



INTERAKTÍV PROBLÉMAMEGOLDÓ KÖRNYEZETBEN ALKALMAZOTT FELFEDEZŐ STRATÉGIÁK HATÉKONYSÁGA ÉS AZOK VÁLTOZÁSA: LOGFÁJL-ELEMZÉSEK

Molnár Gyöngyvér

Szegedi Tudományegyetem Oktatásmélettani Tanszék

A 21. század polgára már nem boldogulhat az életét minden területen körülvevő interaktív technológiai eszközök használata nélkül, melyek meghatározzák szórakozási tevékenységeinket, munkánkat, kommunikációs szokásainkat. Az okostelefon, az MP3-lejátszó, a televízió, a tabletek, sőt ma már a mosógép beindításához és használatához is az adott eszközzel történő interakciók sorozatára van szükség: különböző gombok bizonyos sorrendben történő lenyomására, tekerésére, esetleg az eszközt vezérlő program érintőképernyőn keresztül történő irányítására. Az új szoftveres és hardveres technológiák állandó tanulásra és ezzel párhuzamosan problémamegoldásra készítetnek bennünket. Ma már természetesen veszik, hogy mindenki tudja kezelni automatizált környezetét, mobiltelefonját, háztartási eszközeit, autóját, a munkahelyén lévő technikai eszközöket. A 21. század embere egy nap alatt a korábban nem tapasztalt mennyiségű interakciót folytat le a különböző technológiai eszközökkel. Az ezen helyzetekben alkalmazott problémamegoldó stratégiák feltérképezéséhez már nem elegendőek a hagyományos módszertani eszközök: sem a hagyományos adatfelvételi technikák, sem a rögzített válaszok elemzése.

A mérés-értékelés technikáinak fejlődése mára már lehetővé tette, hogy ne csak a diákok által adott válaszokat rögzítsük és elemezzük, hanem mindazon tevékenységeket (kontextuális adatokat), amit a diák a probléma megoldása során végzett a rendszerben (pl. mikor melyik elemre kattintott, mi volt a kattintások sorrendje, mennyi idő telt el az egyes lépések között). A logfájlokban tárolt kontextuális adatok segítségével rekonstruálhatóvá válik mindaz, amit a diák tett, ahogyan gondolkodott a problémák megoldása közben. Összességében elmondható, hogy technológiaalapú (beleértve például az asztali számítógépeket, az érintőképernyős tableteket) adatfelvétel és logfájl-elemzések nélkül nem lehetséges az alkalmazott problémamegoldó stratégiák pontos leírása, majd azok esetleges fejlesztése.

Azonban a mérés-értékelés hagyományos, papíralapú technikáinak elhagyása és a technológiaalapú tesztelésre való áttérés nemcsak új lehetőségeket – mint a kontextuális adatok rögzítése –, hanem számos kihívást is hozott a pedagógiai empirikus kutatásokba. Alapvetően három fő tényező támogatja és motiválja a technológiaalapú tesztelésre való

átállást: a hagyományos, papíralapon is mérhető és mért területek kapcsán tapasztalt megnövekedett mérési pontosság (pl. Csapó, Molnár, & Nagy, 2014, 2015); olyan képességek mérési lehetősége, amelyekre hagyományos eszközökkel nem kerülhetett sor (pl. komplex, dinamikus problémamegoldás, l. Greiff, Wüstenberg, & Funke, 2012; Greiff et al., 2013); végül a korábban is említett előny, a közvetlenül megfigyelt adatokon kívül a kontextuális adatok rögzítésének, majd a logfájlok elemzésének lehetősége (l. pl. Tóth, Rölke, Greiff, & Wüstenberg, 2014; Tóth, Rölke, & Goldhammer, 2012).

Az adatfelvétel során rögzített kontextuális adatok elemzése hozzájárulhat ahhoz, hogy megértsük a hagyományos módszerekkel nem vizsgálható jelenségeket, illetve mélyebben és alaposabban megértsük és megmagyarázzuk a korábban is vizsgált jelenségek működését. Ezen elemzések segítségével olyan kutatási kérdések megválaszolása is lehetséges, amelyekre a hagyományos technikákkal nem volt korábban lehetőség. A tanulmányban az interaktív problémamegoldó képesség fejlettségi szintjére és fejlődésére vonatkozó kutatások során rögzített kontextuális adatokra alapozva elemezzük azokat a hatékony és kevésbé hatékony feltérképező és problémamegoldó stratégiákat, amelyeket a diákok az interaktív problémák megoldása közben alkalmaztak.

Az elemzés első lépéseként szükség volt a rögzített kontextuális adatok átalakítására, kezelhetővé, elemezhetővé, értelmezhetővé tételére, rendszerbe foglalására. A diákok által alkalmazott lépések kódolása mellett az összes, a probléma megoldásához vezető, elméletileg helyes stratégiára alapozva felépítettünk egy olyan matematikai modellt, amelynek segítségével elemezhetővé, áttekinthetővé váltak az alkalmazott lépéskombinációk, stratégiák. E kódolási eljárás és modell segítségével pontos képet kaptunk a diákok által alkalmazott sikeres és kevésbé sikeres problémamegoldó stratégiákról. Ezzel jelentős mértékben kibővítettük a szakirodalomban eddig megnevezett problémamegoldó stratégiák körét, ahol kizárólagosan mint egyedüli helyes stratégia a változók kontrollja (*control of variables*, Greiff et al., 2014) vagy az egyszerre egy dolog változtatása (*very vary-one-thing-at-a-time*, VOTAT; Tschirgi, 1980; Funke, 2014) stratégia szerepelt minimálisan komplex rendszerű problémák megoldása kapcsán. Az általunk kidolgozott eljárással számos további felfedező és problémamegoldó stratégia definiálását valósítottuk meg, sőt különböző típusú VOTAT-stratégiákat definiáltunk. A VOTAT-stratégiákban közös, hogy a probléma megoldója szisztematikusan egyszerre mindig csak egy bemeneti változó értékét változtatja meg, ezzel könnyen felismerhetővé teszi a módosított bemeneti változó hatását a kimeneti változókra.

Időelemzések segítségével teszteltük az alkalmazott stratégiák tudatosságát, elemeztük a diákok által alkalmazott stratégiák teszten belüli változását, valamint összevetettük a különböző felfedező stratégiák kapcsolatát a tudás elsajátításának képességét mérő itemeken nyújtott teljesítményekkel, illetve az általános problémamegoldó képességgel. Végül elemeztük, hogy a probléma megoldásával töltött idő és a kattintások száma hogyan függ össze a teljesítményekkel. Az eredmények hozzájárultak a dinamikus problémamegoldó környezetben (DPK) alkalmazott és alkalmazható stratégiák alaposabb megértéséhez.

Célok

Az elemzések fő célja a minimálisan komplex rendszer szerint felépített interaktív problémák során alkalmazott explorációs, felfedező stratégiák feltérképezése, illetve az alkalmazott stratégiák feltérképezésének alapját biztosító kontextuális adatok elemzéséhez kidolgozott modell, eljárás bemutatása, majd ezen eljárás hatékonyságának és általánosíthatóságának tesztelése.

A kutatás további célja annak feltárása, hogy (1) milyen arányban vezet egy helyes stratégia alkalmazása magas teljesítményhez; (2) milyen arányban vezet a VOTAT-stratégia alkalmazása magas teljesítményhez, melyik a leghatékonyabb VOTAT-stratégia; (3) a stratégiahasználat tudatossága mennyiben határozza meg a DPK-teszten nyújtott teljesítményt; (4) hogyan változnak az alkalmazott explorációs stratégiák a teszt megoldása közben, (5) milyen mértékben befolyásolja a problémamegoldó által tesztelt kombinációk száma és a problémák feltérképezésével töltött idő a problémák második és harmadik fázisában nyújtott teljesítményeket.

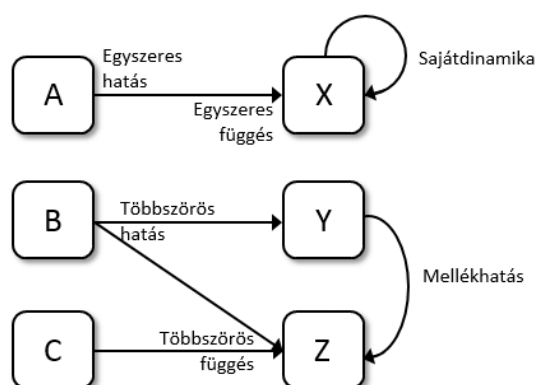
Módszerek

Minta

Az elemzéseket egy 3–12. évfolyamos tanulók részvételével történt kutatás adatbázisára alapoztuk, melynek 6. (N=677), 7. (N=607) és 8. (N=942) évfolyamos részmintáját vontuk be az elemzésekbe. A mintaválasztás oka egyrészt a korábbi elemzések eredményei, melyek alapján a fejlődés szempontjából szenzitív és gyorsan változó időszak a 6–8. évfolyamra eső korszak (l. Molnár & Pásztor-Kovács, 2015; Molnár, Greiff, & Csapó, 2013; Molnár, 2012), másrészt az évfolyamok közötti összehasonlítás lehetősége volt.

Mérőeszköz

A diákok által megoldandó problémák kivétel nélkül olyan minimálisan komplex rendszerek (Funke, 1992) voltak, ahol – a tesztelt személyeknek azáltal, hogy manipulálhatták a bemeneti változók értékeit, amelyek oksági kapcsolatban álltak a kimeneti változókkal – fel kellett fedezniük a bemeneti és a kimeneti változók közötti összefüggéseket (Wüstenberg et al., 2014; Funke, 2001, 2010; l. 1. ábra). A problémák az elméleti keretrendszernek megfelelően (l. MicroDYN-model; Molnár & Pásztor-Kovács, 2015; Molnár, Greiff, & Csapó, 2013) korlátozott mennyiségű bemeneti és kimeneti változót (jelen esetben maximum 3-3) tartalmaztak. A változók közötti kapcsolatok a legtöbb esetben nem voltak nyilvánvalóak, ugyanakkor a rendszerek szisztematikus kontrollálásával, megfelelő felfedező és problémamegoldó stratégia alkalmazásával detektálhatóak, feltérképezhetőek voltak.



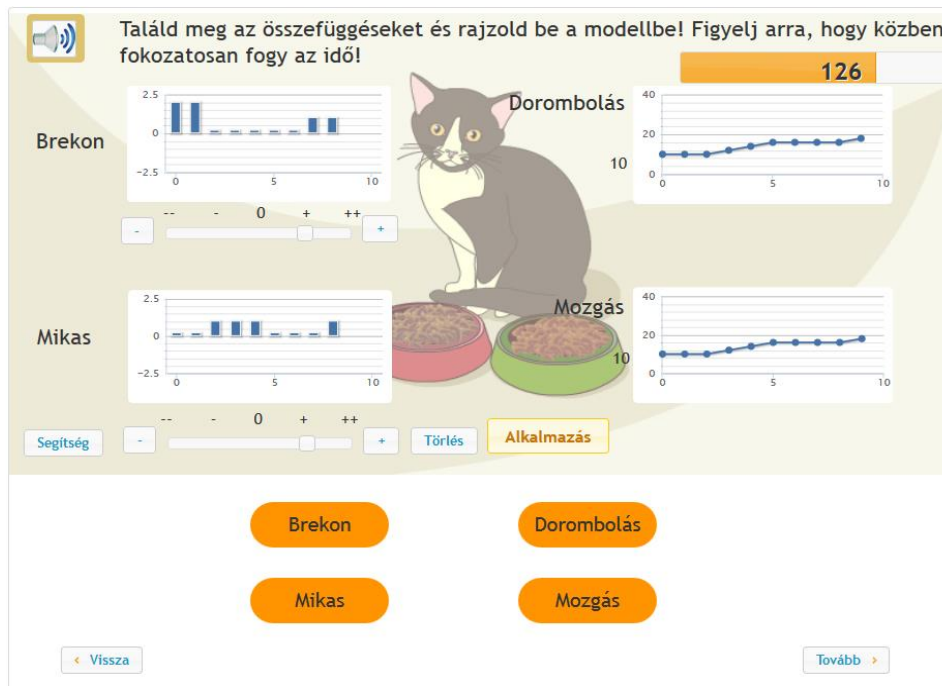
1. ábra

Egy tipikus MicroDYN-probléma szerkezete három bemeneti (A, B, C) és három kimeneti (X, Y, Z) változóval, valamint különböző típusú hatásmechanizmusokkal (egy- és többszörös hatás, egyszeres és többszörös függés, sajátdinamika és mellékhatás) (Forrás: Greiff et al., 2013)

A kutatás során alkalmazott interaktív problémák felépítésükben azonosak voltak a PISA 2012 kreatív problémamegoldás kutatásában alkalmazott interaktív problémákkal (OECD, 2014). A számítógép-alapú problémaszcenáriók a diákok által kedvelt, ismerős (pl.: mindennapi élet, videojátékok) kontextusban kerültek megfogalmazásra, ugyanakkor szerkezetük miatt számukra újak voltak, a megoldás során előzetes ismereteiket nem tudták alkalmazni.

A probléma megoldásának első fázisában a diákoknak fel kellett fedezni a rendszert, azaz a bemeneti változók értékeit szabadon változtatva és megfigyelve a kimeneti változók értékváltozását, fel kellett ismerni a probléma háttérében lévő összefüggésrendszert (1. 2. ábra). A felismert összefüggésrendszert, a bemeneti és kimeneti változók egymással való kapcsolatát, nyilak segítségével egy, a bemeneti és kimeneti változókat tartalmazó modellen meg is kellett jeleníteni. A válaszok kiértékelése során akkor kapott 1 pontot a diák, ha a rendszerben lévő összefüggések mindegyikét pontosan felrajzolta, azaz tökéletes modellt állított fel. Ellenkező esetben 0 pontot kapott a probléma e fázisának megoldására.

A probléma megoldásának második fázisában működtetni kellett a rendszert: megismerve a valódi összefüggéseket, a bemeneti változók értékeit változtatva elérni a kimeneti változók előre meghatározott célértékeit (részletesen l. Molnár, 2013). Mindezt maximum négy lépésben (az 'Alkalmazás' gomb maximum négyszeri használatával – 1. 3. ábra) és 180 másodperc alatt. A válaszok értékelése során a probléma megoldásának második fázisát akkor értékeltük pozitívan, ha megadott időn és lépésszámon belül sikeresen elérte a tesztet megoldó személy az összes kitűzött célértéket. Ellenkező esetben 0 pontot kapott.

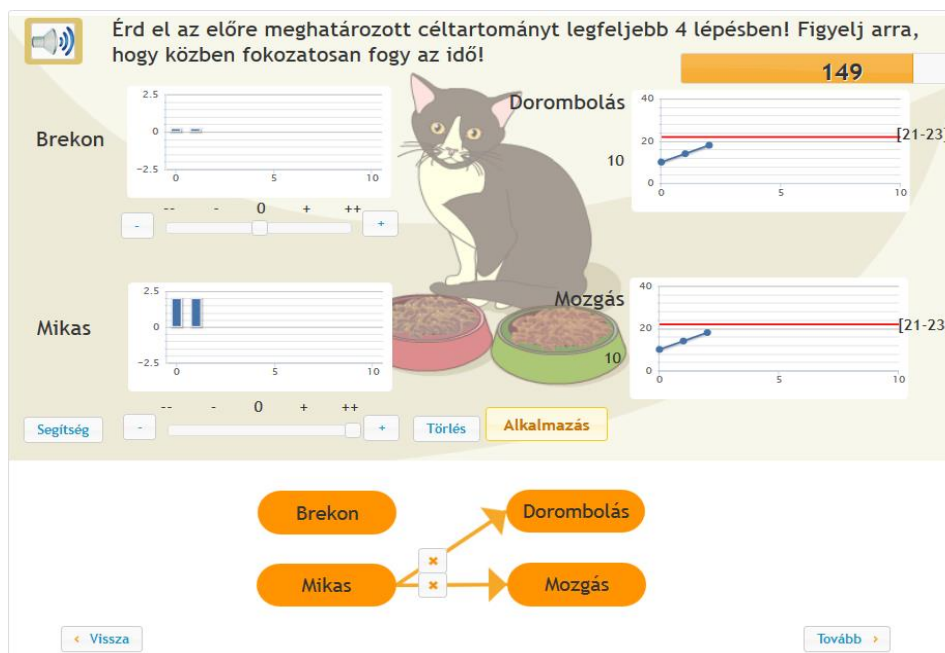


2. ábra
 A problémamegoldás első fázisa, a rendszer működésének felfedezése
 (2 bemeneti, 2 kimeneti változó)

Ugyanazon teszt kiközvetítésére került sor a 6–8. évfolyamos mintán, ezért nemcsak a problémák, hanem a problémák teszten belüli pozíciója, elhelyezkedése is azonos volt. Az 1. táblázat a bemeneti és a kimeneti változók száma szerint foglalja össze a tesztben szereplő problémák komplexitását, a változók közötti lehetséges és meglévő kapcsolatok számát, valamint az esetleges sajátdinamika meglétét. A tesztben lévő problémák nem tartalmaztak mellékhatás típusú összefüggést (l. 1. ábra), ám tartalmaztak egyszeres és többszörös hatást, valamint sajátdinamikát.

Az alkalmazott, kitalált kontextusba ágyazott interaktív problémákat a Heidelbergi Egyetem kutatói (Greiff & Funke, 2010; Wüstenberg, Greiff, & Funke, 2012) dolgozták ki, majd egy közös kutatás keretein belül (l. pl. Greiff et al., 2013; Molnár, Greiff, & Csapó, 2013; R. Tóth, Molnár, Wüstenberg, Greiff, & Csapó, 2011; Molnár, Greiff, Wüstenberg, & Fischer, 2017) megtörtént a problémák hazai adaptációja és eDia-rendszerbe (Molnár, Papp, Makay, & Ancsin, 2015) történő átültetése. Ennek következtében módunkban állt a technológiaalapú tesztelés adta lehetőségek szélesebb körű kihasználására. Az első fázishoz kötődő tevékenységek elkülönítésével kibővítettük a problémák megoldása során értékelhető fázisok körét. Az elemzések során a problémamegoldás nulladik fázisának tekintettük a rendszer felfedezését (a bemeneti változók manipulálását, majd hatásuk megfigyelését a kimeneti változók értékeire) és első fázisának a felfedezett

kapcsolatok modellben történő leképezését. Ezáltal a nulladik fázisban mutatott viselkedés a diákok által alkalmazott felfedezési stratégiákat és azok helyességét jellemzi. A nulladik fázisban alkalmazott tevékenységek, stratégiák csoportosítását, klaszterezését segítette a bármely minimálisan komplex rendszerre alkalmazható, általunk felállított teljes, alap- és minimális stratégia modellje.



3. ábra
A problémamegoldás második fázisa, a rendszer működtetése
(2 bementi, 2 kimeneti változó)

1. táblázat. A 6–8. évfolyamosok tesztjében szereplő problémák minimális komplexitása

| A probléma tesztben elfoglalt helye | Bementi változók száma | Kimeneti változók száma | Kapcsolatok száma | Saját- dinamika | A különböző beállítások optimális száma, amivel a rendszer felfedezhető |
|---|------------------------------|-------------------------------|----------------------|--------------------|---|
| 1 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 0 | 2 |
| 3 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | 2 |
| 5 | 3 | 2 | 3 | 0 | 3 |
| 6 | 3 | 3 | 3 | 0 | 3 |
| 7 | 3 | 2 | 2 | 1 | 4 |
| 8 | 3 | 3 | 4 | 0 | 4 |
| 9 | 3 | 2 | 3 | 1 | 4 |
| 10 | 3 | 3 | 4 | 1 | 4 |

Eljárások: a minimálisan komplex rendszerre épülő problémák feltérképezésének teljes, alap- és minimális stratégia modellje

A minimálisan komplex rendszerre épülő interaktív problémák alapvetően kevés számú változót és oksági kapcsolatot tartalmaznak. Ennek következtében a megoldáshoz használható jó stratégiák leírhatók egy véges modellben: a minimálisan komplex rendszerre épülő problémák feltérképezésének teljes, alap- és minimális stratégia modelljével. A modell felépítéséhez a felfedező (nulladik) fázisban végzett minden egyes tevékenységet rögzítettünk, azonosítottunk, majd különböző szempontok szerint csoportosítottunk.

Az elemzések elvégzéséhez háromféle, egymásból levezethető stratégiát definiáltunk: teljes stratégia, alapstratégia és minimális stratégia. A teljes stratégia magában foglalja mindazt, amit a tesztet megoldó személy tett a probléma megoldásának nulladik fázisában: melyik feladatelemre kattintott, melyik változó értékét változtatta meg és – az alkalmazás gombra kattintással – ellenőrizte azok hatását a kimeneti változókra, végül milyen sorrendben tette mindezt.

Az általunk definiált alapstratégia a teljes stratégia azon része, ahol továbbra is figyelembe vesszük az időfaktort, azaz a kattintások, a kipróbált beállítások egymásutánosságát, de már csak azokat a lépéseket, tevékenységeket jelenítjük meg, amelyek segítségével a diák új információhoz jutott a rendszer megismerése, felfedezése során. Ez azt jelenti, hogy a teljes stratégiához képest a következő tevékenységeket nem tartalmazza az alapstratégia (ezeket az alapstratégiában megjelenített lépések generálása során a teljes stratégiából töröltük):

- ha a feladaton belül a korábbiakkal azonos (bemeneti) változó beállítása történt,
- ha egyszerre több mint egy – nem ismert működésű, hatású – bemeneti változót változtatott,
- ha, bár a bemeneti változók új, korábban még nem alkalmazott beállítási állapota történt meg, de a beállítás során használt bemeneti változók hatása, működése korábbi beállításokból már ismert lehetett.

Végül az alapstratégiából a teljes stratégia figyelembevételével a minimális stratégia generálása valósult meg. A minimális stratégia időfaktor (az alkalmazott beállítások sorrendisége) nélkül azokat a tevékenységeket foglalja magában, ahol a diák új információt tudott kinyerni a rendszer működése során, és azt a legideálisabb lépéskombinációval tette meg (ennek fontosságáról később lesz szó).

Mindhárom stratégián belül – ahol értelmezhető – az egyes tevékenységek, lépések kódolása (nem pontozása) a következőképpen valósult meg (az állapotok rögzítése minden esetben az alkalmazás gombra történő kattintáshoz kötődik):

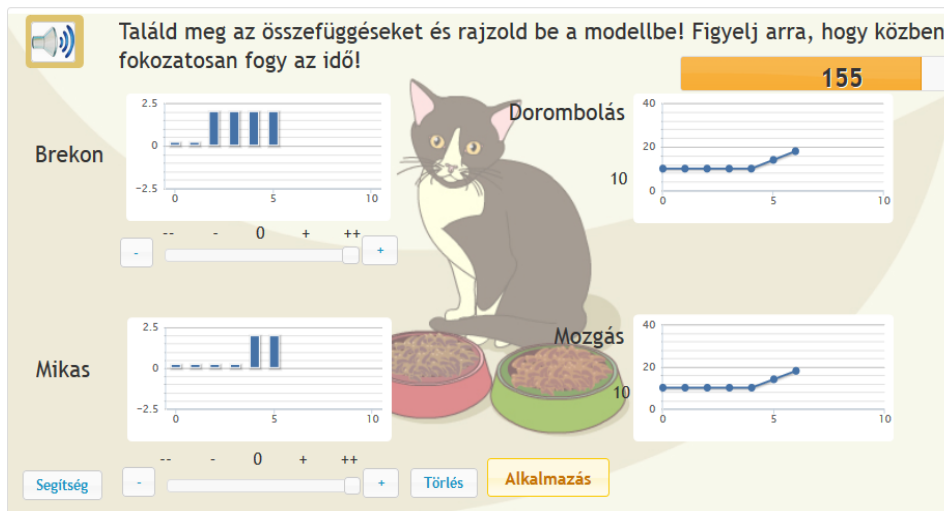
- 1) Egyetlen egy bemeneti változó értékének változtatása történt meg, amíg a többi bemeneti változó értéke semleges értéken (pl. nullán) maradt. Ezen kombináció kódolása +1-gyel valósult meg.
- 2) Egyetlen egy bemeneti változó változtatása történt meg, a többi bemeneti változó értéke nem semleges állapotban, de egy korábban már kipróbált állapotban volt. E szcenáriót +2-vel kódoltuk.

- 3) Egyetlen egy bemeneti változó változtatása történt meg, a többi bemeneti változó értéke nem semleges és nem is egy korábban már alkalmazott kombinációban volt, viszont hatásuk a korábbi lépések eredményeként ismert lehet. Ezt a lépést +3-mal kódoltuk.
- 4) Minden bemeneti változó értéke semleges (pl. nulla) értéken maradt (különösen lényeges a sajátdinamikával rendelkező rendszerek kiismerése során). Ezt a kombinációt +A-val jelöltük.
- 5) Több mint egy bemeneti változó értékének egyidejű megváltoztatása történt, ugyanakkor az alkalmazott kombináció nem szolgáltat plusz információval a rendszer működése kapcsán. Ezt a lépést -X-szel jelöltük.
- 6) Ugyanazt a kombinációt állítottuk be, ami a feladaton belül már egyszer megtörtént. A feladatot megoldó személy így nem jutott plusz információhoz a rendszer viselkedése kapcsán. A -0 jelölést alkalmaztuk ebben az esetben.
- 7) A bemeneti változók beállításának új kombinációját alkalmaztuk, ugyanakkor a beállításban használt bemeneti változók hatása már korábbi beállításokból ismert, így nem jelentett plusz információt e szcenárió futtatása. Ezt a beállítást +0-val jelöltük.
- 8) Több ismeretlen működésű bemeneti változó értékét egyszerre változtattuk, ugyanakkor a korábbiak és e kombináció hatása alapján – elméletileg – lineáris egyenletrendszer megoldása segítségével lehetséges a bemeneti változók működésének kiszámolása. Ezt a lépést +4-gyel jelöltük.
- 9) Az alapstratégia kapcsán egy extra +5-ös kódot is bevezettünk arra az esetre, amikor az utoljára alkalmazott szcenárió hatása alapján lehetséges volt az összes bemeneti változó működésének kiszámolása. E lépés a minimális stratégiának nem eleme.

A szakirodalomból ismert VOTAT-stratégiák (egyszerre egy dolog változtatása; Fischer, Greiff, & Funke, 2012) közé sorolható +1, +2 és +3 jelölésű kombináció (esetlegesen a +A-val jelölt is), míg a -X-es, -0-s, +0-s, +4-es és +5-ös stratégiákkal egyáltalán nem foglalkoztak a korábbi elemzések. A következőben két példán keresztül szemléltetjük a kódolás folyamatát, illetve a minimális stratégia alap- és teljes stratégiából való generálásának menetét.

A 4. ábra egy két bemeneti és két kimeneti változóval rendelkező példát mutat (A probléma szövege: „Este, hazaérve, a bejáratotok előtt kuporogva találtok egy cicát. Nagyon kimerült szegény, mozogni is alig bír. Elhatározod, hogy segítesz rajta. Etetni fogod, amíg vissza nem nyeri az erejét. A szomszéd néni kétféle macskaeledelt javasol, egy Brekon és egy Mikas nevűt. Vajon hogyan hat a kétféle macskaeledel a cica mozgásának és dorombolásának mennyiségére?”). Az a diák, aki az alább bemutatott módon térképezte fel a rendszer működését, a bemeneti változók (mikas, brekon) különböző beállításai mellett összesen hatszor nyomta meg az 'Alkalmazás' gombot.

A rendszer feltérképezése során az első két lépésben mindkét bemeneti változó értékét nullán tartotta (nem változtatott a bemeneti változók alapértékein), aminek hatására nem változtak a kimeneti változók értékei. A harmadik és a negyedik lépésben a brekon nevű bemeneti változó értékét 2-re állította, míg a mikas nevű változó értéke továbbra is nullán maradt (a változók neve melletti oszlopdiagram mutatja e beállítások történetét).



4. ábra
A MicroDYN problémák első fázisának feltérképezése
(2 bemeneti, 2 kimeneti változó)

Ez a változtatás sem gyakorolt hatást a kimeneti változók értékére, azaz a dorombolás és mozgás nevű változók mellett megjelenő grafikon értéke továbbra is konstansan vízszintes maradt. Ötödik és hatodik lépésben a brekon nevű bemeneti változó értékét továbbra is 2-es értéken hagyta, de ehhez még hozzáadódott a mikas nevű bemeneti változó értékének 2-re állítása. Ennek hatására mindkét kimeneti változó (dorombolás és mozgás) értéke azonos mértékben nőni kezdett. Ezen lépéssorozat minden információt magában foglaló kódolása (teljes stratégia) a következőképpen alakul: +A, -0, +1, -0, +2, -0. Ennek oka a következő: miután a második, negyedik és hatodik lépés a korábbi kombinációk ismétlése volt, ezért azokat -0 kóddal illettük. Az első lépésben a sajátdinamika felfedezéséhez nélkülözhetetlen (nulla-nulla) beállítást alkalmazzuk (+A). A harmadik lépés a VOTAT-stratégia legtisztább alkalmazása (egyszerre csak egy bemeneti változó értékének módosítása, míg a többi bemeneti változó értékének semleges szinten tartása, +1), míg az ötödik lépés során alkalmazott stratégia is VOTAT-stratégia, hiszen a negyedik lépéshez képest csak egy bemeneti változó értéke változott, mégsem beszélhetünk ugyanarról a stratégiáról, mint a harmadik lépésben tettük (+2). Az ötödik lépés után minden szükséges információ már a problémamegoldó rendelkezésére állt. Ugyanezen lépéssorozat alapstratégiája: +A, +1, +2, miután a problémamegoldó többi lépése nem vezetett még nem ismert információ kinyeréséhez. Az időfaktortól független minimális stratégia ebben az esetben szintén +A, +1, +2. E lépések kapcsán tudott a tesztelt személy új információhoz jutni a rendszer működése kapcsán.

A következő példával (5. ábra) egy olyan probléma feltérképezéséhez használt lépéssorozatot és annak kódolását mutatjuk be, ahol a diákoknak egy két bemeneti és egy kimeneti változóból álló problémát kellett megoldani. A probléma szövege a következő volt:

„Anyukádtól két újfajta szörpöt kaptál, amiket összekeverve, még finomabb szörpöket tudsz magadnak kikeverni. Találd ki, hogyan befolyásolja a kikevert szörp édességét a zöld és a kék színű szörp mennyisége!” A felvázolt példán nyolc különböző beállítást próbáltunk ki, ami a következő kódolással írható le: +1+2+0+0+0+0-0-0. A második lépés után gyakorlatilag az összes információ a rendelkezésünkre állt, ami szükséges volt a modell felrajzolásához (Az első lépésben egy adag zöld színű szörp hatását ellenőriztük, míg nullán hagytuk a kék színű szörp mennyiségét. Az összekevert folyadék édesebb lett. A második lépésben ugyanúgy egy adag zöld színű szörpöt adagoltunk a keverékhez, de hozzátettünk egy adag kék színű szörpöt is. A keverék édesség szintje ugyanannyival változott, mint az első lépésben. Mindezek után különböző mennyiségű kék, majd zöld színű szörpöt adagoltunk a keverékbe, majd néztük a hatásukat). Az alkalmazott teljes stratégiából kódolt alapstratégia: +1+2, minimális stratégia +1+1, mert a lépéssorozat első és hatodik lépésében a legtisztább VOTAT-stratégia alkalmazására került sor (egyik változó nullától különböző értéken, a másik változó semleges értéken, azaz mindkét esetben külön-külön ellenőriztük a kék és a zöld színű szörp hatását a keverék édességi fokára).

Az általunk kidolgozott teljes, alap- és minimális stratégia modell, illetve kódolási eljárás minden egyes hasonló, minimálisan komplex rendszerre építő probléma feltérképezése esetén alkalmazható. Az elemzések rávilágítottak arra, hogy a szakirodalomban leggyakrabban tárgyalt, leghatékonyabb problémamegoldó stratégiának tartott, elszigetelt változókezelésen alapuló VOTAT-stratégián túl még kétféle VOTAT-stratégia, valamint számos, helyes megoldáshoz vezető nem VOTAT-stratégia azonosítható. Alkalmazásuk sikerességét összevetettük a diákok teljesítményével. Előzetes hipotéziseink szerint a „legtisztább”, a változók teljes elszigetelésén (Wüstenberg, Stadler, Hautamäki, & Greiff, 2014) alapuló VOTAT-stratégia alkalmazása nagyobb valószínűség mellett vezet helyes megoldáshoz, mint más VOTAT vagy nem VOTAT-stratégia használata.



5. ábra

A minimálisan komplex rendszerre építő problémák első fázisának feltérképezése (2 bementi, 1 kimeneti változó esetén)

Eredmények

Az eredmények megbízhatósága

A teszt hagyományosnak nevezhető változói, azaz a diákok által adott válaszok (a modell felrajzolásának sikeressége, illetve a célértékek elérése) szerint számolt reliabilitásmutató értéke (20 item) $\alpha=0,80$. A teszt modellépítés résztesztjének (10 item) reliabilitásmutatója $\alpha=0,72$. A tudáselsajátítás hatékonyságának fázisát mérő részteszt megbízhatósági mutatója jelentős mértékben megnövekedett, ha azt nemcsak a diákok által adott válaszokra, hanem a tesztelés során mentett kontextuális adatokra, azaz a diákok által mutatott problémamegoldó viselkedés értékelésére is alapoztuk. Ennek érdekében minden problémához hozzárendeltünk még egy változót, ami a fent definiált nulladik fázisban mutatott problémamegoldó viselkedést értékelte. Ez a teszt szintjén minden diák kapcsán 10 új változó, azaz 10 új item generálását jelentette. A korábban részletezett kódolás alapján, ha a diákok által a probléma megoldásának nulladik fázisában alkalmazott stratégiával meg lehetett oldani a problémát, akkor 1 pontot, ha nem, akkor 0 pontot kapott a diák. A generált változók segítségével számolt megbízhatósági mutató értéke (10 item) $\alpha=0,91$, azaz a diákok felfedező stratégiáinak direkt kódolása megbízhatóbban jellemezte a diákok tudáselsajátítás terén mutatott képességszintjét, mint a tanultak modellépítés formájában történő leképezése. Évfolyamonkénti bontásban $\alpha_{6. \text{évf.}}=0,91$, $\alpha_{7. \text{évf.}}=0,92$, $\alpha_{8. \text{évf.}}=0,91$. A 30 itemet együtt kezelve – mint a problémamegoldás három fázisának résztesztjeit – a megbízhatósági mutató értéke a teljes mintán $\alpha=0,88$ ($\alpha_{6. \text{évf.}}=0,88$, $\alpha_{7. \text{évf.}}=0,89$, $\alpha_{8. \text{évf.}}=0,90$). A megbízhatósági mutatók értékváltozása azt jelzi, hogy korábban kiaknázatlan lehetőségek rejlenek a kontextuális adatok elemzésében. Segítségükkel pontosabban rekonstruálható a diákok gondolkodása, jelen esetben a diákok által alkalmazott problémamegoldó stratégiák, gondolkodási mechanizmusok, mint a konkrét, válasz formájában már leképezett tudás értékelésével.

Az alkalmazott stratégia és a problémamegoldó teljesítmény kapcsolata

Az elemzések alapján megállapítható, hogy a felfedezés során alkalmazott jó stratégia nem minden esetben vezetett magas teljesítményhez (1. 2. táblázat) és fordítva, nem csak a helyes stratégia alkalmazása eredményezett magas teljesítményt. A legalacsonyabb komplexitású problémák esetén (2 bemeneti, 1 kimeneti változó) a diákok közel háromnegyede helyes stratégiát alkalmazott a rendszer kiismerése során, de csak a diákok fele tudta helyesen leképezni a megszerzett tudást és jól felépíteni a rendszer működését ábrázoló modellt. Ahogyan nőtt a problémák komplexitása, úgy csökkent a minden szükséges információ kinyerését megvalósító stratégia alkalmazásának aránya. A sajátdinamikával rendelkező problémák esetén jelentős mértékben csökkent a megfelelő stratégiát alkalmazó diákok köre, és nekik is csak egy kis hányada, mintegy hatoda hozta meg végül a helyes döntést, oldotta meg jól az adott problémát.

2. táblázat. Az elméletileg helyes vagy a rendszer kiismeréséhez nem elegendő stratégia alkalmazásának sikeressége a problémák komplexitásának fényében (minimális stratégia)

| Probléma komplexitása | Gyakoriság (%) | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
| | Elméletileg helyes stratégia | | | Nem helyes stratégia | | |
| | 0 | 1 | Össz. | 0 | 1 | Össz. |
| 2-1 | 20,30 | 49,25 | 69,55 | 8,27 | 22,18 | 30,45 |
| 2-2 | 32,00 | 35,10 | 67,10 | 23,89 | 9,01 | 32,90 |
| 3-2 | 22,84 | 24,61 | 47,45 | 44,72 | 7,83 | 52,55 |
| 3-3 | 24,17 | 26,84 | 51,01 | 37,02 | 11,97 | 48,99 |
| 3-2 sajátdinamika | 6,36 | 1,20 | 7,56 | 92,01 | 0,43 | 92,44 |
| 3-3 sajátdinamika | 3,48 | 1,68 | 5,16 | 93,82 | 1,02 | 94,84 |

Megjegyzés: A pozíciós hatás kizárása érdekében a táblázatban szereplő adatok a tesztben előforduló első adott komplexitású problémára vonatkoznak.

A nem elegendő információ kinyerését adó stratégiát alkalmazó diákok között is relatíve nagy számban voltak azok, akik végül helyes modellt építettek fel, miközben az alkalmazott stratégia alapján a modell teljes felépítéséhez nem rendelkeztek az összes információval. A legalacsonyabb komplexitású rendszereknél igen magas volt a találgatás aránya, a helytelen stratégiát alkalmazók mintegy kétharmada helyes modellt rajzolt fel (különösen annyian, ahányan a helyes stratégiahasználat ellenére is rosszul építették fel a modellt). Ez az arány jelentős mértékben csökkent bonyolultabb rendszerek alkalmazása során. A három bemeneti, két kimeneti változóval rendelkező probléma esetén például már csak a helytelen stratégiát alkalmazók hatoda hozott végül helyes döntést.

A fejlődési, változási tendenciák detektálása végett összevetettük a 6. és a 8. évfolyamos diákok válaszait, illetve a helyes és a helytelen stratégiahasználatukat (3. táblázat). A korábbi eredményekre alapozó előzetes hipotézisünk szerint minden problématípus kapcsán fejlődést vártunk. Ennek ellenére nagyon kismértékű fejlődés történt a helyes stratégiahasználat tekintetében 6. és 8. évfolyam között. A helyes stratégiát alkalmazó diákok 8. évfolyamon sikeresebben képezték le a kinyert információkat, mint 6. évfolyamon, azaz nagyobb arányban építették fel jól a rendszer szerkezetét reprezentáló modellt.

Összességében az látható, hogy a diákok által alkalmazott stratégia hatékonysága nem minden esetben egyezett meg teljesítményük minőségével. A megoldáshoz szükséges összes információ kinyerését biztosító stratégia és a rendszer működését pontosan leíró modellek felépítésének aránya változó volt. A legalacsonyabb komplexitású problémák esetén a helyes stratégiát alkalmazók kétharmada reprezentálta jól a probléma szerkezetét, míg a sajátdinamikával nem rendelkező, de már három bemeneti változót tartalmazó problémák esetén ugyanezen diákok már csak fele tudta meghozni a helyes döntést. Ha a felfedezendő rendszer sajátdinamikát is tartalmazott, akkor a legmagasabb képességszintű, helyes stratégiát alkalmazó diákoknak (a minta 5–8%-a) is csak ötöde, azaz a diákok 1–

2%-a építette fel az adott probléma működését reprezentáló modellt jól és oldotta meg ezzel az adott problémát.

3. táblázat. Az elméletileg helyes vagy a rendszer kiismeréséhez nem elegendő stratégia alkalmazásának sikeressége a problémák komplexitásának fényében 6. és 8. évfolyamon (minimális stratégia)

| Évf. | Probl. kompl. | Gyakoriság (%) | | | | | | t (strat.) | t (mod.) |
|------|-------------------|------------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|---------------|-------------|
| | | Elméletileg helyes stratégia | | | Nem helyes stratégia | | | | |
| | | 0 | 1 | Össz. | 0 | 1 | Össz. | | |
| 6. | 2-1 | 19,91 | 49,04 | 68,96 | 10,24 | 20,79 | 31,03 | n.s. | n.s. |
| 8. | | 21,14 | 52,39 | 73,53 | 6,37 | 20,08 | 26,46 | | |
| 6. | 2-2 | 36,25 | 31,87 | 68,12 | 22,66 | 9,21 | 31,87 | n.s. | -3,81** |
| 8. | | 29,21 | 39,97 | 69,18 | 21,32 | 9,48 | 30,81 | | |
| 6. | 3-2 | 22,59 | 22,74 | 45,34 | 46,52 | 8,12 | 54,65 | -2,07* | -1,90* |
| 8. | | 22,58 | 28,12 | 50,70 | 41,36 | 7,92 | 49,29 | | |
| 6. | 3-3 | 27,34 | 23,03 | 50,37 | 39,07 | 10,55 | 49,62 | n.s. | -4,09** |
| 8. | | 22,23 | 32,27 | 54,51 | 33,40 | 12,07 | 45,48 | | |
| 6. | 3-2 sajátdinamika | 5,02 | 0,41 | 7,78 | 5,83 | 0,14 | 5,98 | -2,16* | -3,30** |
| 8. | | 8,44 | 2,59 | 11,03 | 4,84 | 0,11 | 4,95 | | |
| 6. | 3-3 sajátdinamika | 3,46 | 1,20 | 4,67 | 81,74 | 13,57 | 95,32 | n.s. | -2,91** |
| 8. | | 2,60 | 5,54 | 8,15 | 74,06 | 17,78 | 91,84 | | |

Megjegyzés: *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$ szinten szignifikáns, n.s.: nem szignifikáns

A VOTAT- és helyes, de nem VOTAT-stratégiák alkalmazásának hatékonysága

Elemeztük, hogy mi az aránya az alkalmazott, minden szükséges információ kinyerését biztosító stratégiákon belül a VOTAT- és a nem VOTAT-stratégia használatának. A VOTAT-stratégiák fő jellemzője, hogy két, plusz információ kinyerését célzó lépés között minden esetben csak egyetlen egy változó manipulációja történik. A két bemeneti változót (és sajátdinamikát nem) tartalmazó problémák esetén, a korábban említett kódolást alkalmazva a VOTAT-stratégiák a következő minimális stratégiákkal írhatók le teljes körűen: +1+1, +1+2, +1+3, míg a +4-es stratégia már a nem VOTAT-stratégiák közé sorolandó. Három bemeneti változó esetén a VOTAT-stratégiák: +1+1+1; +1+1+2; +1+1+3; +1+2+2, +1+2+3, +1+3+2; +1+3+3, a nem VOTAT-stratégia: +1+4.

A VOTAT- és a nem VOTAT-, ám elegendő információt biztosító stratégiák alkalmazásának aránya változik a problémák komplexitásával (4. táblázat). A két bemeneti változót tartalmazó rendszerekben körülbelül 87/13 az arány, míg a három bemeneti változóval rendelkező problémák esetén már 80/20. Ez arra utal, hogy a stratégiaelemzések során

nem szabad figyelmen kívül hagyni a nem VOTAT-, de helyes stratégiát alkalmazókat sem, akik a – kizárólagosan VOTAT-stratégiákra fókuszáló – szakirodalomban általában a helytelen stratégiahasználók közé soroltak (vö. Sonnleitner et al., 2012; Greiff, Wüstenberg, & Avvisati, 2015; OECD, 2014). Az további kutatást igényel, hogy az egyes kultúrák, nemzetek között változik-e ez az arány, miután a PISA, problémamegoldással kapcsolatos adatait elemezve (Greiff, 2015) hazánkban kimagszóan magas a helytelen stratégiát alkalmazó, de helyesen válaszoló diákok aránya.

A PISA-elemzésekben kizárólagosan a VOTAT-, illetve a legegyszerűbb (egy bemeneti változó nem nulla pozícióban, a többi bemeneti változó nulla, semleges pozícióban) VOTAT-stratégia kezelésére került csak sor. A többi stratégia, így a nem VOTAT-, de helyes stratégiák is a helytelen stratégiák közé sorolódtak, miközben a VOTAT-stratégiák 50–60%-a volt csak elszigetelt változókezelésen alapuló stratégia (4. táblázat).

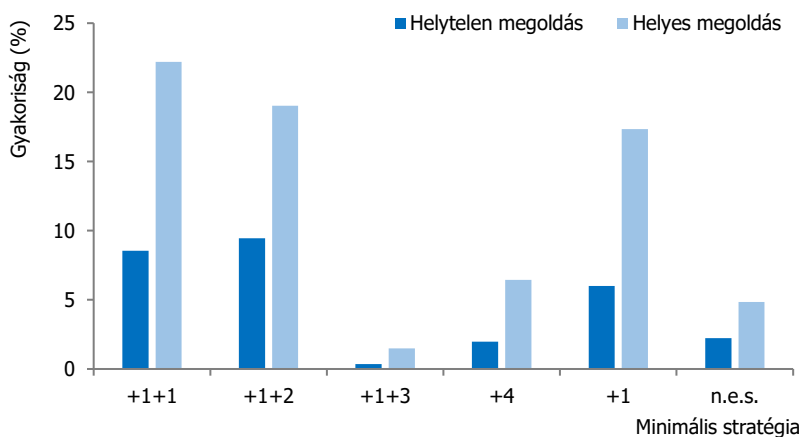
A VOTAT-stratégiahasználaton belül felmerülő kutatási kérdés, hogy vajon azonosan hatékony-e az összes VOTAT-stratégia, van-e olyan, amelynek alkalmazása mellett a diákok nagyobb valószínűséggel építik fel helyesen a rendszer működését leíró modellt. Az elemzés során a teljes és alapstratégiából generált minimális stratégiákkal dolgoztunk, ahol figyelmen kívül hagytuk az ismételt beállításokat és a sorrendiséget, az időfaktort. Minden problémastruktúrára (bemeneti és kimeneti változók száma szerint, figyelmen kívül hagyva a kapcsolatok számát) lefuttattuk az elemzéseket. Minden esetben a tesztben előforduló első, adott struktúrával rendelkező probléma megoldása során mentett kontextuális adatokra építettünk. Az eredményeket ábrázoló diagramokon megjelenítettük a nem elegendő stratégiahasználat (n.e.s.), illetve a helyes és a helytelen válaszok arányát is.

4. táblázat. Az elméletileg helyes stratégiákon belül a VOTAT-, a VOTAT-stratégiákon belül az elszigetelt változókezelést alkalmazó VOTAT-, valamint a nem VOTAT-stratégiák aránya

| Bemeneti/kimeneti változók száma | Elméletileg helyes stratégia (gyakoriság, %) | |
|-------------------------------------|---|-----------|
| | VOTAT (elszigetelt változókezelés VOTAT %-ban) | nem VOTAT |
| 2-1 | 87,91 (50,40) | 12,09 |
| 2-2 | 86,97 (51,69) | 13,02 |
| 3-2 | 78,71 (54,20) | 21,28 |
| 3-3 | 80,21 (57,39) | 19,78 |

A legegyszerűbb, kettő bemeneti változót és egy kimeneti változót tartalmazó feladatoknál a korábbi kódolást alkalmazva VOTAT-stratégiának számít: +1+1; +1+2; +1+3, míg a nem VOTAT-, de helyes stratégiák közé sorolhatók: +4. A teljes rendszer kiismerése vonatkozásában a nem elegendő stratégiákhoz tartozik a +1 stratégia, mégis külön kezeltük, miután a kis számú bemeneti változó miatt már egy bemeneti változó viselkedésének ismerete alapján nagy valószínűséggel felrajzolható a modell működése.

Ezen problémák esetén nemcsak a helyes stratégia alkalmazása esetén, hanem a nem elegendő stratégiahasználat mellett is magas volt a helyes válaszok aránya. Minden esetben magasabb, mint a helytelen válaszoké. Ennek oka, hogy relatíve kevés változót és összefüggési lehetőséget tartalmaztak az érintett problémák (3 darab: csak az első bemeneti változó hat a kimeneti változóra, csak a második bemeneti változó hat a kimeneti változóra, mindkét bemeneti változó hat a kimeneti változóra, a negyedik esetet alapbeállításban kizártuk, amikor egyik bemeneti változó sem hat a kimeneti változóra). A VOTAT-stratégiák közül a +1+1, illetve a +1+2 típusút alkalmazták leggyakrabban (1. 6. ábra; az elemzések során például a +A+1+1 típusú stratégiát a +1+1 lépéskombinációhoz soroltuk abban az esetben, ahol a probléma feltérképezéséhez nem volt szükség saját dinamika vizsgálatára).



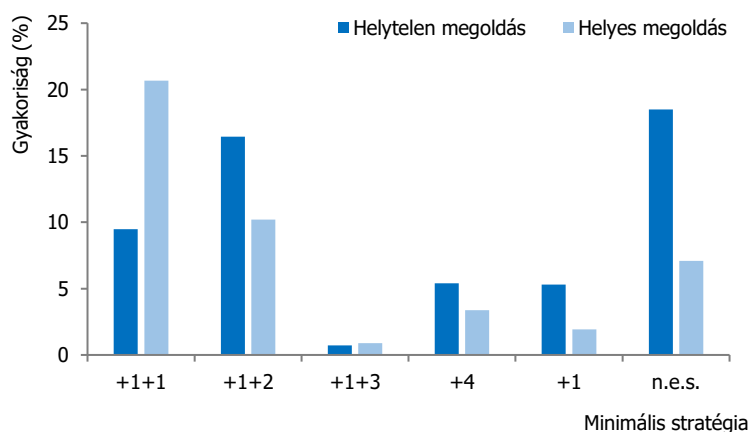
6. ábra

A legegyszerűbb, kettő bemeneti és egy kimeneti változót tartalmazó problémák feltérképezése során alkalmazott minimális stratégiák a teljesítmény függvényében (n.e.s.: a szükséges információk kinyeréséhez nem elegendő stratégia; a stratégiakódoláshoz l. Eljárások: a minimálisan komplex rendszerre épülő problémák feltérképezésének teljes, alap- és minimális stratégia modellje című részt)

Arányaiban a +1+1 stratégiát alkalmazzák – amikor első lépésben kizárólag az első bemeneti változó, majd második lépésben kizárólag a második bemeneti változó hatását vizsgálták (a másik bemeneti változó értékét nullán tartva) a kimeneti változókra – voltak a legsikeresebbek, háromnegyedük helyesen rajzolta fel a modellt. A +1+2 stratégiát alkalmazzák (megnézték az egyik bemeneti változó hatását, majd az értéket megtartva megváltoztatták a másik bemeneti változó értékét) kétharmada tudta helyesen felrajzolni a modellt. A kicsit alacsonyabb megoldottsági ráta oka lehet, hogy ők az eredmény értelmezése során figyelmen kívül hagyták azt, hogy a +1+2 stratégia alkalmazásával a második lépésben már kumulált hatást látnak és nem a másodsorra változtatott bemeneti változó elszigetelt hatását. A +1+3 VOTAT-stratégiát alkalmazzák is, bár számuk alacsony volt, nagyobb arányban oldották meg helyesen a problémát, mint helytelenül. Hasonló jelenséget

tapasztaltunk a +4 helyes, de nem VOTAT-stratégiát használó diákok körében is, kétharmaduk helyes döntést hozott a modell felépítése kapcsán. A nem helyes stratégiahasználók között túlréprezentáltak a +1 lépéskombinációt alkalmazók, akiknek nagy része a rendszer egyszerű felépítése következtében ezzel a stratégiával is sikeres problémamegoldónak bizonyult. Szintén ez okozhatta azt, hogy az egyéb, nem elegendő stratégiát alkalmazók is intuitív módon jól teljesítettek az egyszerű szerkezetű problémákon.

A stratégiahasználat helyessége és a kinyert információk alapján felállított modell helyessége közötti összefüggés jelentős mértékben megváltozott a kimeneti változók tekintetében eggyel nagyobb fokú komplexitással rendelkező problémák esetén (7. ábra). A kettő bemeneti és kettő kimeneti változóval rendelkező rendszerek feltérképezése során alkalmazható VOTAT- és helyes nem VOTAT-stratégiák köre nem változott a két bemeneti és egy kimeneti változóval rendelkező problémákhoz képest, viszont, miután nőtt a lehetséges kapcsolatok és ezért a felállítható modellek száma, jelentős mértékben csökkent az ösztönösen, intuitíven jó problémamegoldók aránya.

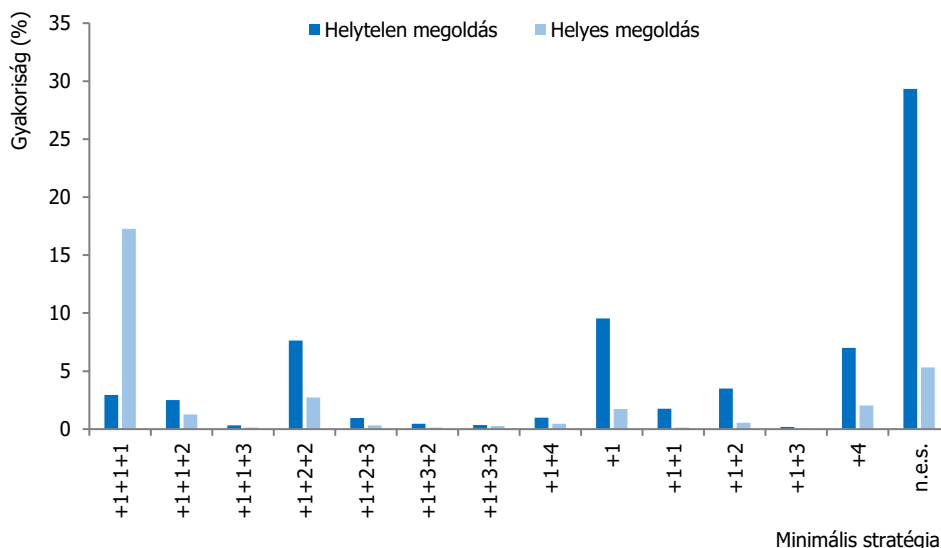


7. ábra

A két bemeneti és két kimeneti változót tartalmazó problémák feltérképezése során alkalmazott minimális stratégiák a teljesítmény függvényében (n.e.s.: a szükséges információk kinyeréséhez nem elegendő stratégia; a stratégiakódoláshoz l. Eljárások: a minimálisan komplex rendszerre épülő problémák feltérképezésének teljes, alap- és minimális stratégia modellje című részt)

Továbbra is hatékony problémamegoldó stratégiának bizonyultak a VOTAT-stratégiák. Az elemzésekben egyértelműen kirajzolódott az elszigetelt változók kezelésére alapozó stratégia előnye (Wüstenberg et al., 2014) a többi VOTAT-stratégia között, amikor a diákok egymástól függetlenül kezelték és ellenőrizték a bemeneti változók kimeneti változóira gyakorolt hatását. A +1+1 stratégiát alkalmazók kétharmada helyes modellt állított fel a problémamegoldás modellépítés fázisában, míg a +1+2 stratégiát használók többsége helytelen. Feltétezzük, hogy ők figyelmen kívül hagyták azt, hogy az alkalmazott stratégia nem elszigetelten, hanem kumuláltan nézi a bemeneti változók hatását. A +1+2 stratégiát alkalmazók kétötöde helyes, míg háromötöde helytelen modellt állított fel, holott a

rendszer működésének pontos leírásához szükséges összes információ rendelkezésükre állt. Továbbra is kis arányban fordultak elő a +1+3, illetve +4 stratégiát működtető problémamegoldók. Ennek ellenére a nem VOTAT-, de helyes +4-es stratégiát alkalmazó jó problémamegoldók ismét felhívták a figyelmet arra, hogy a minimálisan komplex rendszerekben történő problémamegoldóstratégia-vizsgálatok során nem elegendő a VOTAT-stratégiákra szűkíteni az elemzéseket. Az alkalmazott stratégia tekintetében a helytelen stratégiahasználók közé sorolható diákok harmada oldotta meg jól az ilyen típusú problémákat, azaz már kettő kimeneti változó alkalmazása esetén jelentős mértékben visszaszorítható a helyes találgatások aránya. A három bemeneti és két kimeneti változóval rendelkező rendszerek még kisebb teret adtak a találgatásnak, amit az eredmények is alátámasztanak. Ebben az esetben 9 VOTAT- és 3 nem VOTAT-, de elegendő információt szolgáltatató minimális stratégia különíthető el egymástól. A korábbi kódolást alkalmazva VOTAT-stratégiák: +1+1+1; +1+1+2; +1+1+3; +1+2+1; +1+2+2; +1+2+3; +1+3+1; +1+3+2; +1+3+3; nem-VOTAT-, de helyes stratégiák: +1+4; +4+2; +4+3. Továbbra is a leghatékonyabb stratégia a teljes mértékben elszigetelt, változókezelést alkalmazó VOTAT-stratégia: +1+1+1 (8. ábra) volt. A leggyakrabban alkalmazott és az alacsonyabb komplexitású rendszerekben is a leghatékonyabbnak bizonyult VOTAT-stratégiát alkalmazó diákok közel 90%-a helyesen rajzolta fel a három bemeneti és két kimeneti változóval rendelkező problémák belső összefüggésének rendszerét. A további nyolc VOTAT-stratégia közül csak hatot alkalmaztak, a +1+2+2 stratégia alkalmazása fordult még elő relatíve gyakran (a diákok 10%-ánál).



8. ábra

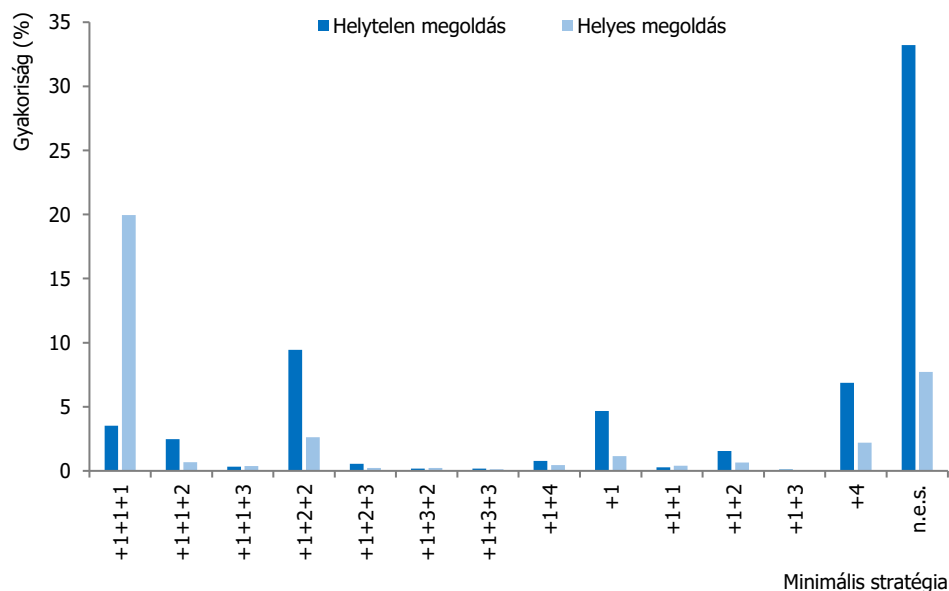
A három bemeneti és két kimeneti változót tartalmazó problémák feltérképezése során alkalmazott helyes VOTAT- és nem VOTAT-minimális stratégiák a teljesítmény függvényében

Annak ellenére, hogy helyes stratégiaalkalmazásról van szó, a diákok kevesebb mint harmada tudta helyesen felépíteni a modellt az így kinyert információk segítségével. Az összes többi VOTAT- és helyes nem VOTAT-stratégia alkalmazása elhanyagolható mennyiségben és alacsony hatékonysággal fordult elő. A nem elegendő stratégiák között külön kiemeltük a +1-es, a +1+1-es, a +1+2-es, +1+3-as és +4-es stratégiákat. Ezek két bemeneti változó esetén hatékony stratégiák voltak, de egy három bemeneti változóból álló rendszer feltérképezése esetén már nem elegendők. Közöttük a +1-es és a +1+2-es stratégia gyakorisága volt kiemelkedő. Három bemeneti változó esetén tovább csökkent a nem elegendő stratégiát alkalmazó, mégis ösztönösen helyes problémamegoldónak bizonyuló tanulók aránya.

A három bemeneti és a három kimeneti változót tartalmazó problémákon alapuló elemzések alátámasztották a korábbi eredményeket (9. ábra). A VOTAT-stratégiák közül a problémát jól megoldók között továbbra is kiemelt helyet foglalt el a +1+1+1 minimális stratégia. Az ezt alkalmazók több mint 80%-ban helyesen oldották meg a problémát, azaz sem a helyes problémamegoldás, sem a helyes stratégia külön-külön nem ad teljes képet a diákok problémamegoldó gondolkodásának fejlettségi szintjéről. A +1+2+2 stratégia alkalmazása fordult még elő gyakrabban a VOTAT-stratégiák közül, azonban ebben az esetben feltételezhető, hogy a diákok figyelmen kívül hagyták, hogy kumulált hatást tesztelnek, ezért kevesebb, mint harmaduk hozott helyes döntést a rendszer felépítését tekintve. A +1+2+2 minimális stratégiával dolgozó problémamegoldók jelentős része helytelenül rajzolta fel a rendszer szerkezetét mutató modellt, miközben a helyes modellépítéshez minden információ rendelkezésükre állt. A többi VOTAT- és helyes, de nem VOTAT-stratégia alkalmazása elhanyagolható szerepet játszott. A nem elegendő stratégia alkalmazás már elenyésző esetben vezetett helyes megoldáshoz, azaz a változók és a kapcsolatok számának növekedésével közel teljes mértékben visszaszorult a helyes találgatások aránya, és minden nem elegendő stratégia esetén (+1, +1+1, +1+2, +1+3, +4, n.e.s) gyakoribb volt a helytelen, mint a helyes válasz.

A diákok által alkalmazott stratégiaelemzések rávilágítottak arra, hogy a teszt megbízhatósági mutatói jelentős mértékben növekednek, ha nemcsak a diákok válaszaira, hanem a problémamegoldás folyamatát pontosabban rekonstruáló és jellemző kontextuális adatok elemzésére is alapozzuk megállapításainkat. Annak ellenére, hogy a MicroDYN-rendszerekhez hasonló minimális komplexitású rendszerek kiismerése, feltérképezése számos problémamegoldó stratégiával megvalósítható, mégis a szakirodalomban közel egyedülként tárgyalt VOTAT-stratégiákhoz sorolható, bemeneti változók számától függő +1+1, illetve +1+1+1 minimális stratégiák alkalmazása bizonyul a leghatékonyabbnak. Az alacsony számú (két bemeneti és egy kimeneti) változóval rendelkező rendszerekben egyrészt magas volt a helyes találgatás aránya, másrészt még ezen egyszerű problémák megoldása során is relatíve magas arányban képviseltették magukat azok a diákok, akik bár helyes stratégiát alkalmaztak a probléma feltérképezése során – azaz elméletileg sikerült kinyerniük az összes lényeges információt a rendszer működéséről –, de azt már nem tudták értelmezni, felrajzolni, reprezentálni egy modellben. Már a két bemeneti és két kimeneti változóval rendelkező problémák esetén is jelentős mértékben visszaesett a helyes találgatás, az intuitív jó problémamegoldók aránya, és megjelent az a tendencia, miszerint a számos elegendő információt szolgáltató VOTAT- és nem VOTAT-stratégia ellenére is

egy speciális VOTAT-stratégia alkalmazása vezetett leginkább helyes megoldáshoz. A teljes mértékben elszigetelt változókezeléssel dolgozó stratégia alkalmazása sem eredményezett minden esetben helyes megoldást, ezért felmerült a kérdés, hogy feltérképezhető-e a stratégia alkalmazásának tudatossága, és a tudatos stratégiahasználók is hasonló arányban oldják-e meg ezeket a problémákat. A többi, elméletileg jó stratégia alkalmazása esetén minden esetben magasabb volt a helytelen értelmezés, a helytelen válaszok aránya. A +1+1, illetve +1+1+1 stratégia mellett arányaiban leggyakrabban a +1+2, illetve a +1+2+2 stratégia fordult elő, ami bár helyes stratégia, mégis a diákok 20–30%-a tudta csak helyesen értelmezni és reprezentálni az így kinyert információkat (valószínű, hogy az eredmények téves interpretálása miatt).



9. ábra

A három bemeneti és három kimeneti változót tartalmazó problémák feltérképezése során alkalmazott helyes VOTAT- és nem VOTAT-alapstratégiák a teljesítmény függvényében

Pedagógiai szempontból ezen eredmények rávilágítottak arra, hogy a diákoknak még ilyen egyszerű, kevés változót tartalmazó rendszer kiismerése, a kinyert információk értelmezése, majd a rendszer működtetése is problémát jelent. Egyre sürgetőbb feladat, hogy a közel teljes mértékben ismeretek közvetítésén alapú oktatást átalakítsuk egy gondolkodási képességek fejlesztését is fókuszba állító iskolarendszerré. Az iskolán kívüli életre való felkészítés lényeges eleme, hogy a diákok képesek legyenek problémák megoldására. A legegyszerűbb problémák megoldása sem lehetséges a problémában található (bemeneti és kimeneti) változók azonosítása és a bemeneti változók kimeneti változókra gyakorolt

hatásának ellenőrzése nélkül. A kontextuális adatok elemzése egyértelműen alátámasztotta, hogy nem elegendő csak a végeredményre, a diák által adott helyes vagy helytelen válaszra koncentrálni és az alapján értékelni, hiszen az már egy leképezett tudás, egy folyamat vége. Lényeges az eredményhez vezető út (ami még a helyes megoldás esetén is sok esetben különböző), jelen esetben az alkalmazott problémamegoldó stratégia értékelése is. Annak tudatosítása, hogy bár egy probléma sokféle úton megoldható, de minden esetben vannak hatékonyabb és kevésbé hatékony stratégiák, problémamegoldási módszerek, lépések, melyek iskolai fejlesztése egyre inkább nélkülözhetetlen.

A rögzített kontextuális adatok és a felállított minimális, alap- és teljes stratégia modelljeinek segítségével választ kereshettünk arra a korábban említett kutatási kérdésre is, hogy az alkalmazott stratégia tudatossága milyen mértékben befolyásolta a diákok problémamegoldó teljesítményét. Ennek feltérképezése céljából összevetettük a diákok által alkalmazott alap- és minimális stratégiákat. A tudatosság detektálása során az adott stratégia időben és egymásutánosságában összetartozó lépéseit kerestük. Míg az alapstratégia tartalmazza az időbeniséget (kizárja a teljes stratégiában még előforduló ismétlődéseket), a kipróbálás sorrendjét, addig a minimális stratégia már időbeliség nélkül kezeli a kivitelezett lépéseket, viszont információt szolgáltat arról, hogy a folyamat során kipróbálta-e a diák az adott lépéskombinációt.

A stratégiahasználat tudatossága és a problémamegoldó teljesítmény kapcsolata

A tudatosság elemzése során az alkalmazott VOTAT-stratégiákat egyben kezeltük, illetve kiemeltük +1+1, és +1+1+1, illetve sajátdinamika esetén a sajátdinamikát vizsgáló (+A) lépéssel kiegészített, de azonos stratégiákat. Az eredmények értelmében (5. táblázat) jelentős különbség van a felfedezés során valamely VOTAT-stratégiát alkalmazók és az egymás utáni lépések alapján tudatos VOTAT-stratégiát alkalmazók száma és teljesítménye között.

A tudatos alkalmazók jóval nagyobb arányban reprezentálták a rendszerből kinyert információkat helyesen. A legkisebb komplexitású feladatok esetén a tudatos +1+1 stratégiahasználók között négyszer annyian hoztak helyes döntést, mint helytelen. Ez az arány két, illetve két és félszeres volt az időfaktort figyelmen kívül hagyó elemzésekben. A bonyolultabb rendszerek esetén is tapasztalható volt ez a tendencia – 7–7,5-szer annyian hoztak helyes döntést a tudatos stratégiahasználók, mint a kevésbé tudatosak (5,5–6 ez az arány) –, bár kisebb mértékben, miután a logfájl-elemzések eredményei alapján a bonyolultabb rendszereknél kisebb arányban fordultak elő a VOTAT-stratégiát nem tudatosan alkalmazó diákok.

A sajátdinamikával rendelkező problémák feltérképezése kapcsán a VOTAT-stratégiát alkalmazó és helyes döntést hozó diákok mindegyike tudatos stratégiaalkalmazónak bizonyult. Kivétel nélkül a helytelen megoldást adó csoportból kerültek ki a kevésbé tudatos stratégiahasználók.

5. táblázat. A tudatos és kevésbé tudatos VOTAT-stratégia-használók problémamegoldó sikeressége

| Komplexitás/VOTAT-stratégia | Minimális stratégia | | | Alapstratégia | | | Eltérés | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-----|-------|---------------|-----|-------|---------|-----|-------|-----|
| | 0 | 1 | Össz. | 0 | 1 | Össz. | 0 | 1 | Össz. | |
| 2-1 | Sum_VOTAT | 410 | 957 | 1367 | 326 | 801 | 1127 | 84 | 156 | 240 |
| | +1+1 | 191 | 498 | 689 | 68 | 259 | 327 | 123 | 239 | 362 |
| 2-2 | Sum_VOTAT | 594 | 708 | 1302 | 466 | 615 | 1081 | 128 | 93 | 221 |
| | +1+1 | 212 | 461 | 673 | 76 | 307 | 383 | 136 | 154 | 290 |
| 3-2 | Sum_VOTAT | 334 | 487 | 821 | 277 | 459 | 736 | 57 | 28 | 85 |
| | +1+1+1 | 65 | 380 | 445 | 47 | 353 | 400 | 18 | 27 | 45 |
| 3-3 | Sum_VOTAT | 364 | 528 | 892 | 305 | 502 | 807 | 59 | 26 | 85 |
| | +1+1+1 | 77 | 435 | 512 | 67 | 418 | 485 | 10 | 17 | 27 |
| Sajátdinamika | | | | | | | | | | |
| 3-2 | Sum_VOTAT+A | 143 | 31 | 174 | 124 | 31 | 155 | 19 | 0 | 19 |
| | A+1+1+1/+1+A+1+1/+1+1+A+1/+1+1+1+A | 77 | 30 | 107 | 66 | 28 | 94 | 11 | 2 | 13 |
| 3-3 | Sum_VOTAT+A | 83 | 43 | 126 | 75 | 43 | 118 | 8 | 0 | 8 |
| | A+1+1+1 | 62 | 41 | 103 | 61 | 41 | 102 | 1 | 0 | 1 |

Összességében megállapítható, hogy a kevésbé tudatos stratégiahasználók között (5. táblázat eltérés oszlopa) arányaiban nagyobb mértékben fordultak elő a helytelen megoldást adó diákok, a tudatos VOTAT-stratégiát használók pedig nagyobb arányban értelmezték helyesen és képezték le jól a rendszerből kinyert információkat. Ennek ellenére a tudatos stratégiahasználók között továbbra is voltak olyan diákok, akik nem tudták helyesen reprezentálni a rendszerből kinyert információkat, azaz a tudatos feltérképezés sem jelentett egyértelműen helyes megoldást. Minél bonyolultabb volt a probléma mögött húzódó rendszer, annál inkább elkülönült egymástól a tudatos és kevésbé tudatos VOTAT-stratégia-használók teljesítménye és egyre inkább erősödött az a tendencia, hogy a tudatos stratégiahasználók jól is reprezentálják a rendszerből kinyert információkat, azaz helyes döntéseket hoztak a probléma megoldása során. Ez az eredmény alátámasztja korábbi megállapításunkat, azaz lényeges oktatási feladat a diákok problémamegoldó képességének, különböző problémamegoldó stratégiák, lépések (pl. változók azonosítása, elszigetelt változók kezelése) és az ezeket befolyásoló kevésbé komplex gondolkodási képességek (pl. induktív gondolkodás) fejlesztése. A tudatos problémamegoldó és feltérképező stratégiákat használó diákok sikeressége a többiekkel szemben egyértelműen bizonyítható.

A kivitelezett manipulációk száma és a probléma megoldásával töltött idő kapcsolata az alkalmazott stratégia helyességével és a problémamegoldó teljesítménnyel

További logfájl-elemzéseket végeztünk abból a célból, hogy választ kapjunk arra a kutatási kérdésre, hogy a kivitelezett manipulációk száma és a probléma megoldásával töltött idő hogyan függ össze az alkalmazott stratégia helyességével és a teszten, problémákon mutatott teljesítményekkel. Az eredmények értelmében a teljesítmény, azaz a diákok válaszainak helyessége és a probléma feltérképezését célzó manipulációk száma és a probléma feltérképezésével töltött idő kevésbé függ össze. A kontextuális adatok elemzése nélkül azt mondhatnánk, hogy a diákok teljesítményét, problémamegoldó hatékonyságukat kevésbé határozta meg a probléma kiismerésével eltöltött idő és a problémával való interakciók száma. Ugyanakkor a kontextuális adatok és stratégiaelemzések rávilágítottak arra, hogy mind a problémával való interakciók mennyisége, mind a probléma feltérképezésére szánt idő és a problémamegoldás során alkalmazott stratégia helyessége között közepes erősségű szignifikáns kapcsolat volt, azaz mégis fontos tényezők a problémamegoldás folyamatában. Minél bonyolultabb, komplexebb rendszer feltérképezéséről volt szó, annál erősebb volt ez a kapcsolat (6. táblázat). Míg a tesztben szereplő legegyszerűbb rendszerek esetén $r=0,3-0,4$, addig a három bemeneti változót tartalmazó problémák kapcsán már $r=0,6$ feletti a probléma feltérképezésére szánt manipulációk mennyisége és $r=0,5$ körüli a feltérképezésre szánt idő és a helyes stratégia alkalmazása közötti kapcsolat erőssége (mindegyik korrelációs együttható $p<0,01$ szinten szignifikáns).

6. táblázat. A kivitelezett manipulációk száma és a probléma megoldásával töltött idő összefüggése az alkalmazott stratégia helyességével és a teszt egyes problémáin mutatott teljesítménnyel

| Probléma száma | r (teljesítmény/ manipulációk száma) | r (teljesítmény/ idő) | r (elméletileg helyes stratégia/ manipulációk száma) | r (elméletileg helyes stratégia/ idő) |
|----------------|---|----------------------------|---|--|
| 1. | n.s. | n.s. | 0,453** | 0,352** |
| 2. | n.s. | -0,068** | 0,477** | 0,308** |
| 3. | 0,072** | 0,073* | 0,471** | 0,326** |
| 4. | 0,047* | n.s. | 0,483** | 0,320** |
| 5. | 0,136* | 0,098* | 0,541** | 0,380** |
| 6. | n.s. | n.s. | 0,376** | 0,350** |
| 7. | 0,137** | 0,097** | 0,610** | 0,431** |
| 8. | 0,149** | 0,088** | 0,555* | 0,377** |
| 9. | 0,098** | 0,124** | 0,645** | 0,446** |
| 10. | 0,183** | 0,134** | 0,667** | 0,484** |

Megjegyzés: A problémák komplexitását l. 6.3. táblázat; *: $p<0,05$, ** $p<0,01$ szinten szignifikáns.

A diákok átlagosan különböző mennyiségű időt töltöttek a problémák feltérképezésével. A legalacsonyabb képességszintű diákok kétharmadszor annyi időt szántak a problémák kiismerésére (7. évf.: 258,34 másodperc), mint a legmagasabb képességszintűek (7. évf.: 364,67 másodperc). Az ANOVA-elemzés eredménye szerint a legalacsonyabb képességszintűeknél szignifikánsan több időt, ugyanakkor egymás között azonos mennyiségű időt töltöttek a szakértő problémamegoldók és az egyszerű problémákon alacsony-közepes szinten, a bonyolultabb rendszereken alulteljesítő diákok (7. évf.: 350,02 másodperc) is. A problémák feltérképezésére a legtöbb időt ($p < 0,05$) az egyszerű problémákon jól, de a komplexeken alulteljesítő diákok (7. évf.: 450,00 másodperc) szánták.

A diákok által teszten belül alkalmazott manipulációk mennyisége közötti kapcsolat egyre erősödött (7. táblázat). Míg a teszt első két-három problémája feltérképezése kapcsán kevésbé volt azonos, addig a negyedik problémától kezdve jellemző volt, hogy aki több interakciót alkalmazott a rendszer megismerése során, az a következő problémánál is ezt tette, míg aki kevesebbet, az később sem járt el másképp. Ez alátámasztja azon feltételezésünket, miszerint definiálhatók olyan típusú problémamegoldók, akiknek viselkedése alapvetően nem változik a teszt megoldása közben.

A tanulmányban bemutatott elemzések egyértelműen rávilágítottak arra, hogy a technológiaalapú tesztelés azon tulajdonsága, hogy rögzíthetővé (logolhatóvá) és elemezhetővé válnak a kontextuális adatok (pl. kattintás, idő), olyan kutatási kérdések megválaszolását teszik lehetővé, amelyekre néhány évvel ezelőtt a hagyományos technikák alkalmazásával még nem tudtunk volna válaszolni. A kontextuális adatok elemzése hozzájárult a diákok által minimálisan komplex rendszerű problémák esetén alkalmazott stratégiák pontosabb feltérképezéséhez.

7. táblázat. A teszt megoldásakor az egymás utáni problémák feltérképezése során alkalmazott manipulációk száma közötti összefüggések

| | | Kipróbált lehetőségek száma (alkalmazás gombra való kattintás száma) | | | | | | | | | |
|---|--------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | <i>r</i> | 2. pr. | 3. pr. | 4. pr. | 5. pr. | 6. pr. | 7. pr. | 8. pr. | 9. pr. | 10. pr. |
| Kipróbált lehetőségek száma (alkalmazás gombra való kattintás száma) | 1. pr. | 0,384** | 0,362** | 0,372** | 0,356** | 0,314** | 0,271** | 0,277** | 0,259** | 0,265** | |
| | 2. pr. | | 0,485** | 0,456** | 0,395** | 0,266** | 0,341** | 0,319** | 0,368** | 0,349** | |
| | 3. pr. | | | 0,570** | 0,504** | 0,480** | 0,423** | 0,449** | 0,416** | 0,395** | |
| | 4. pr. | | | | 0,569** | 0,501** | 0,455** | 0,487** | 0,420** | 0,402** | |
| | 5. pr. | | | | | 0,654** | 0,553** | 0,573** | 0,506** | 0,489** | |
| | 6. pr. | | | | | | 0,497** | 0,612** | 0,386** | 0,367** | |
| | 7. pr. | | | | | | | 0,584** | 0,581** | 0,567** | |
| | 8. pr. | | | | | | | | 0,615** | 0,600** | |
| | 9. pr. | | | | | | | | | 0,705** | |

A teszt megbízhatósági mutatói jelentős mértékben növekedtek, ha nemcsak a diákok konkrét válaszaira, hanem az általuk alkalmazott problémamegoldó, feltérképező stratégiákra is alapoztuk az elemzéseket. Annak ellenére, hogy a minimális komplexitású rendszerek feltérképezése számos stratégiával megvalósítható, mégis a változók szigorú elszigetelésére alapozó VOTAT-stratégia alkalmazása bizonyult a leghatékonyabbnak. A többi, elméletileg jó stratégia alkalmazása esetén magasabb volt a helytelen értelmezés, a helytelen válaszok aránya. A diákok egy jelentős hányada elegendő információt szolgáltató stratégiát alkalmazott a rendszerek feltérképezése során, de a kinyert információkat nem tudták értelmezni és leképezni, felrajzolni a kért modellben.

A tudatos stratégiahasználók jóval nagyobb arányban reprezentálták a rendszerből kinyert információkat helyesen. A legkisebb komplexitású feladatok esetén négyszer annyian hoztak helyes döntést, mint helytelent. A bonyolultabb rendszerek esetén is tapasztalható volt ez a tendencia, bár kisebb mértékben, miután a logfájl-elemzések eredményei alapján a bonyolultabb rendszereknél kisebb arányban fordultak elő a VOTAT-stratégiát nem tudatosan alkalmazó diákok. A sajátdinamikával rendelkező problémák feltérképezése kapcsán a VOTAT-stratégiát alkalmazó és helyes döntést hozó diákok mindegyike tudatos stratégiaalkalmazónak bizonyult. Minél komplexebb, több változót tartalmazott a feltérképezendő és megoldandó probléma mögött meghúzódó rendszer, annál inkább elkülönült egymástól a tudatos és kevésbé tudatos VOTAT-stratégia-használók teljesítménye, és egyre inkább erősödött az a tendencia, hogy a tudatos stratégiahasználók jól is reprezentálják a rendszerből kinyert információkat, azaz helyes döntéseket hoztak a probléma megoldása során.

A problémák feltérképezésével töltött idő és interakciók száma – bár kismértékben függött össze a teljes teszten nyújtott teljesítményükkel – az alkalmazott stratégiákkal közepes-erős szintű kapcsolatot jelzett. A kapcsolat erőssége változott a problémák komplexitásának függvényében. Az egyszerű problémák esetén a korábban tapasztalt nagyfokú találgatás is hozzájárult a gyengébb kapcsolat meglétéhez, míg a bonyolultabb problémáknál egyértelműen kimutatható volt, hogy aki több időt töltött a rendszer feltérképezésével, több szcenáriót alkalmazott, teljesítménye is magasabb volt.

Összegzés

A diákok által alkalmazott felfedező és problémamegoldó stratégiák elemzése rávilágított arra, hogy a 6–8. évfolyamos diákok jelentős részének még a jelen kutatásban alkalmazott egyszerű, kevés változót tartalmazó rendszerek kiismerése, a kinyert információk értelmezése és a rendszerek működtetése is problémát jelentett. A kontextuális adatok elemzése megerősítette azon hipotézisünket, hogy nem elegendő a megoldás helyességének ellenőrzése, a megoldáshoz vezető út értékelése sokkal pontosabb információt szolgáltat a diákok által alkalmazott problémamegoldó stratégiák helyességéről. Rámutatott azon diákokra, akik összességében egymáshoz közel álló teljesítményt mutattak, ugyanakkor azt különböző úton, utakon, különböző hatékonyságú problémamegoldó stratégiák alkalmazásával érték el. Az elemzések kiemelték a stratégiahasználat tudatosságának fontosságát.

Mindezek alapján egyre lényegesebb feladat a közel teljes mértékben ismeretek közvetítésén alapú oktatás túllépése és a gondolkodási képességek fejlesztését (pl. problémamegoldó képesség, induktív gondolkodás) is fókuszba állító problémaalapú tanítás elterjesztése. A tanulmányban kiemelt szerepet kapó VOTAT-stratégia, illetve azon belül az elszigetelt változókezelésre alapozó felfedező stratégiák alkalmazása nemcsak a problémamegoldással kapcsolatos kutatásokban, hanem a természettudományos gondolkodás elsajátítási folyamatát vizsgáló kutatásokban és fejlesztésekben is előtérbe került, fontos szerepet játszik.

A technológiaalapú tesztelés és az új módszertani repertoár integrálása olyan új lehetőségeket teremtett a mérés-értékelés terén, amire hagyományos, papíralapú és szemtől szembeni technikák, illetve a klasszikus tesztelmélet alkalmazásával nem volt mód. Ezen eszközök alkalmazásával a korábbinál pontosabbá, objektívebbé, a diákok számára motiválóbbá tehető a tesztelés folyamata. A kontextuális adatok, a logfájl-elemzések segítségével pontosabban rekonstruálható, mit tett, hogyan gondolkodott a diák a tesztelés során, ami új lehetőségeket teremtett a vizsgált jelenségek alaposabb megértése terén. Az értékelés azonnali visszacsatolásának lehetőségét kihasználva a korábbi szummatív dominanciájú megközelítés mellett jelentős hangsúlyt kaphat a diagnosztika, az egyénre szabott, hatékony, tanulást segítő tesztelés. Ezzel megvalósulna a mérés-értékelés átdefiniálása és tanulást segítő funkciójának kihasználása. Alkalmazása a 21. században – egy fejlett oktatási rendszerrel rendelkező ország esetén – elkerülhetetlen.

A tanulmány megírását az OTKA K115497 kutatás támogatta.

Irodalom

- Csapó, B., Molnár, G., & Nagy, J. (2015). A DIFER tesztek online változatával végzett mérések tapasztalatai. In B. Csapó & A. Zsolnai (Eds.), *Online diagnosztikus mérések az iskola kezdő szakaszában* (pp. 163–182). Budapest: Oktatókutató és Fejlesztő Intézet.
- Csapó, B., Molnár, G., & Nagy, J. (2014). Computer-based assessment of school-readiness and reasoning skills. *Journal of educational psychology, 106*(2), 639–650. doi: [10.1037/a0035756](https://doi.org/10.1037/a0035756)
- Fischer, A., Greiff, S., & Funke, J. (2012). The process of solving complex problems. *Journal of Problem Solving, 4*, 19–42. doi: [10.7771/1932-6246.1118](https://doi.org/10.7771/1932-6246.1118)
- Funke, J. (1992). *Wissen über dynamische Systeme: Erwerb, Repräsentation und Anwendung*. Heidelberg: Springer. doi: [10.1007/978-3-642-77346-4](https://doi.org/10.1007/978-3-642-77346-4)
- Funke, J. (2001). Dynamic systems as tools for analysing human judgement. *Thinking and Reasoning, 7*(1), 69–89. doi: [10.1080/13546780042000046](https://doi.org/10.1080/13546780042000046)
- Funke, J. (2010). Complex problem solving: A case for complex cognition? *Cognitive Processing, 11*, 133–142. doi: [10.1007/s10339-009-0345-0](https://doi.org/10.1007/s10339-009-0345-0)
- Funke, J. (2014). Analysis of minimal complex systems and complex problem solving require different forms of causal cognition. *Frontiers in psychology, 5*, 739. doi: [10.3389/fpsyg.2014.00739](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00739)
- Greiff, S. (2015, April). Educating students towards becoming proficient problem solvers: Initiating an important discussion around 21st century education. Paper presented at 7th Szeged Workshop on Educational Evaluation, Szeged.

- Greiff, S., & Funke, J. (2010). Systematische Erforschung komplexer Problemlösefähigkeit anhand minimal komplexer Systeme. *Zeitschrift für Pädagogik*, *56*, 216–227.
- Greiff, S., Wüstenberg, S., & Avvisati, F. (2015). Computer-generated log-file analyses as a window into students' minds? A showcase study based on the PISA 2012 assessment of problem solving. *Computers & Education*, *91*, 92–105. doi: [10.1016/j.compedu.2015.10.018](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.10.018)
- Greiff, S., Wüstenberg, S., & Funke, J. (2012). Dynamic problem solving: A new assessment perspective. *Applied Psychological Measurement*, *36*(3), 189–213. doi: [10.1177/0146621612439620](https://doi.org/10.1177/0146621612439620)
- Greiff, S., Wüstenberg, S., Csapó, B., Demetriou, A., Hautamäki, H., Graesser, A. C., & Martin, R. (2014). Domain-general problem solving skills and education in the 21st century. *Educational Research Review*, *13*, 74–83. doi: [10.1016/j.edurev.2014.10.002](https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.002)
- Greiff, S., Wüstenberg, S., Molnár, G., Fischer, A., Funke, J., & Csapó, B. (2013). Complex problem solving in educational contexts – Something beyond g: Concept, assessment, measurement invariance, and construct validity. *Journal of Educational Psychology*, *105*(2), 364–379. doi: [10.1037/a0031856](https://doi.org/10.1037/a0031856)
- Molnár, G. (2012). A problémamegoldó gondolkodás fejlődése: az intelligencia és szocioökonómiai háttér befolyásoló hatása 3-11. évfolyamon. *Magyar Pedagógia*, *112*(1), 41–58.
- Molnár, G. (2013). Területspecifikus komplex problémamegoldó gondolkodás fejlődése. In G. Molnár & E. Korom (Eds.), *Az iskolai sikerességet befolyásoló kognitív és affektív tényezők értékelése* (pp. 161–180). Budapest: Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó.
- Molnár, G., Greiff, S., & Csapó, B. (2013). Inductive reasoning, domain specific and complex problem solving: relations and development. *Thinking skills and Creativity*, *9*(8), 35–45. doi: [10.1016/j.tsc.2013.03.002](https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.03.002)
- Molnár, G., Greiff, S., Wüstenberg, S., & Fischer, A. (2017). Empirical study of computer based assessment of domain-general dynamic problem solving skills. In B. Csapó, J. Funke, & A. Schleicher (Eds.), *On the nature of problem solving* (pp. 123–143). Paris: OECD.
- Molnár, G., Papp, Z., Makay, G., & Ancsin, G. (2015). *eDia 2.3 Online mérési platform – feladatfelvételi kézikönyv*. Szeged: SZTE Oktatásméleti Kutatócsoport.
- Molnár, G., & Pásztor-Kovács, A. (2015). A problémamegoldó képesség mérése online tesztkörnyezetben. In B. Csapó & A. Zsolnai (Eds.), *Online diagnosztikus mérések az iskola kezdő szakaszában* (pp. 279–300). Budapest: Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet.
- OECD (2014). *PISA 2012 results: Creative problem solving. Students' skills in tackling real-life problems (Volume V)*. Paris: OECD.
- R. Tóth, K., Molnár, G., Wüstenberg, S., Greiff, S., & Csapó, B. (2011, August). Measuring adults' dynamic problem solving competency. Paper presented at the 14th European Conference for the Research on Learning and Instruction. Exeter, United Kingdom.
- Sonnleitner, P., Brunner, M., Greiff, S., Funke, J., Keller, U., Martin, R., Hazotte, C., Mayer, H., & Latour, T. (2012). The Genetics Lab. Acceptance and psychometric characteristics of a computer-based microworld to assess complex problem solving. *Psychological Test and Assessment Modelling*, *54*, 54–72.
- Tóth K., Rölke, H., Greiff, S., & Wüstenberg, S. (2014). Discovering students' complex problem solving strategies in educational assessment. In J. Stamper, Z. Pardos, M. Mavrikis, & B. M. McLaren (Eds.), *Proceedings of the 7th International Conference on Educational Data Mining* (pp. 225–228). International Educational Data Mining Society.
- Tóth, K., Rölke, H., & Goldhammer, F. (2012, April). Educational process mining. Clustering students' test-taking behaviour in internet-based simulations. Paper presented at the X. Pedagógiai Értékelési Konferencia, Szeged.
- Tschirgi, J. E. (1980): Sensible reasoning: A hypothesis about hypotheses. *Child Development*, *51*, 1–10. doi: [10.2307/1129583](https://doi.org/10.2307/1129583)
- Wüstenberg, S., Greiff, S., & Funke, J. (2012). Complex problem solving – More than reasoning? *Intelligence*, *40*, 1–14. doi: [10.1016/j.intell.2011.11.003](https://doi.org/10.1016/j.intell.2011.11.003)

Wüstenberg, S., Stadler, M., Hautamäki, J., & Greiff, S. (2014). The role of strategy knowledge for the application of strategies in complex problem solving tasks. *Technology, Knowledge, and Learning, 19*, 127–146. doi: [10.1007/s10758-014-9222-8](https://doi.org/10.1007/s10758-014-9222-8)

ABSTRACT

THE EFFECTIVENESS AND CHANGE OF EXPLORATION STRATEGIES IN AN INTERACTIVE PROBLEM-SOLVING ENVIRONMENT: LOGFILE ANALYSES

Gyöngyvér Molnár

Improvements in educational assessment technology have now made it possible to record and analyse not only students' answers, but also the actions they take during testing. Through the contextual data in logfiles, we can reconstruct everything the students were thinking in completing each item on the test. Based on contextual data collected during the research on both the developmental level and development of the interactive problem-solving strategies used by students in Grades 6–8 in the study (n=2226), we analysed the effective and less effective mapping and problem-solving strategies they employed in solving interactive problems. In phase one, we constructed a mathematical model based on theoretically good strategies that led to the solving of minimally complex problems. This model provided an overview that made it possible to analyse the combination of steps and strategies used. With this coding procedure and model, we were able to obtain a precise picture of students' successful and less successful problem-solving strategies. We have thus succeeded in expanding the range of problem-solving strategies identified thus far in the literature, where the vary-one-thing-at-a-time (VOTAT) strategy has been viewed as the only correct strategy in minimally complex problem solving. The reliability indices of the test increase significantly if we base our determinations not only on students' specific answers ($\alpha=0.72$), but also on an analysis of the characteristic contextual data that enable us to reconstruct the problem-solving process more accurately ($\alpha=0.91$). Despite the fact that an understanding and mapping of minimally complex systems may be achieved with a number of problem-solving strategies, the use of the strategy of isolated variables, which is grouped among the VOTAT strategies – strategies that are discussed with near exclusivity in the literature – has proved the most effective. The more complex the system that underlies the problem, the greater the gap in performance between the more and less conscious VOTAT strategy users. The analyses elucidate the students' relative achievements, which were close overall, though they had taken different paths with problem-solving strategies of varying effectiveness. The results have contributed to a more thorough understanding of strategies that are and can be used in an interactive problem-solving environment, and they have shed light once again on the increasingly urgent task of shifting from instruction grounded almost completely in the transmission of knowledge to an expansion of problem-based teaching that also brings thinking skills into focus.

Magyar Pedagógia, 116(4). 427–453. (2016)
DOI: [10.17670/MPed.2016.4.427](https://doi.org/10.17670/MPed.2016.4.427)

Levelezési cím / Address for correspondence: Molnár Gyöngyvér, Szegedi Tudományegyetem Oktatáselmélet Tanszék. H–6722 Szeged, Petőfi Sándor sgt. 30–34.