopností pracovní paměti v rámci současné CHC taxonomie) a pilotně ověřit její psychometrické vlastnosti. Tato studie vznikala v rámci projektu Invenio, jenž si klade za cíl vytvoření komplexního a uživatelsky přístupného systému k diagnostice kognitivních schopností u dětí mladšího školního věku. Test s pracovním názvem Sledování špiona spočívá ve zhlédnutí a zapamatování si trasy pohybujícího se objektu a následném rozpoznání správné trasy ze čtyř možností. V rámci ověření validity byly použity dva etablované testy úzkých schopností pracovní paměti – *Block-tapping forward* pro souběžnou validitu a *Digit span forward* pro divergentní validitu. Výzkumný soubor tvořilo 200 respondentů z 1. až 8. třídy, kteří dokončili sérii počítačových testů buďto doma, nebo v rámci školního vyučování. Odhad vnitřní konzistence nové metody po vyřazení problematických položek činil  $\omega = 0,59$ . Pomocí konfirmační faktorové analýzy nové metody a divergentního testu byla nalezena podpora pro dvou faktorové řešení ( $TLI = 0,91$ ;  $RMSEA = 0,22$ ;  $SRMR = 0,07$ ), faktorové náboje položek nové metody však byly spíše slabé. Mezi latentními faktory se navzdory předpokladům vyskytla středně silná pozitivní korelace ( $r = 0,49$ ), zatímco korelace nové metody se souběžným testem dosáhla pouze malého účinku ( $r = 0,31$ ). Tyto výsledky naznačují, že nová metoda musí projít výraznými inovacemi, má-li jednou sloužit jako užitečný diagnostický nástroj. Návrhy možných inovací a limity tohoto výzkumu jsou v práci diskutovány.

**Klíčová slova:** CHC teorie, kognitivní schopnosti, pracovní paměť, vizuálně-prostorové krátkodobé úložiště, vývoj testu, Corsiho kostky, Digit span forward, počítačové testování, školní věk, CFA

## **Abstract**

The goal of this study was to form a new measurement method for visual-spatial short-term storage, which is, according to the most recent CHC taxonomy, one of the narrow abilities within working memory, and assess its psychometric properties. This thesis is a part of a broader project called Invenio, which aims to create a complex and user-friendly diagnostic system for cognitive abilities of young school-aged children. The purpose of the test called ‚Tracking the spy‘ is to watch a moving object, memorize it, and then recognize the correct path out of four options. For the purpose of validation, two well-established tests of narrow abilities within working memory were used – Block-tapping forward for convergent validity and Digit span forward for divergent validity. The sample consists of 200 respondents who attend 1<sup>st</sup> to 8<sup>th</sup> grade and who finished the test either at home or during a school lesson. The internal consistency estimation after the problematic items were removed was  $\omega = 0,59$ . Confirmatory factor analysis of the new method and the divergent test supported two-factor solution ( $TLI = 0,91$ ;  $RMSEA = 0,22$ ;  $SRMR = 0,07$ ), factor loadings of items were, however, rather weak. We found a medium positive correlation between the two latent factors ( $r = 0,49$ ), whereas correlation of the new method with the convergent test had just a weak effect size ( $r = 0,31$ ). These results imply that the new method must undergo some significant innovations, should it become a useful diagnostic instrument one day. Recommendations for further development and limits of this study are discussed.

**Key words:** CHC theory, cognitive abilities, working memory, visual-spatial short-term storage, test development, Corsi cubes, Digit span forward, computer-based testing, school age, CFA

## **ÚVOD**

Invenio je online diagnostický systém, který vzniká v rámci IVDMR FSS MU. Jeho účelem je screening kognitivních schopností pomocí testů připomínajících jednoduché videohry; každý z testů je zaměřen na dílčí úzkou schopnost v rámci CHC teorie inteligence (Jabůrek et al., 2020). Úzké schopnosti pracovní paměti byly dosud opomíjeny, přestože tento konstrukt úzce souvisí s obecnou inteligencí (Gignac & Watkins, 2015) a má široké implikace pro každodenní

fungování jedince (Logie, 1993). Cílem této práce je tedy navrhnout a ověřit nový test zaměřený na pracovní paměť.

Pracovní paměť je systém komponent, který umožňuje krátkodobé udržení omezeného množství informací ve stavu zvýšené dostupnosti pro jejich využití jinými kognitivními procesy (Cowan, 2017). Z hlediska CHC teorie se pracovní paměť skládá z několika úzkých schopností: auditorního úložiště (dále jen AU), vizuálně-prostorového úložiště (dále jen VPU), pozornostní kontroly a kapacity pracovní paměti (Schneider & McGrew, 2018). Toto pojetí je integrací evropské experimentální tradice výzkumu pracovní paměti, reprezentované zejména Baddeleym (1986, 2007), a americké psychometrické tradice, reprezentované kupříkladu Kanem a Englem (např. 2002).

AU se dá s trochou zjednodušení ztotožnit s naším vnitřním hlasem, který díky schopnosti krátkodobého udržení verbálních informací umožňuje jejich přechod do dlouhodobé paměti (Baddeley, 1992). VPU je obdobou AU, avšak pro obrazové informace. Tyto dva konstrukty nebývá vždy snadné empiricky odlišit; používáme-li pro testování VPU konkrétní obrazy, AU s tímto měřením zpravidla interferuje (Baddeley, 2007). Z toho důvodu musí být tvůrci vizuálních testů obezřetní, aby nevznikaly pojmenovatelné tvary tam, kde to není žádoucí (Brown et. al, 2006). Poměrně kontroverzní zůstává otázka, zda je VPU empiricky odlišitelné od pozornostní kontroly (pro shrnutí viz Morey, 2018); pro účely této studie je však budeme považovat za dva různé konstrukty.

Nejjednodušším způsobem měření AU je tzv. *digit span forward* (dále jen DSF), tedy prosté verbální zopakování prezentovaných číslic bez dalších kognitivních nároků (Richardson, 2007). Testy na podobném principu jsou součástí mnohých dnešních inteligenčních baterií (např. DAS-II, TOMAL-II, WAIS-IV, WJ COG IV; Dehn, 2015). Vizuální obdobou tohoto testu je tzv. *block-tapping forward* (dále jen BTF), ve kterém je úkolem testovaného zopakovat pořadí kostek označených výzkumníkem (viz Corsi, 1972). Přestože je dnes BTF považován za téměř prototypický test VPU, některé výzkumy udávají poměrně nízkou *test-retest* reliabilitu této metody, a to jak u tradičního způsobu administrace (Lo et al., 2012), tak i u modernější počítačové verze (White et al., 2018).

Během dospívání prochází pracovní paměť prudkým rozvojem (Gathercole, 2002). Vícesložková struktura pracovní paměti je identifikovatelná již u pětiletých dětí (Gathercole et al., 2004; Michalczyk et al., 2013). Zhruba v tomto věku začínají děti konzistentně používat subvokální opakování (Ford & Silber, 1994), které prakticky umožňuje fungování AU. Vedle AU se během dospívání postupně zlepšuje také výkon VPU (Farrell Pagulayan et al., 2006),

což může být způsobeno rychlejším zpracováváním informací či lepší pozornostní kontrolou (Pickering, 2001).

Pracovní paměť je jedním z nejsilnějších prediktorů školního výkonu (Cameron & Glyde, 2014), který navíc umožňuje měření „čistého“ kognitivního potenciálu dítěte, neovlivněného dříve osvojenými vědomostmi (Sedek et al., 2016). Množství studií se zabývalo vztahem pracovní paměti s matematickými schopnostmi, včetně aritmetiky (Cragg et al., 2017), geometrie (Giofrè et al., 2014) a řešením slovních úloh (Passolunghi & Mammarella, 2010). Průměrná korelace VPU s matematickými schopnostmi na základě výsledků metanalýzy činí  $r = 0,31$  (Peng et al, 2016). Dá se proto předpokládat souvislost VPU se školním prospěchem, ačkoliv na ten mají vliv i jiné faktory; například motivace žáka (Broussard, 2004) nebo zapojení ze strany rodiče (Castro et al., 2015).

Cílem této studie je vyvinout a ověřit nový test na měření VPU. V rámci ověření konstruktové validity předpokládáme alespoň střední pozitivní souvislost ( $\geq 0,5$ ) nové metody s testem BTF a na základě výzkumu Graye et al. (2017) nanejvýš nízkou pozitivní souvislost s DSF ( $\leq 0,1$ ). Dále na základě shrnuté teorii předpokládáme významnou pozitivní souvislost s věkem a významnou negativní souvislost se známkou z matematiky za poslední dokončené pololetí.

## **METODA**

### **Výzkumné metody**

**Sledování špiona** je nově vytvořená metoda určená k měření VPU. Úkolem testovaného je sledovat na videu panáčka pohybujícího se po městě, tuto trasu si zapamatovat a následně rozeznat jeho trasu mezi čtyřmi možnostmi. Na odpovědi respondenta je poskytována korektivní zpětná vazba. Test tvoří dohromady 18 položek vzestupné délky trasy, včetně dvou zácvikových. Testové instrukce a položky byly ověřovány v rámci kognitivní pilotáže ( $n = 10$ ), zejména s ohledem na jejich obtížnost a srozumitelnost. Pro tvorbu položek byly použity různé úseky stejné schématické mapy, aby mezi nimi nevznikly výrazné rozdíly ve vizuální komplexitě. Příklady položek jsou k dispozici k nahlédnutí na tomto odkazu: [https://masaryk.eu.qualtrics.com/jfe/form/SV\\_a2BUVzKnyPYHVBA](https://masaryk.eu.qualtrics.com/jfe/form/SV_a2BUVzKnyPYHVBA).

**Digit span forward** (DSF) je metoda k měření AU. Test DSF byl rovněž zkonstruován pro účely této studie a je tvořen 16 položkami. Inspirací pro něj byly etablované testy fungující na stejném principu (např. subtest baterie WISC). Úkolem testovaného je vyslechnout, zapamatovat si a zapsat sekvenci čísel stupňující se délky (viz Příloha 1).

**Block-tapping forward** (BTF) je etablovaná metoda k měření VPU. V této studii jsme použili verzi volně dostupnou na internetové platformě Psytoolkit (Stoet, 2010; 2017). V této metodě je v každé položce náhodně rozmístěno 9 fialových čtverečků, jež postupně žlutě problikávají; úkolem testovaného je zapamatovat si tuto sekvenci a zopakovat ji. Test končí po třech chybách v řadě a je administrován dvakrát po sobě. Z důvodu nevýznamného efektu zácvičku pozorovaného u BTF (Lemay et al., 2004) považujeme v tomto případě *test-retest* za vhodný způsob odhadu reliability.

Všechny tři testy byly integrovány do online formuláře na platformě Qualtrics, v takovém pořadí, ve kterém zde byly představeny. Formulář byl dále doplněn otázkami demografickými (věk, třída, škola), kontrolními („Jak moc ses u testu snažil/a?“) a zhodnocovacími otázkami („Nakolik tě to bavilo?“). Ke každému testu bylo nahráno instruktážní video.

### **Průběh a realizace výzkumu**

Hlavním rámcem pro odhad potřebné velikosti vzorku byly nároky konfirmační faktorové analýzy. S ohledem na nízký předpokládaný počet faktorů byl minimální vzorek stanoven na 180 respondentů, na základě doporučení Mundfroma et al. (2005).

V našem vzorku se v důsledku proměnlivé epidemiologické situace nachází data jak z domácího, tak i ze školního testování. Rovněž byla vzhledem k okolnostem rozšířena cílová populace na veškeré žáky základních škol, z důvodu obav z nedosažení stanovené velikosti vzorku.

V první fázi sběru dat bylo pomocí e-mailu osloveno 114 zástupců škol ze všech okresů ČR. Vzhledem k nízkému poměru odpovědí (3,51 %) jsme se následně rozhodli oslovit rodiče a školní psychology na sociálních sítích a také dvacet škol, které na projektu spolupracují dlouhodobě.

V konzistenci s principy Open Science (viz Nosek et al., 2018) byla práce preregistrována. Publikované informace včetně *raw data setu* jsou dostupné na této adrese: <https://osf.io/zd9kj/>. K analýze dat byly využity softwary Microsoft Excel, JASP a IBM SPSS 26.

### **Výzkumný soubor**

Z původních 269 započatých odpovědí byli vyřazeni všichni respondenti, kteří nedokončili alespoň první test, nahlásili technické potíže, přiznali minimální snahu v kontrolní položce nebo odpovídali v testu DSF zcela nahodilými kombinacemi. Alespoň Sledování špiona dokončilo

200 žáků (88 dívek), DSF dokončilo 168 žáků a BTF dokončilo 103 žáků. V Tabulce 1 jsou k vidění počty žáků podle tříd a pohlaví:

**Tabulka 1**

Četnost žáků jednotlivých tříd podle pohlaví

Třída	Chlapci	Dívky	Celkem
1.	2	2	4
2.	12	14	26
3.	7	6	13
4.	32	25	57
5.	57	39	96
6.	1	2	3
8.	1	0	1

Průměrný věk činil 9,6 let ( $SD = 1,3$ ); jeden žák svůj věk neuvedl. Ve škole bylo testováno 145 žáků, 55 žáků se výzkumu zúčastnilo z domova. Co se týče prospěchu z matematiky, 143 žáků (71,5 %) dostalo při posledním vysvědčení jedničku, 40 žáků (20 %) dvojku, 8 žáků (4 %) trojku a 1 žák (0,5 %) čtyřku. Osm žáků (4 %) na položku neodpověděli, nebo žádnou známku dosud neobdrželi.

## VÝSLEDKY

### Popisné statistiky

V Tabulce 2 jsou k vidění popisné statistiky domácí a školní skupiny respondentů. Pomocí nepárových t-testů bylo ověřeno, že se od sebe výkony těchto dvou skupin významně liší u všech tří testů (Sledování špiona:  $t(198) = 3,01$ ;  $p = 0,003$ ; Cohenovo  $d = 0,49$ ; DSF:  $t(166) = 6,73$ ;  $p < 0,001$ ; Cohenovo  $d = 1,19$ ; BTF:  $t(101) = 1,63$ ;  $p = 0,11$ ;  $d = 0,33$ ). Na základě velikosti účinku jsme z analýzy vyřadili data z domácího testování DSF; u této metody je velmi snadné podvádět a mnozí žáci této možnosti s nejvyšší pravděpodobností využili. Položková analýza metody DSF není součástí Výsledků a je k dispozici v rámci Příloh 2 a 3.

**Tabulka 2**

Popisné statistiky použitých testů

Název testu	místo	N	Průměr	CI 95%	SD	Med	Min	Max	šikmost	špičatost
Sledování špiona	škola	145	7,16	[6,73; 7,59]	2,64	7	2	16	0,2	0,73
	domov	51	8,45	[7,72; 9,18]	2,63	8	3	14	0,15	-0,55
Digit span forward	škola	120	7,28	[6,91; 7,65]	2,13	7	3	13	0,7	-0,24
	domov	44	9,89	[9,18; 10,6]	2,37	10	5	14	0,49	-0,67
Block-tapping forward	škola	63	5,04	[4,8; 5,28]	0,97	5	3	8	0,67	1,86
	domov	37	5,37	[5,04; 5,7]	1,04	5,5	2	7,5	-0,72	-0,55

**Položková analýza testu Sledování špiona**

Abychom ověřili vhodnost využití domácích dat ze Sledování špiona pro odhad vnitřní konzistence, porovnali jsme položkové analýzy modelu se všemi daty oproti modelu s pouze školními daty. V Tabulce 3 se nachází údaje o tzv. *item-rest* korelacích, tedy síly vztahu jednotlivých položek s celkovým skórem v testu, a popularitě, která vyjadřuje poměr správných odpovědí. Vzhledem k relativně nízkým a nesystematickým rozdílům v korigovaných korelacích mezi oběma modely jsme se rozhodli data z domácího testování v modelu ponechat. Souhrnné rozložení skóreů ze Sledování špiona je k vidění na Grafu 1.

**Tabulka 3**

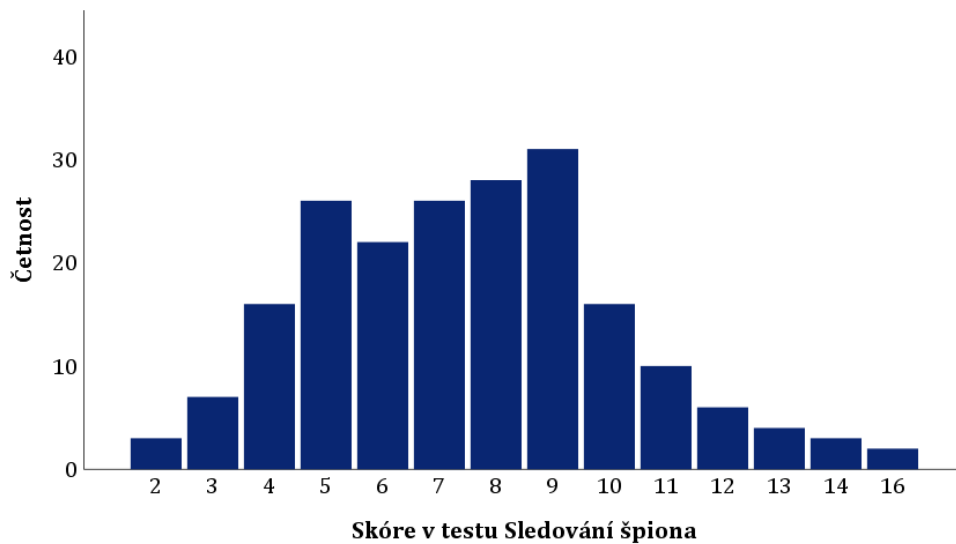
Položková analýza testu Sledování špiona

Položka	McDonaldova $\omega^a$	Cronbachova $\alpha^a$	Korig. IRC	Popularita	Rozdíl <sup>b</sup> korig. IRC
1	0,51	0,50	0,22	0,54	0,03
2	0,52	0,51	0,19	0,72	0,01
3	0,55	0,54	0,02	0,64	-0,02
4	0,52	0,51	0,16	0,57	-0,01
5	0,50	0,49	0,25	0,58	0,02
6	0,55	0,54	0,02	0,42	-0,03
7	0,52	0,51	0,15	0,40	0,01
8	0,55	0,54	0,01	0,59	0,00
9	0,50	0,48	0,31	0,41	0,06
10	0,51	0,50	0,23	0,28	0,01
11	0,50	0,49	0,28	0,38	0,06
12	0,52	0,51	0,20	0,51	0,01
13	0,49	0,48	0,32	0,53	0,02
14	0,52	0,51	0,18	0,36	0,01
15	0,54	0,53	0,10	0,38	-0,02
16	0,50	0,49	0,29	0,26	-0,01

**Poznámka:** <sup>a</sup> po vyřazení položky; <sup>b</sup> model se všemi daty minus model pouze se školními daty

### Graf 1

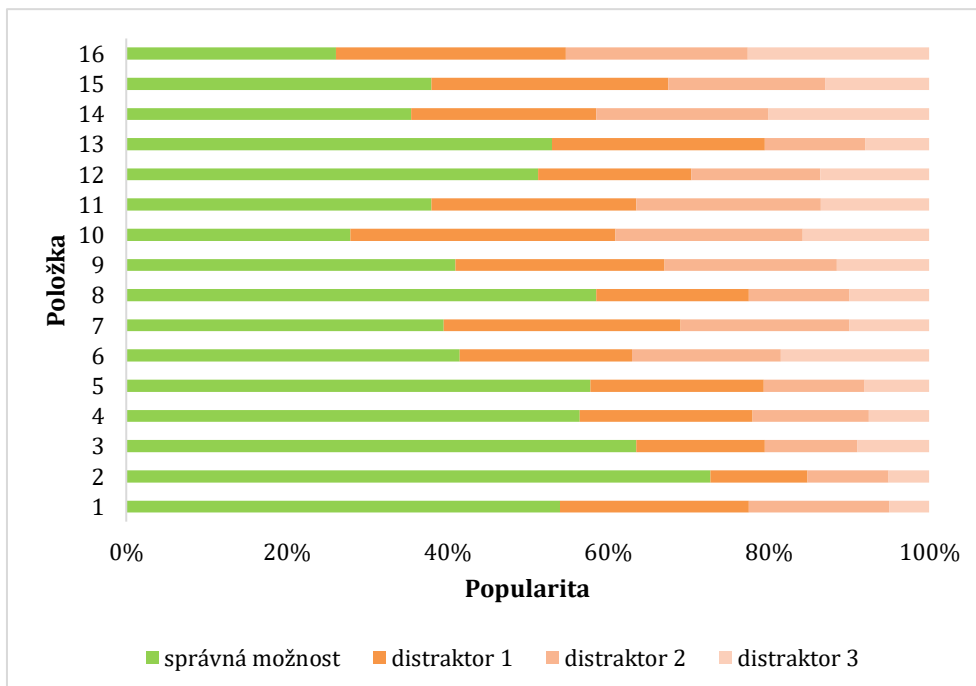
Histogram skórář testu Sledování špiona



Napříč testem Sledování špiona platí, že každý distraktor byl zvolen alespoň v 5 % případů. U většiny položek (10 z 16) byl zvolen alespoň v 10 % případů, jak je patrné na Grafu 2.

### Graf 2

Popularita jednotlivých možností u položek testu Sledování špiona



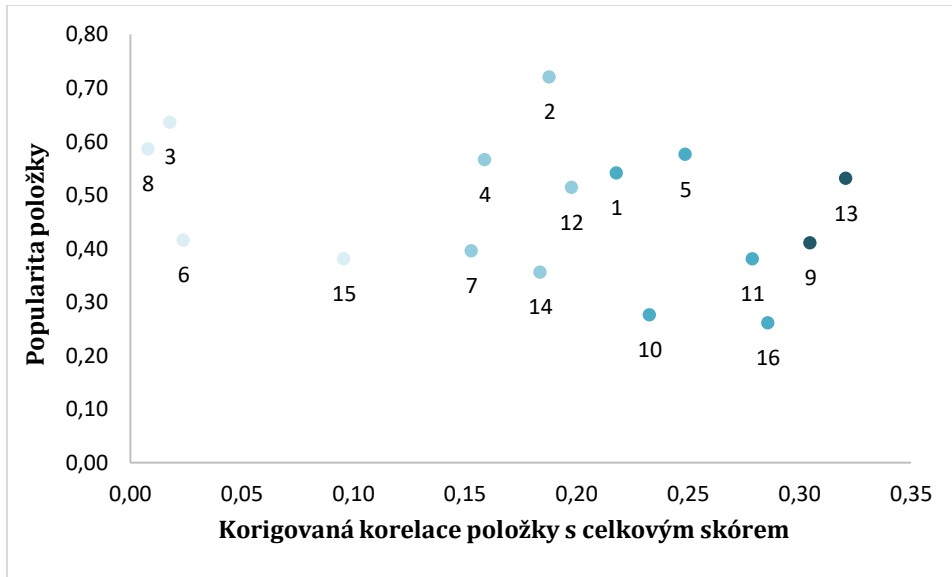
Kompletní verze testu dosáhla pouze nízké vnitřní konzistence (McDonaldova  $\omega = 0,54$ ; 95% CI [0,44; 0,63]; Cronbachova  $\alpha = 0,53$ ; 95% CI [0,42; 0,61]). Následně jsme proto vyřadili položky 3, 6, 8 a 15, u kterých byly korigované korelace se zbytkem testu nižší než 0,1 (viz



Graf 3; sytější odstíny indikují vyšší korigovanou korelaci). Tímto způsobem došlo k mírnému navýšení vnitřní konzistence (McDonaldova  $\omega = 0,59$  [0,50; 0,67]; Cronbachova  $\alpha = 0,58$  [0,49; 0,66]).

### Graf 1

Scatter plot popularity a korigovaných korelací položek testu Sledování špiona



### Faktorové analýzy

Konfirmační faktorová analýza byla provedena na datech žáků, kteří dokončili oba úvodní testy a kteří nebyli vyřazeni z důvodu nedbalosti ( $N = 120$ ). Na základě teorie byl uplatněn dvou faktorový model s metodou odhadu *Maximum Likelihood*. Tento model disponuje neuspokojivými hodnotami indexů fitu ( $TLI = 0,65$ ;  $SRMR = 0,081$ ), s výjimkou absolutního indexu ( $RMSEA = 0,049$ ;  $90\% CI [0,035; 0,061]$ ). Z tohoto důvodu byly z modelu postupně vyřazovány položky, jež se během položkové analýzy ukázaly být jako problematické. U takto upraveného modelu došlo ke zlepšení u všech ukazatelů fitu ( $TLI = 0,91$ ;  $SRMR = 0,073$ ;  $RMSEA = 0,022$ ;  $90\% CI [0,001; 0,045]$ ). Lepší shodu s daty značí i pokles hodnoty chí kvadrátu ( $\Delta\chi^2 = -266,24$ ;  $\Delta df = -168$ ) a snížení hodnoty BIC z 3772,72 na 2848,51 ( $\Delta = -924,21$ ). Tento výsledný model můžeme vidět v Tabulce 4.

**Tabulka 4**Konfirmační faktorová analýza položek testů Sledování špiona a *Digit span forward*

Položka	<i>Faktor 1</i> <sup>a</sup>	<i>SE</i>	Položka	<i>Faktor 2</i> <sup>a</sup>	<i>SE</i>
spy_1	0,12	0,06	dsf_2	0,01	0,02
spy_2	0,10	0,05	dsf_4	0,01	0,02
spy_4	0,09	0,06	dsf_6	0,09	0,04
spy_5	0,07	0,06	dsf_7	0,19	0,05
spy_7	0,18	0,06	dsf_8	0,20	0,05
spy_9	0,23	0,06	dsf_9	0,24	0,04
spy_10	0,16	0,05	dsf_10	0,21	0,05
spy_11	0,19	0,05	dsf_11	0,22	0,04
spy_12	0,14	0,06	dsf_12	0,15	0,03
spy_13	0,16	0,06	dsf_14	0,14	0,03
spy_14	0,14	0,06	–	–	–
spy_15	0,08	0,06	–	–	–

**Poznámka:** <sup>a</sup> faktorové náboje

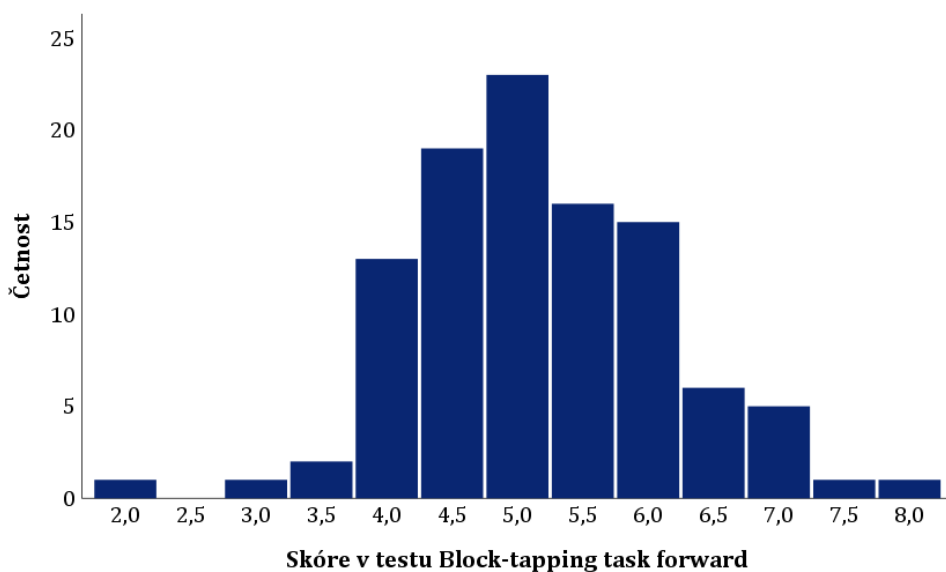
Hodnoty faktorových nábojů se pohybují pouze v rozpětí mezi 0,07 a 0,23 u Sledování špiona a mezi 0,01 a 0,24 u testu DSF. Korelace latentních faktorů je navíc mnohem vyšší, nežli bylo na základě teorie očekáváno ( $r = 0,46$ ; 95% *CI* [0,22; 0,71]), což indikuje významnou korelaci některých položek s více faktory zároveň. Navazující explorační analýza ukázala, že tuto vlastnost vykazuje téměř polovina položek z testu Sledování špiona (viz Příloha 4).

### Korelační analýzy

Na Grafu 4 jsou k vidění výsledky z testu BTF; tyto skóry vznikly zprůměrováním obou pokusů. *Test-retest* reliabilita BTF, jež byla odhadnuta na vzorku 84 respondentů, se ukázala být velmi nízkou ( $rxx' = 0,41$ ). Relativně nízká je také korelace BTF se zkráceným testem Sledování špiona ( $r = 0,31$ ; 95% *CI* [0,1; 0,45]). Po provedení korekce proti nereliabilitě se však zmíněná korelace výrazně zvýší ( $r' = 0,63$ ).

#### Graf 4

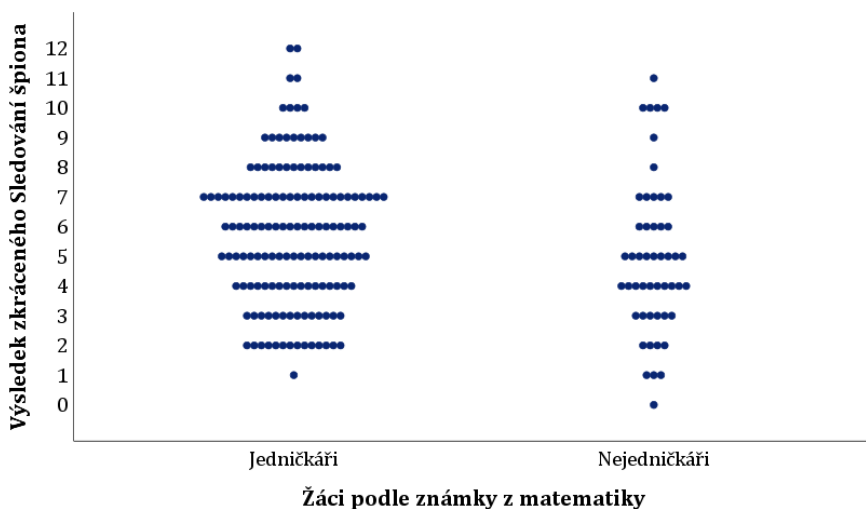
Histogram skóreů testu *Block-tapping forward*



Zkrácený test Sledování špiona dosahuje pouze slabé pozitivní korelace s věkem ( $r = 0,21$ ; 95% *CI* [0,02; 0,39]), korigovaná korelace je mírně vyšší ( $r' = 0,27$ ). Z důvodu nízkého zastoupení některých ohodnocení z matematiky jsme spojili skupiny žáků s horší známkou než jedničkou a provedli porovnání těchto dvou kategorií (viz Graf 5). Výsledek nepárového t-testu nasvědčuje, že mezi jedničkáři a nejedničkáři existuje rozdíl s malou velikostí účinku ( $t(191) = 1,89$ ;  $p = 0,05$ ;  $d = 0,32$ ). Vzhledem k *post hoc* povaze tohoto zjištění je však třeba přistupovat k němu obezřetně.

#### Graf 5

Jitter plot skóreů testu Sledování špiona podle známky z matematiky



## DISKUZE

### Zhodnocení dílčích důkazů validity

Cílem této práce bylo vytvořit novou metodu na měření vizuálně-prostorového úložiště (Schneider & McGrew, 2018) u dětí a pilotně ověřit její psychometrické vlastnosti. Výsledkem je test Sledování špiona o 16 položkách, z nichž byly 4 na základě analýz vyřazeny.

Přestože se částečně podařilo podpořit předpokládanou dvoufaktorovou strukturu, faktorové náboje jednotlivých položek jsou extrémně nízké. Relativně nízká je také vnitřní konzistence Sledování špiona ( $\omega = 0,59$ ). Vzhledem k aspiraci této metody na využití v praktické diagnostice bude zapotřebí její výrazné zlepšení.

Dílčí důkaz proti konstruktové validitě Sledování špiona představuje skutečnost, že dosahuje pouze slabé pozitivní korelace s *block-tapping forward*, etablovaným testem VPU. Tento výsledek však může být významně podhodnocen vlivem nízké reliability obou použitých metod, jak naznačuje velikost korigované korelace ( $r' = 0,63$ ).

Na základě faktorové analýzy byla nalezena středně silná pozitivní korelace obou latentních faktorů. Tento výsledek naznačuje, že výkon respondentů na testu Sledování špiona je vedle konstruktů VPU ovlivněn také auditorním úložištěm. Ačkoliv jsme v souladu s doporučením Dehna (2015) použili schématickou mapu bez detailů nebo staveb, položky nové metody zřejmě přesto obsahuje určitá vodítka, která je možné verbálně zakódovat.

Dále se na výkonu ve Sledování špiona mohly podílet metakognitivní schopnosti žáka, které se u dětí mladšího školního věku již pozvolna rozvíjejí (Fisher, 1998). Jeden respondent v rámci kognitivní pilotáže například referoval, že následoval panáčka pomocí kurzoru a tímto si trasu „opakoval“.

Konzistentní s předpoklady je malá pozitivní korelace Sledování špiona s věkem. V souladu s teorií je také malá velikost účinku rozdílu mezi jedničkáři a nejedničkáři. Tento poznatek však vychází z *post hoc* úpravy dat, vynucené z důvodu nízkého zastoupení „špatných známek“ v našem výzkumném souboru, a poskytuje tak pouze nepřímou podporu pro validitu nové metody. Nerovnoměrné zastoupení prospěchu z matematiky může souviset s tím, že žáci obdrželi tyto známky po několikaměsíčním uzavření škol, což se patrně projevilo na způsobu hodnocení.

## **Limity výzkumu**

Vysoká míra nevysvětleného rozptylu ve faktorových analýzách může být důsledkem obecně nízké kontroly nad sběrem dat. Z důvodu fyzické nepřítomnosti výzkumníků u administrace metod nebylo možné pružně reagovat na technické a jiné potíže žáků.

V důsledku úbytku respondentů v průběhu testování se nepodařilo naplnit minimální stanovený vzorek, který byl odhadnut na 180 žáků. Omezená velikost vzorku však má vliv zejména na hodnoty některých indexů fitu (Marsh et al., 1988), a nelze jí tedy připsat obecně nízké hodnoty faktorových nábojů.

Přestože jsme cílili na školy ve všech okresech, výzkumný soubor tvoří především žáci z velkých měst, a neblíží se proto reprezentativnosti populace žáků mladšího školního věku v ČR. Rozhodnou-li se vývojáři systému Invenio tento testovací princip nadále rozvíjet, bude nutné navázat širší standardizační studií.

## **Doporučení pro další vývoj metody**

Kritickými úkoly navazujícího výzkumu bude zlepšení reliability a zamezení využívání strategií (např. verbalizace). Jednou z možností je zvýšení kognitivní zátěže, například přidáním druhé postavičky pohybující se po vlastní trase. Další možnou úpravou je změna principu testu, kdy by testování nevolili správnou ze čtyř možností, ale museli pomoci šipek zopakovat celou trasu po vzoru subtestu Plánek města baterie LGT-3 (Bäumler, 1973). Tímto způsobem by došlo k navýšení rozptylu a v důsledku také k možnému zlepšení reliability.

## **LITERATURA**

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559.  
<https://doi.org/10.1126/science.1736359>

Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford University Press.

Broussard, S. C. (2004). The Relationship Between Classroom Motivation and Academic Achievement in Elementary-School-Aged Children. *Family and Consumer Sciences Research Journal*, 33(2), 106–120. <https://doi.org/10.1177/1077727X04269573>

Bäumler G. (1974). *Lern- und Gedächtnistest LGT-3* [Test učení a paměti (LGT-3)]. Hogrefe.

Brown, L. A., Forbes, D., & McConnell, J. (2006). Short Article: Limiting the use of Verbal Coding in the Visual Patterns Test. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1169–1176. <https://doi.org/10.1080/17470210600665954>

- Cameron, S., & Glyde, H. (2014). Comparison of Two Working Memory Test Paradigms: Correlation with Academic Performance in School-Aged Children. *International Journal of School and Cognitive Psychology*, 1(3). <https://doi.org/10.4172/2469-9837.1000110>
- Castro, M., Expósito-Casas, E., López-Martín, E., Lizasoain, L., Navarro-Asencio, E., & Gaviria, J. L. (2015). Parental involvement on student academic achievement: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 14, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.01.002>
- Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain* [Nepublikovaná disertační práce]. McGill University. <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/05741s554>
- Cowan, N. (2017). The many faces of working memory and short-term storage. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(4), 1158–1170. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1191-6>
- Cragg, L., Richardson, S., Hubber, P. J., Keeble, S., & Gilmore, C. (2017). When is working memory important for arithmetic? The impact of strategy and age. *PLOS ONE*, 12(12), e0188693. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188693>
- Dehn, M. J. (2015). *Essentials of working memory assessment and intervention*. Wiley.
- Farrell Pagulayan, K., Busch, R. M., Medina, K. L., Bartok, J. A., & Krikorian, R. (2006). Developmental Normative Data for the Corsi Block-Tapping Task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28(6), 1043–1052. <https://doi.org/10.1080/13803390500350977>
- Fisher, R. (1998). Thinking About Thinking: Developing Metacognition in Children. *Early Child Development and Care*, 141(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/0300443981410101>
- Flanagan, D. P., & Kaufman, A. S. (2009). *Essentials of WISC-IV assessment* (2nd ed). Wiley.
- Ford, S., & Silber, K. P. (1994). Working memory in children: A developmental approach to the phonological coding of pictorial material. *British Journal of Developmental Psychology*, 12(2), 165–175. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1994.tb00626.x>
- Gathercole, S. E. (2002). *Memory development during the childhood year*. In A. D. Baddeley, M. D. Kopelman, & B. A. Wilson (Eds.), *Handbook of memory disorders* (2nd ed., pp. 475–500). Wiley.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.40.2.177>

- Gignac, G. E., & Watkins, M. W. (2015). There may be nothing special about the association between working memory capacity and fluid intelligence. *Intelligence*, *52*, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.06.006>
- Giofrè, D., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2014). The relationship among geometry, working memory, and intelligence in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *123*, 112–128. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2014.01.002>
- Gray, S., Green, S., Alt, M., Hogan, T., Kuo, T., Brinkley, S., & Cowan, N. (2017). The structure of working memory in young children and its relation to intelligence. *Journal of Memory and Language*, *92*, 183–201. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2016.06.004>
- Jabůrek, M., Portešová, Š. & Straka, O. (2020). Vyvíjíme GIS - Invenio, screeningový online systém pro vyhledávání rozumově nadaných dětí pomocí psychodiagnostických počítačových her. *Školní poradenství v praxi*, *3*, 30–33.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2002). The role of prefrontal cortex in working-memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual-differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 637–671. <https://doi.org/10.3758/BF03196323>
- Lemay, S., Bédard, M.-A., Rouleau, I., & Tremblay, P.-L. (2004). Practice Effect and Test-Retest Reliability of Attentional and Executive Tests in Middle-Aged to Elderly Subjects. *The Clinical Neuropsychologist*, *18*(2), 284–302. <https://doi.org/10.1080/13854040490501718>
- Lo, A. H. Y., Humphreys, M., Byrne, G. J., & Pachana, N. A. (2012). Test-retest reliability and practice effects of the Wechsler Memory Scale-III: Test-retest reliability and practice effect in WMS-III. *Journal of Neuropsychology*, *6*(2), 212–231. <https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2011.02023.x>
- Logie, R. H. (1993). Working memory in everyday cognition. In G. M. Davies & R. H. Logie (Eds.), *Memory in Everyday Life* (pp. 173–218). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61102-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61102-4)
- Marsh, H. W., Balla, J. R., & McDonald, R. P. (1988). Goodness-of-fit indexes in confirmatory factor analysis: The effect of sample size. *Psychological Bulletin*, *103*(3), 391–410. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.103.3.391>
- Michalczyk, K., Malstädt, N., Worgt, M., Könen, T., & Hasselhorn, M. (2013). Age Differences and Measurement Invariance of Working Memory in 5- to 12-Year-Old Children. *European Journal of Psychological Assessment*, *29*(3), 220–229. <https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000149>

- Morey, C. C. (2018). The case against specialized visual-spatial short-term memory. *Psychological Bulletin*, *144*(8), 849–883. <https://doi.org/10.1037/bul0000155>
- Mundfrom, D. J., Shaw, D. G., & Ke, T. L. (2005). Minimum Sample Size Recommendations for Conducting Factor Analyses. *International Journal of Testing*, *5*(2), 159–168. [https://doi.org/10.1207/s15327574ijt0502\\_4](https://doi.org/10.1207/s15327574ijt0502_4)
- Nosek, B. A., Ebersole, C. R., DeHaven, A. C., & Mellor, D. T. (2018). The preregistration revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(11), 2600–2606. <https://doi.org/10.1073/pnas.1708274114>
- Passolunghi, M. C., & Mammarella, I. C. (2010). Spatial and visual working memory ability in children with difficulties in arithmetic word problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology*, *22*(6), 944–963. <https://doi.org/10.1080/09541440903091127>
- Peng, P., Namkung, J., Barnes, M., & Sun, C. (2016). A meta-analysis of mathematics and working memory: Moderating effects of working memory domain, type of mathematics skill, and sample characteristics. *Journal of Educational Psychology*, *108*(4), 455–473. <https://doi.org/10.1037/edu0000079>
- Pickering, S. J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, *9*(4–6), 423–432. <https://doi.org/10.1080/09658210143000182>
- Richardson, J. T. E. (2007). Measures of Short-Term Memory: A Historical Review. *Cortex*, *43*(5), 635–650. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70493-3](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70493-3)
- Sedek, G., Krejtz, I., Rydzewska, K., Kaczan, R., & Rycielski, P. (2016). Three functional aspects of working memory as strong predictors of early school achievements: The review and illustrative evidence. *Polish Psychological Bulletin*, *47*(1), 103–111. <https://doi.org/10.1515/ppb-2016-0011>
- Schneider, W. J., & McGrew, K. S. (2018). *The Cattell–Horn–Carroll theory of cognitive abilities*. In D. P. Flanagan & E. M. McDonough (Eds.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues* (pp. 73–163). The Guilford Press.
- Stoet, G. (2010). PsyToolkit - A software package for programming psychological experiments using Linux. *Behavior Research Methods*, *42*(4), 1096–1104. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.4.1096>
- Stoet, G. (2017). PsyToolkit: A novel web-based method for running online questionnaires and reaction-time experiments. *Teaching of Psychology*, *44*(1), 24–31. <https://doi.org/10.1177/0098628316677643>



White, N., Forsyth, B., Lee, A., & Machado, L. (2018). Repeated computerized cognitive testing: Performance shifts and test–retest reliability in healthy young adults. *Psychological Assessment*, 30(4), 539–549. <https://doi.org/10.1037/pas0000503>

## PŘÍLOHY

Příloha 1: Přehled položek testu *Digit span forward*

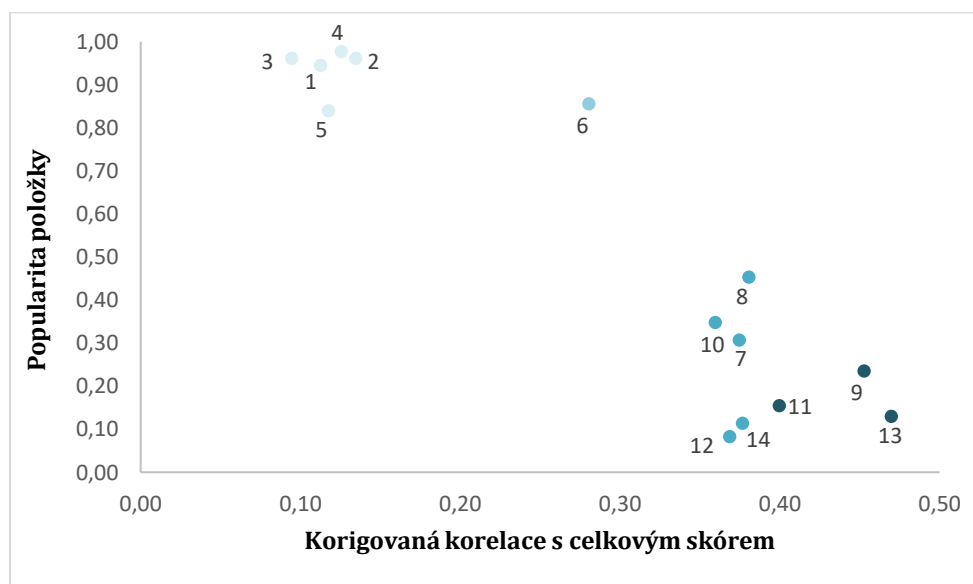
Položka	Počet číslic	Zadání položky
1	2	14
2	2	79
3	3	415
4	3	732
5	4	4912
6	4	5468
7	5	94783
8	5	42379
9	6	458694
10	6	357219
11	7	3516254
12	7	1429843
13	8	83675214
14	8	37925486

Příloha 2: Položková analýza testu *Digit span forward*

Položka	McDonaldova $\omega^a$	Cronbachova $\alpha^a$	Korig. IRC	Popularita	Korig. IRC po zkrácení
1	0,62	0,68	0,11	0,94	—
2	0,62	0,68	0,14	0,96	—
3	0,60	0,68	0,10	0,96	—
4	0,60	0,68	0,13	0,98	—
5	0,62	0,69	0,12	0,84	0,09
6	0,59	0,67	0,28	0,86	0,25
7	0,57	0,65	0,38	0,31	0,37
8	0,59	0,65	0,38	0,45	0,37
9	0,54	0,64	0,45	0,23	0,44
10	0,57	0,66	0,36	0,35	0,38
11	0,50	0,65	0,40	0,15	0,44

12	0,55	0,66	0,37	0,08	0,41
13	0,62	0,64	0,47	0,13	0,54
14	0,57	0,66	0,38	0,11	0,40

Příloha 3: Scatter plot popularity a korigovaných korelací položek testu *Digit span forward*



Příloha 4: Explorační faktorová analýza položek testů Sledování špiona a *Digit span forward*

Položka	Faktor 1	Faktor 2	Unikátnost	Položka	Faktor 1	Faktor 2	Unikátnost
spy_1	-0,25	0,41	0,85	ds_2	-0,03	0,16	0,98
spy_2	-0,04	0,31	0,91	ds_4	0,04	0,09	0,99
spy_4	0,18	0,02	0,96	ds_6	0,21	0,04	0,95
spy_5	-0,12	0,24	0,95	ds_7	0,33	0,15	0,82
spy_7	0,19	0,23	0,87	ds_8	0,22	0,34	0,78
spy_9	0,04	0,36	0,86	ds_9	0,55	0,03	0,69
spy_10	-0,08	0,56	0,72	ds_10	0,44	-0,05	0,82
spy_11	0,13	0,22	0,91	ds_11	0,72	-0,15	0,54
spy_12	0,15	0,14	0,94	ds_12	0,73	-0,30	0,56
spy_13	0,06	0,20	0,95	ds_14	0,46	-0,07	0,81
spy_14	0,13	0,22	0,91	–	–	–	–
spy_15	0,05	0,17	0,96	–	–	–	–