

TÉZISGYŰJTEMÉNY

**Szinergiaalapú szoftverprojekt-ütemezési feladat:
Formalizálás, szimuláció és megoldás**

SZERZŐ:

KURBUCZ MARCELL TAMÁS

TÉMAVEZETŐ:

Prof. Dr. Kosztyán Zsolt Tibor



PANNON EGYETEM
GAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
KVANTITATIV MÓDSZEREK INTÉZETI TANSZÉK
VESZPRÉM

2021. május 19.

Bevezetés és kutatási kérdések

A szoftverprojekt-ütemezési feladat (angolul: Software Project Scheduling Problem, röviden: SPSP) (ld. pl. [Vega-Velázquez et al., 2018](#)) a szoftverfejlesztési folyamatokhoz kapcsolódó munkaerő-allokációs ([Bouajaja and Dridi, 2017](#)) és tevékenységütemezési ([Hartmann and Briskorn, 2010](#)) problémákra vonatkozik. Bár a szoftverprojektek többségét agilis keretek között kezelik (ld. pl. [Wysocki 2011, 2019](#)), az SPSP figyelmen kívül hagyja e megközelítés két fő jellemzőjét: a tervezés rugalmasságát és a csapatmunka összetettségét ([Nerur et al., 2005](#); [Wysocki, 2019](#)). Annak ellenére, hogy már rendelkezésre állnak olyan algoritmusok, melyek képesek kezelni a tevékenységek közötti rugalmas kapcsolatokat és a tevékenységek eltérő prioritásait (ld. pl. [Kosztján, 2015](#)), valamint annak, hogy mind szoftverprojektek ([Rodriguez-Repiso et al., 2007](#)) – és a rájuk jellemző agilis megközelítés ([Nerur et al., 2005](#)) – szakirodalma, mind pedig a vonatkozó pszichológiai és szociológiai tanulmányok (ld. pl. [Hsu et al., 2016](#)) hangsúlyozzák a munkavállalók egymás teljesítményére gyakorolt hatását, az SPSP a mai napig rögzített logikai terveket feltételez, a projektcsapat tagjainak teljesítményét pedig egymástól függetlennek tekinti. Az SPSP élethűbbé és praktikusabbá tétele, valamint a munkavállalói szinergiák projektütemezésre gyakorolt hatásának megértése érdekében a dolgozat az alábbi kutatási kérdésekre (RQ) keresi a választ.

Kutatási kérdések:

- RQ₁: Kialakítható-e a hagyományos és rugalmas projekttervezési környezetekre egy olyan ütemezési feladat, amely nemcsak az emberi erőforrások készségeit, hanem a közöttük lévő szinergiákat is figyelembe veszi?
- RQ₂: Kialakítható-e egy olyan hálózatos vagy mátrix alapú projektütemezési modell, amely egyaránt figyelembe veszi a projekttervek rugalmasságát, az emberi erőforrások készségeit, valamint a köztük lévő szinergiákat?

RQ₃: Található-e (optimális) megoldás az erőforrások közötti szinergiákat figyelembe vevő, rugalmas szoftverprojekt-ütemezési feladatra?

RQ₄: Kialakítható-e egy olyan szimulációs keretrendszer, mellyel megvizsgálható az erőforrások képességeinek és a köztük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatása?

Szakirodalmi háttér és kutatási feltételezések

Agilis projekttervezési technikákat az elmúlt évtizedben széles körben alkalmazták a szoftverfejlesztésben ([Lindsjörn et al., 2016](#)). A hagyományos módszertanokkal szemben ez a megközelítés az eljárások és eszközök helyett a személyekre és az együttműködésre, az átfogó dokumentáció helyett a működő szoftverre, a szerződésről szóló egyezkedés helyett pedig a változásra való reagálásra összpontosít ([Fowler et al., 2001](#)).¹ Mivel a hagyományos fejlesztési módszerekkel szemben az agilis megközelítés különösen nagy hangsúlyt fektet a csapatmunkára ([Nerur et al., 2005](#)), nem meglepő, hogy az emberi erőforrás-elosztás és a tevékenységütemezés közös feladata kritikus szerepet játszik a szoftverfejlesztési projektek sikerében ([Jalote and Vishal, 2003](#)) és következésképpen az informatika cégek versenyében ([Nan and Harter, 2009](#)). Fejlesztési költségeik csökkentése és a versenyképességük növelése érdekében a vállalatoknak megbízható projektterveket kell készíteniük, a munkavállalók elosztásával összefüggő tevékenységütemezés azonban komoly kihívást jelentő feladat, különösen közepes és nagyméretű projektek esetén (ld. pl. [Minku et al., 2013](#)). Ezt tükrözi [Ding and Jing \(2003\)](#) tanulmánya is, mely alapján Kínában a szoftverprojektek több, mint 40%-ának sikertelenségét az ütemezés és erőforrás-tervezés következtelenségei okozták.

¹ Az agilis módszertant gyűjtőfogalomként használják számos fejlesztési módszer leírására ([Dybå and Dingsøyr, 2008](#); [Dingsøyr et al., 2012](#)).

Az ütemezési és erőforrás-elosztási tevékenységeket ötvöző szoftverprojekt-ütemezési feladat (SPSP) az erőforrás-korlátos projektütemezési feladattal (Alba and Chicano, 2007; Vega-Velázquez et al., 2018), vagy pontosabban annak ún. több-funkciós (angolul: multi-skill) kiterjesztésével (Myszkowski et al., 2019; Tirkolaee et al., 2019) kapcsolatos. E feladatoktól eltérően azonban az SPSP a projekt időtartamán kívül a költségek minimalizálására is törekszik, a projekt megvalósításában pedig a különböző típusú erőforrások helyett mindössze egyet, az adott készségekkel rendelkező alkalmazottakat veszi figyelembe (Alba and Chicano, 2007), akik párhuzamosan több tevékenység megvalósításában is részt vehetnek (ld. pl. Myszkowski et al., 2015, 2017; Laszczyk and Myszkowski, 2019). Alba and Chicano (2007) alapján az SPSP – fent említett tulajdonságai miatt – valósághűbb képet nyújt a szoftverfejlesztési projektek ütemezési problémájáról, mint a hagyományos erőforrás-korlátos tervezési feladatok.

Ahogy a hagyományos tervezési feladatokkal való összehasonlítás során kiemeltem, az SPSP megoldásának hatékonysága több tényezőtől függ. Egyrészt a fejlesztési folyamatnak a lehető legrövidebbnek kell lennie, ezáltal lehetővé téve az erőforrások gyors átcsoportosítását más nyereséges folyamatokhoz, másrészt a fejlesztés során felmerülő költségeket is minimalizálni kell. Ez a több-célú természet még tovább bonyolítja a tervezést, a szoftverfejlesztési projektek egyre növekvő méretének eredményeként pedig szinte lehetetlenné teszi a kézi ütemezést (Shen et al., 2018).² Bár a témával kapcsolatos kutatások az utóbbi években egyre intenzívebbé váltak, a fent említett okból kifolyólag e kutatások többnyire a számítógéppel támogatott tervezés technikai fejlesztéseire irányultak (ld. pl. Chicano et al., 2011; Di Penta et al., 2011; Luna et al., 2014). Ezek közül

² Az SPSP megoldása ún. NP-nehéz probléma, mi azt jelenti, hogy a megoldásához szükséges gépidő nem csökkenthető jelentősen erősebb hardver alkalmazásával.

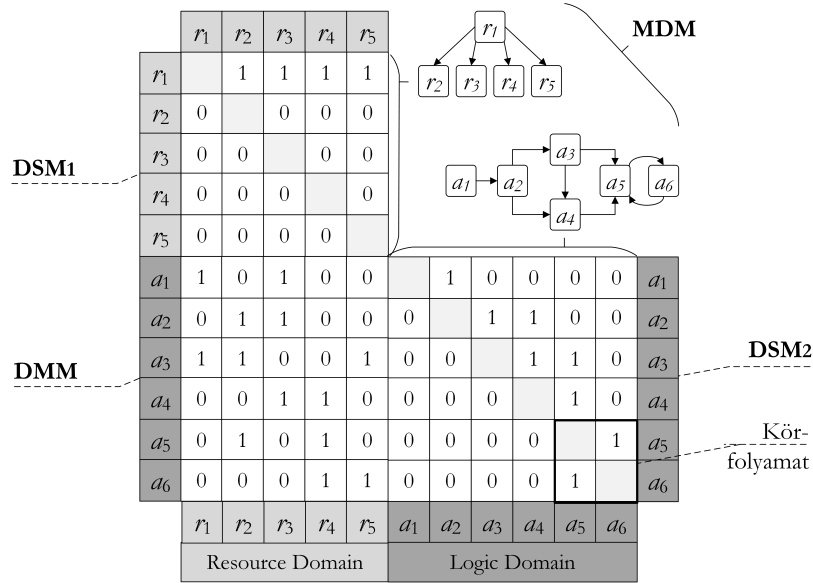
Coello et al. (2006) és Myszkowski et al. (2019) számos metaheurisztikát javasolt a probléma megoldására, míg Luna et al. (2014) összehasonlította ezen algoritmusok pontosságát és skálázhatóságát. Chicano et al. (2011) és Luna et al. (2014) eredményei alapján általános esetben a PAES (Pareto archived evolution strategy) (Knowles and Corne, 2000) algoritmus rendelkezik a legjobb skálázhatósággal és segítségével érhetőek el a legjobb (megoldásokat tartalmazó) Pareto halmazok, a széles körben alkalmazott, ún. NSGA-II (non-dominated sorting genetic algorithm II) (Deb et al., 2002) és SPEA2 (strength Pareto evolutionary algorithm 2) (Zitzler et al., 2001) algoritmusok bizonyulnak a legpontatlanabbnak. Mindazonáltal, magas költségvetésű, rövid projektek esetén a PAES-t az NSGA-II, SPEA2 és számos újabb algoritmus, pl. a MOCcell (multi-objective cellular genetic algorithm) (Nebro et al., 2007) is felülmúlta (Luna et al., 2014).

Bár a szoftverprojektek többségét agilis projektmenedzsment keretek között kezelik (ld. pl. Wysocki 2011, 2019), az SPSP rögzített logikai terveket feltételez. A hagyományos (hálózatos) projekttervezési technikákkal, pl. a CPM-el (critical path method) vagy a PERT-el (project/program evaluation and review technique) ellentétben a mátrix alapú módszerek rugalmas tervezési környezetet biztosítanak és támogatják az agilis szemlélet alkalmazását. E módszerek többsége a Steward (1981) által kifejlesztett ún. DSM (dependency/design structure matrix) módszeren alapul, amely egy olyan négyzetes ($n \times n$) bináris mátrix, melynek segítségével megjeleníthetők a projekt tevékenységei közötti (szigorú) rákövetkezési relációk és a hálózattervezési technikák többségével ellentétben alkalmas a függőségi struktúrában lévő körfolyamatok azonosítására és kezelésére. A DSM kibővítésével Danilovic and Browning (2007) kifejlesztette az ún. DMM (domain mapping matrix) módszert, amely két – egy m és egy n méretű – DSM kombinációján alapuló téglalap alakú ($m \times n$) mátrixot jelent, melynek célja a magába foglalt DSM-ek összehasonlítása és kombinálása. Ezt a logikát követi a Gorbea et al. (2008) által javasolt ún. MDM (multi-domain matrix) is, amely a DSM és a DMM módszerek

ötvözésével lehetővé teszi számos különböző tartomány egy modellbe való integrálását (Deubzer et al., 2008) (ld. 1. ábra).

1. ábra: Multi-domain matrix (MDM)

(Forrás: saját szerkesztés)



A rugalmas logikai tervek mellett az SPSP figyelmen kívül hagyja az agilis megközelítés egy másik fontos jellemzőjét is, a projektcsapat tagjainak egymás teljesítményére gyakorolt hatását (ld. pl. Rodriguez-Repiso et al., 2007), így míg a legtöbb pszichológiai és szociológiai tanulmány a projektcsapat összetettségét hangsúlyozza (ld. pl. Hsu et al., 2016), az alkalmazott modellek egyike sem képes kezelni a munkavállalók közötti szinergiákat. A projektcsapatok hatékonyságával kapcsolatos szakirodalom alapján az alkalmazottak közötti formális és informális kapcsolatok kedvező és kedvezőtlen szinergiák forrásai lehetnek, melyek jelentősen befolyásolják a projektcsapat teljesítményét (Ahuja et al., 2003), következésképpen pedig a projekt eredményét (Sanchez et al., 2017). E kapcsolatok hálózati struktúráját a kutatók elsősorban a szociometria (Moreno, 1960; Sorenson, 1971)

segítségével tanulmányozzák, azonban e területen elért eredmények némileg ellentmondásosak. Míg [Ahuja et al. \(2003\)](#) és [Cumings and Cross \(2003\)](#) a decentralizált, kevésbé hierarchikus struktúrák teljesítményre gyakorolt kedvező hatását hangsúlyozzák, addig [Sanchez et al. \(2017\)](#) pozitív kapcsolatot talált a projektmenedzser formális ereje, valamint a kisebb, központosítottabb csapatok és az informatikai projektek sikere között. Bár a munkavállalók szinergiája jelentős hatást gyakorol a – jellemzően agilis szemléletet tükröző – szoftverprojektek eredményeire, a jelenség tanulmányozására, ill. a gyakorlatban történő alkalmazására ezidáig nem készült tervezési módszer.

Az áttekintett szakirodalom alapján mind a négy kutatási kérdéshez (RQ) egy-egy kutatási feltételezést határoztam meg. A disszertáció négy kutatási feltételezése (RA) az alábbiak szerint került megfogalmazásra.

Kutatási feltételezések:

- RA₁: A klasszikus szoftverprojekt ütemezési feladat (SPSP) kiterjeszthető a tevékenységek közötti rugalmas kapcsolatok kezelésével, valamint az erőforrások közötti szinergiák figyelembevételével.
- RA₂: Az MDM módszer kiterjesztésével létrehozható egy olyan mátrix, melynek összekapcsolt tartományai egyaránt modellezzik a rugalmas projekttervet, az emberi erőforrások készségeit, valamint a közöttük lévő szinergiákat.
- RA₃: A metaheurisztikus algoritmusok segítségével megengedett megoldást lehet találni a tevékenységek rugalmas függőségét és az erőforrások közötti szinergiákat figyelembe vevő projektütemezési feladatra.
- RA₄: A rendelkezésre álló projekt adatbázisok rugalmas kapcsolatokkal és erőforrás-szinergiákkal való kiegészítésével kialakítható egy olyan szimulációs környezet, melynek segítségével megvizsgálható az erőforrások képességeinek és a köztük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatása.

Eredmények és kutatási tézisek

RQ₁: Kialakítható-e a hagyományos és rugalmas projekttervezési környezetekre egy olyan ütemezési feladat, amely nemcsak az emberi erőforrások készségeit, hanem a közöttük lévő szinergiákat is figyelembe veszi?

Az első feltételezésnek (**RA₁**) megfelelően kibővítettem a klasszikus szoftverprojekt-ütemezési feladatot (SPSP) a tevékenységek közötti rugalmas kapcsolatok kezelésével, valamint az erőforrások közötti szinergiák figyelembevételével. Az így meghatározott, ún. szinergia alapú szoftverprojekt-ütemezési feladat (SSPSP) a klasszikus SPSP-nél valósághűbb tervezési problémát vázol fel, hiszen a szoftverfejlesztési gyakorlatban széles körben alkalmazott agilis megközelítést tükrözi.

RQ₂: Kialakítható-e egy olyan hálózatos vagy mátrix alapú projektütemezési modell, amely egyaránt figyelembe veszi a projekttervek rugalmasságát, az emberi erőforrások készségeit, valamint a közöttük lévő szinergiákat?

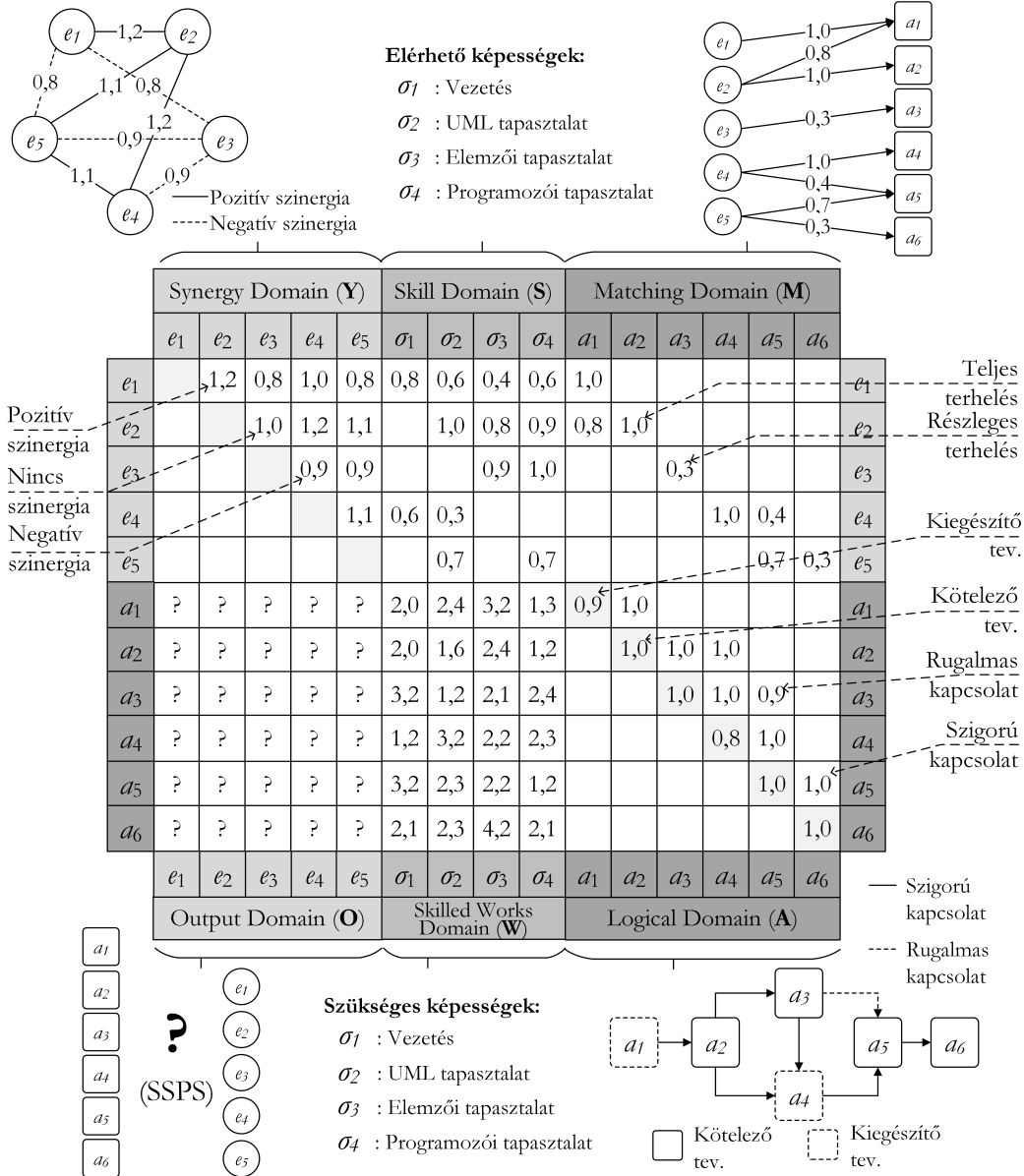
A klasszikus és a szinergia alapú SPSP-k modellezésére – az második feltételezésnek (**RA₂**) megfelelően – az MDM kiterjesztett formáját javasoltam. Az új, ún. szinergia alapú többszintű mátrix (angolul: synergy-based multi-domain matrix, röviden: SMM) több, egymással összekapcsolt tartományt integrál, melyek modellezik a projekt rugalmas logikai felépítését, a projekten belül elvégzendő munka mennyiségét, az emberi erőforrások képességeit, a közöttük lévő pozitív és negatív páros szinergiákat, valamint a maximális erőforrás-hozzárendelések mértékét (ld. [2. ábra](#)).

RQ₃: Található-e (optimális) megoldás az erőforrások közötti szinergiákat figyelembe vevő, rugalmas szoftverprojekt-ütemezési feladatra?

Az általam javasolt szimulációs keretrendszer (synergy-based agile simulation framework, röviden: SynASF) és hibrid genetikus algoritmus (synergy-based agile project scheduling algorithm, röviden: SynAPS) felhasználásával 69.984 klasszikus és szinergia alapú SPSP-t szimuláltam és oldottam meg az alkalmazott összetett célfüggvény és az adott korlátozási feltételek figyelembevételével.

Szinergia alapú többszintű mátrix (SMM)

(Forrás: saját szerkesztés)



A javasolt SynAPS az összes vizsgált optimalizálási probléma esetén optimum közeli megoldást talált, ami amellett, hogy igazolja a harmadik feltételezést (RA_3), rámutat arra, hogy a javasolt mátrix alapú modell (SMM) és a SynAPS alkalmazásával a klasszikus és a szinergia alapú SPSP-k egyaránt megoldhatók rugalmas projekttervezési környezetben.

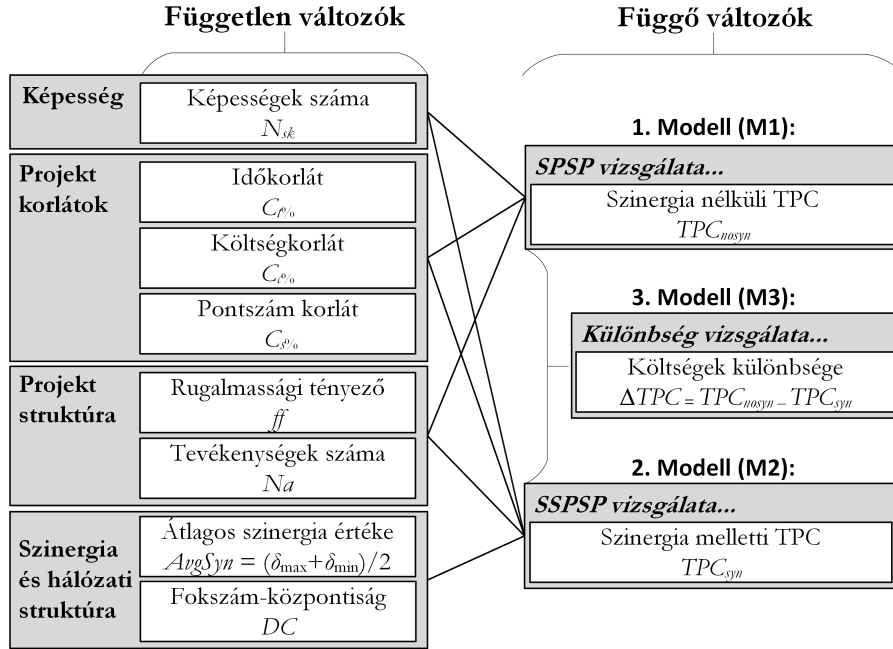
RQ₄: Kialakítható-e egy olyan szimulációs keretrendszer, mellyel megvizsgálható az erőforrások képességeinek és a köztük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatása?

Annak eldöntése érdekében, hogy a javasolt szimulációs keretrendszer alkalmas-e a negyedik feltételezésben (**RQ₄**) megfogalmazott vizsgálat elvégzésére, a SynASF segítségével szimulált 69.984 klasszikus és szinergia alapú SPSP-k optimalizálási eredményeit elemeztem. Az elemzés során három esetet megkülönböztettem meg egymástól, melyből az első kettő a szinergia nélküli (M1), ill. a szinergia melletti (M1) eredményeket tartalmazza, harmadik esetben (M3) pedig az előbbi kettő különbségét, azaz a szinergiák figyelembevételének hatását vizsgáltam (ld. 3. ábra).

A független változók relatív fontosságának meghatározására a Matlab Regression Learner App [MathWorks \(2019b\)](#) regression tree ensemble algoritmusát használtam, melynek hiperparamétereit bayesi optimalizálás segítségével választottam meg. A számítások során 10-szeres keresztvalidációt alkalmaztam, a relatív fontosságokat pedig a Matlab *predictorImportance* függvényével határoztam meg [MathWorks \(2019a\)](#). A független változók relatív fontossági értékeit a 4. ábra szemlélteti.

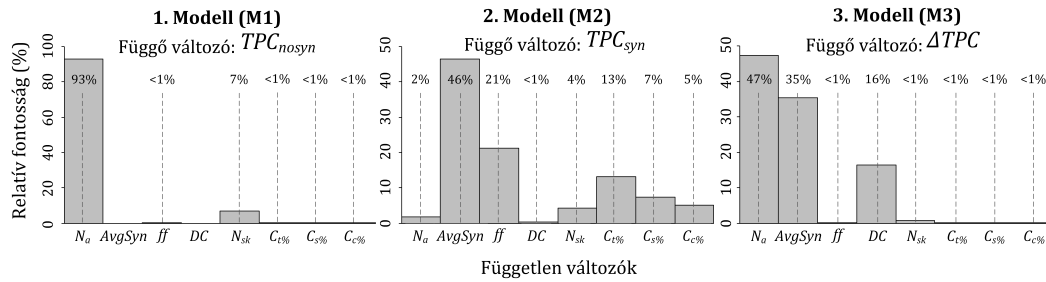
3. ábra: Optimalizálási eredmények vizsgálatának modelljei

(Forrás: saját szerkesztés)



4. ábra: Független változók relatív fontossága

(Forrás: saját szerkesztés)



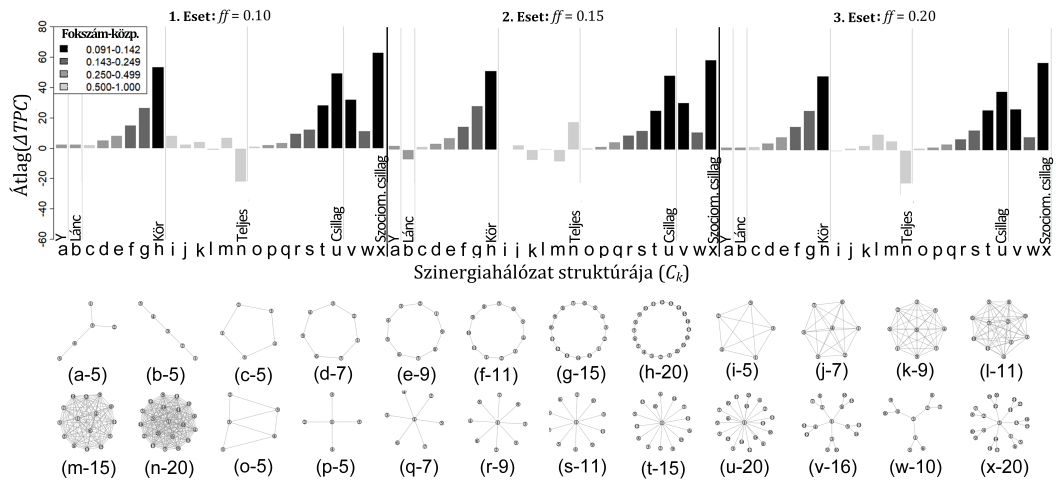
Míg az eredeti SPSP esetében (ld. 4. ábra – M1) a projekt mérete (N_a) és a munkavállalók képességeinek száma (N_{sk}) gyakorolta a legnagyobb hatást a projektek költségeire, a munkavállalók közti szinergiák figyelembevétele mellett (ld. 4. ábra – M2) a legfontosabb változó maga az átlagos szinergiaérték ($AvgSyn$) lett. Az utóbbi esetben továbbá mind a rugalmassági tényező (ff), mind pedig

az egyes korlátok ($C_{t\%}$, $C_{s\%}$, $C_{c\%}$) fontosabbnak bizonyultak, mint a projektméret (N_a) és a képességek száma (N_{sk}). E két modell költségeinek különbségét (ld. 4. ábra – M3) legerősebben a projekt mérete ($N_a - 47\%$), az átlagos szinergia értéke ($AvgSyn - 35\%$), valamint a szinergiahálózat foksám-központisága ($DC - 16\%$) befolyásolta. A fenti eredmények alapján megállapítható, hogy a szinergiával kapcsolatos változók annak ellenére gyakorolnak jelentős hatást a projektek költségére, hogy két alkalmazott kölcsönös függősége relatíve kis mértékben változtatható az azok teljesítményén. Érdekes továbbá kiemelni, hogy a strukturális paraméter (DC) által elért magas relatív fontossági érték összhangban áll a vonatkozó szakirodalommal.

Annak megállapításához, hogy a szinergiahálózatok mely topológiái csökkentik leginkább a projektek költségeit, a továbbiakban megvizsgálom, hogy a ΔTPC -t (ld. 3. ábra – M3) hogyan befolyásolja a szinergiahálózat topológiája (C_k), és hogyan változik topológia hatása a strukturális paraméter (DC) valamint a projekt rugalmasságának ($ff - 1-3$. Eset) függvényében (ld. 5. ábra).

5. ábra: Szinergiahálózat struktúrájának hatása a projektköltségre

(Forrás: saját szerkesztés)



Az 5. ábra alapján az alacsony foksám-központiság általában a költségek nagyobb csökkenéséhez vezet, azonban ez jelentősen függ a szinergiahálózat topológiájától (C_k) is. Bár a relatív fontosságok vizsgálata során (ld. 4. ábra) megállapítottam, hogy a projekt rugalmassága (ff) elhanyagolható mértékben befolyásolja a ΔTPC -t (ld. 4. ábra), az 5. ábra alapján a lánc- és a teljes gráf hálózatok még e jelentéktelen változásokra is érzékenyen reagálnak. Néhány topológia esetében megfigyelhetjük, hogy a TPC_{syn} nagyobb, mint a TPC_{nosyn} , ami negatív ΔTPC -t eredményez. Az eredmények alapján a decentralizált – pl. kör és teljes – hálózatok nem képesek olyan mértékben csökkenteni a költségeket, mint a centralizált – pl. a csillag és a szociometrikus csillag – hálózatok, továbbá a legdecentralizáltabb topológia (teljes hálózat) vezet a legrosszabb eredményre, hiszen e struktúra különösen érzékeny a negatív szinergiákra. Ezek a megállapítások egyrészt ellentétesek Sparrowe et al. (2001) eredményeivel, mivel esetünkben a decentralizált hálózatok nem voltak képesek olyan mértékben csökkenteni a költségeket, mint a centralizáltak, másrészt összhangban állnak Sanchez et al. (2017) empirikus megfigyelésével, amely alapján a központosítottabb csapatok pozitív hatást gyakorolnak az informatikai projektek eredményére. Ezek az eredmények amellet, hogy megerősítik a negyedik feltételezést (RA_4), rámutattak néhány fontos összefüggésre a munkavállalók szinergiájának projekt ütemtervére gyakorolt hatásával kapcsolatban.

A bemutatott eredmények alapján mind a négy kutatási kérdéshez (RQ) egy-egy kutatási tézist határoztam meg. A disszertáció négy kutatási tézise (RT) az alábbiak szerint került megfogalmazásra.

Kutatási tézisek:³

- RT₁:** A javasolt szinergia alapú szoftverprojekt-ütemezési feladat (SSPSP) a rugalmas kapcsolatok kezelésével, valamint az erőforrások páros szinergiáinak figyelembevételével egészíti ki a klasszikus szoftverprojekt-ütemezési feladatot (SPSP).
- RT₂:** A javasolt szinergia alapú többszintű mátrix (SMM) több, egymással összekapcsolt tartományt integrál, melyek modellezik a projekt rugalmas logikai felépítését, a projekten belül elvégzendő munka mennyiségét, az emberi erőforrások képességeit, a köztük lévő pozitív és negatív páros szinergiákat, valamint a maximális erőforrás-hozzárendelések mértékét. Az SMM alkalmas mind a klasszikus (SPSP), mind pedig a szinergia alapú (SSPSP) szoftverprojekt-ütemezési feladatok összes lehetséges megoldásának modellezésére.
- RT₃:** A javasolt szinergia alapú agilis projektütemezési algoritmus (SynAPS) megengedett megoldást talál mind a klasszikus (SPSP), mind pedig a szinergia alapú (SSPSP) szoftverprojekt-ütemezési feladatokra az adott – átfutási időt és költségeket minimalizáló, valamint a projektek pontszámát maximalizáló – célfüggvény és az adott – időtartammal, költséggel, erőforrással és pontszámmal összefüggő – korlátozási feltételek vonatkozásában.
- RT₄:** A javasolt szinergia alapú agilis szimulációs keretrendszer (SynASF) alkalmas az erőforrások képességeinek és a köztük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatásának vizsgálatára. A SynASF alapján:
- RT_{4.1}:** A projektek költségei az emberi erőforrások (páros) szinergiáira a legérzékenyebbek.
- RT_{4.2}:** A páros szinergiáknak a projekt költségeire gyakorolt hatását elsősorban a projekt mérete, az átlagos páronkénti szinergia és a szinergiahálózat strukturális paramétere (fokszám központisága) befolyásolja.
- RT_{4.3}:** Az alacsony fokszám központiságú szinergiahálózatok a projekt költségeinek nagyobb csökkenéséhez vezetnek; a szinergiák hatását azonban a hálózatok topológiája is befolyásolja. A legmagasabb költségeket a legdecentralizáltabb – azaz a teljes gráf – topológiájú szinergiahálózatok eredményezték, mivel ezek a hálózatok voltak a legérzékenyebbek a negatív szinergiákra.

³ A tézisek alapjául szolgáló tanulmányok: [Kosztján et al. \(2021a\)](#) és [Kosztján et al. \(2021b\)](#).

Következtetések

A javasolt projekttervezési eljárás két ponton egészíti ki a meglévő módszertant. Egyrészt támogatja a szoftverprojektekre jellemző agilis szemlélet alkalmazását, másrészt lehetőséget teremt a munkavállalók közötti páros szinergiák figyelembevételére az üzemelés és erőforrás-allokáció során. Szimulációs eredményeim alapján nem csak a munkavállalók egymás teljesítményére gyakorolt hatásának mértéke, hanem e függőségek által meghatározott szinergiahálózat jellemzői – így a hálózat topológiája, mérete és fokszám-központisága – is jelentősen befolyásolják a szoftverfejlesztési projektek költségeit, ami a jelenség szélesebb körű vizsgálatát és a gyakorlatban való figyelembevételét szorgalmazza. Mivel a javasolt módszer nem korlátozódik egyetlen szinergiaforrásra, felhasználható különböző – pl. a csapattagok hierarchiájából, kommunikációjából, csoportszerepeiből, vagy közös tapasztalataiból eredő – szinergiák hatásának modellezésére, így könnyítve meg annak gyakorlati és tudományos célú alkalmazását.

A kutatási kérdéseket (RQ) és feltételezéseket (RA), valamint az ezek alapján megfogalmazott téziseket (RT) az [1.](#) táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Kutatási kérdések, feltételezések és tézisek
(Forrás: saját szerkesztés)

N*	Leírás
RQ ₁	Kialakítható-e a hagyományos és rugalmas projekttervezési környezetekre egy olyan ütemezési feladat, amely nemcsak az emberi erőforrások készségeit, hanem a közöttük lévő szinergiákat is figyelembe veszi?
RA ₁	A klasszikus szoftverprojekt ütemezési feladat (SPSP) kiterjeszthető a tevékenységek közötti rugalmas kapcsolatok kezelésével, valamint az erőforrások közötti szinergiák figyelembevételével. (Elfogadva)
RT ₁	A javasolt szinergia alapú szoftverprojekt-ütemezési feladat (SSPSP) a rugalmas kapcsolatok kezelésével, valamint az erőforrások páros szinergiáinak figyelembevételével egészíti ki a klasszikus szoftverprojekt-ütemezési feladatot (SPSP).
RQ ₂	Kialakítható-e egy olyan hálózatos vagy mátrix alapú projektütemezési modell, amely egyaránt figyelembe veszi a projekttervek rugalmasságát, az emberi erőforrások készségeit, valamint a közöttük lévő szinergiákat?
RA ₂	Az MDM módszer kiterjesztésével létrehozható egy olyan mátrix, melynek összekapcsolt tartományai egyaránt modellezik a rugalmas projekttervet, az emberi erőforrások készségeit, valamint a közöttük lévő szinergiákat. (Elfogadva)
RT ₂	A javasolt szinergia alapú többszintű mátrix (SMM) több, egymással összekapcsolt tartományt integrál, melyek modellezik a projekt rugalmas logikai felépítését, a projekten belül elvégzendő munka mennyiségét, az emberi erőforrások képességeit, a közöttük lévő pozitív és negatív páros szinergiákat, valamint a maximális erőforrás-hozzárendelések mértékét. Az SMM alkalmas mind a klasszikus (SPSP), mind pedig a szinergia alapú (SSPSP) szoftverprojekt-ütemezési feladatok összes lehetséges megoldásának modellezésére.
RQ ₃	Található-e (optimális) megoldás az erőforrások közötti szinergiákat figyelembe vevő, rugalmas szoftverprojekt-ütemezési feladatra?
RA ₃	A metaheurisztikus algoritmusok segítségével megengedett megoldást lehet találni a tevékenységek rugalmas függőségét és az erőforrások közötti szinergiákat figyelembe vevő projektütemezési feladatra. (Elfogadva)
RT ₃	A javasolt szinergia alapú agilis projektütemezési algoritmus (SynAPS) megengedett megoldást talál mind a klasszikus (SPSP), mind pedig a szinergia alapú (SSPSP) szoftverprojekt-ütemezési feladatokra az adott – átfutási időt és költségeket minimalizáló, valamint a projektek pontszámát maximalizáló – célfüggvény és az adott – időtartammal, költséggel, erőforrással és pontszámmal összefüggő – korlátozási feltételek vonatkozásában.
RQ ₄	Kialakítható-e egy olyan szimulációs keretrendszer, mellyel megvizsgálható az erőforrások képességeinek és a közöttük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatása?
RA ₄	A rendelkezésre álló projekt adatbázisok rugalmas kapcsolatokkal és erőforrás-szinergiákkal való kiegészítésével kialakítható egy olyan szimulációs környezet, melynek segítségével megvizsgálható az erőforrások képességeinek és a közöttük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatása. (Elfogadva)
RT ₄	A javasolt szinergia alapú agilis szimulációs keretrendszer (SynASF) alkalmas az erőforrások képességeinek és a közöttük lévő szinergiáknak, a szinergiahálózat struktúrájának, valamint a projekt nagyságának, rugalmasságának és korlátainak az ütemterv végrehajtására gyakorolt hatásának vizsgálatára. A SynASF alapján: RT _{4.1} : A projektek költségei az emberi erőforrások (páros) szinergiáira a legérzékenyebbek; RT _{4.2} : A páros szinergiáknak a projekt költségeire gyakorolt hatását elsősorban a projekt mérete, az átlagos páronkénti szinergia és a szinergiahálózat strukturális paramétere (fokszám központisága) befolyásolja; RT _{4.3} : Az alacsony fokszám központiságú szinergiahálózatok a projekt költségeinek nagyobb csökkenéséhez vezetnek; a szinergiák hatását azonban a hálózatok topológiája is befolyásolja. A legmagasabb költségeket a legdecentralizáltabb – azaz a teljes gráf – topológiájú szinergiahálózatok eredményezték, mivel ezek a hálózatok voltak a legérzékenyebbek a negatív szinergiákra.

*Jelölések: RQ: kutatási kérdések, RA: kutatási feltételezések, RT: kutatási tézisek.

Irodalomjegyzék

- Ahuja, M. K., Galletta, D. F., and Carley, K. M. (2003). Individual centrality and performance in virtual r&d groups: An empirical study. *Management Science*, 49(1):21–38.
- Alba, E. and Chicano, J. F. (2007). Software project management with {GAs}. *Information Sciences*, 177(11):2380–2401.
- Bouajaja, S. and Dridi, N. (2017). A survey on human resource allocation problem and its applications. *Operational Research*, 17(2):339–369.
- Chicano, F., Luna, F., Nebro, A. J., and Alba, E. (2011). Using multi-objective metaheuristics to solve the software project scheduling problem. In *Proceedings of the 13th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation, GECCO '11*, pages 1915–1922, New York, NY, USA. ACM.
- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., and Veldhuizen, D. A. V. (2006). *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems (Genetic and Evolutionary Computation)*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA.
- Cummings, J. N. and Cross, R. (2003). Structural properties of work groups and their consequences for performance. *Social Networks*, 25(3):197 – 210.
- Danilovic, M. and Browning, T. R. (2007). Managing complex product development projects with design structure matrices and domain mapping matrices. *International Journal of Project Management*, 25(3):300–314.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: Nsga-ii. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2):182–197.

- Deubzer, F., Lindemann, U., et al. (2008). Functional modelling for design synthesis using mdm methodology. In *DSM 2008: Proceedings of the 10th International DSM Conference, Stockholm, Sweden, 11.-12.11. 2008*, pages 403–411.
- Di Penta, M., Harman, M., and Antoniol, G. (2011). The use of search-based optimization techniques to schedule and staff software projects: an approach and an empirical study. *Software: Practice and Experience*, 41(5):495–519.
- Ding, R. and Jing, X. (2003). Five principles of project management in software companies. *Project Management Technology*, 1.
- Dingsøyr, T., Nerur, S., Balijepally, V., and Moe, N. B. (2012). A decade of agile methodologies: Towards explaining agile software development. *Journal of Systems and Software*, 85(6):1213 – 1221. Special Issue: Agile Development.
- Dybå, T. and Dingsøyr, T. (2008). Empirical studies of agile software development: A systematic review. *Information and software technology*, 50(9-10):833–859.
- Fowler, M., Highsmith, J., et al. (2001). The agile manifesto. *Software Development*, 9(8):28–35.
- Gorbea, C., Spielmannleitner, T., Lindemann, U., and Fricke, E. (2008). Analysis of hybrid vehicle architectures using multiple domain matrices. In *DSM 2008: Proceedings of the 10th International DSM Conference, Stockholm, Sweden, 11.-12.11. 2008*.
- Hartmann, S. and Briskorn, D. (2010). A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of operational research*, 207(1):1–14.
- Hsu, S.-C., Weng, K.-W., Cui, Q., and Rand, W. (2016). Understanding the complexity of project team member selection through agent-based modeling. *International Journal of Project Management*, 34(1):82 – 93.
- Jalote, P. and Vishal, B. (2003). Optimal resource allocation for the quality control process. In *14th International Symposium on Software Reliability Engineering, 2003. ISSRE 2003.*, pages 26–33. IEEE.

- Knowles, J. D. and Corne, D. W. (2000). Approximating the nondominated front using the pareto archived evolution strategy. *Evol. Comput.*, 8(2):149–172.
- Kosztván, Z. T. (2015). Exact algorithm for matrix-based project planning problems. *Expert Systems with Applications*, 42(9):4460 – 4473.
- Kosztván, Z. T., Szalkai, I., Bogdány, E., and Kurbucz, M. T. (2021a). Impacts of synergies on software project scheduling. *javított kézirat bírálat alatt: Annals of Operations Research*.
- Kosztván, Z. T., Szalkai, I., and Kurbucz, M. T. (2021b). Szinergiák hatása a szoftverfejlesztési projekteken. *javított kézirat bírálat alatt: Alkalmazott Matematikai Lapok*.
- Laszczyk, M. and Myszkowski, P. B. (2019). Improved selection in evolutionary multi-objective optimization of multi-skill resource-constrained project scheduling problem. *Information Sciences*, 481:412–431.
- Lindsjörn, Y., Sjøberg, D. I., Dingsøy, T., Bergersen, G. R., and Dybå, T. (2016). Teamwork quality and project success in software development: A survey of agile development teams. *Journal of Systems and Software*, 122:274–286.
- Luna, F., González-Álvarez, D. L., Chicano, F., and Vega-Rodríguez, M. A. (2014). The software project scheduling problem: A scalability analysis of multi-objective metaheuristics. *Appl. Soft Comput.*, 15:136–148.
- MathWorks (2019a). Predictor importance. URL: <https://www.mathworks.com/help/stats/compactregressionensemble.predictorimportance.html>. [Accessed: 25 August 2020].
- MathWorks (2019b). Regression learner app. URL: <https://www.mathworks.com/help/stats/regression-learner-app.html>. [Accessed: 25 August 2020].
- Minku, L. L., Sudholt, D., and Yao, X. (2013). Improved evolutionary algorithm design for the project scheduling problem based on runtime analysis. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 40(1):83–102.
- Moreno, J. L. (1960). *The Sociometry Reader*. Glencoe, Illinois: The Free Press.

- Myszkowski, P. B., Laszczyk, M., and Lichodij, J. (2017). Efficient selection operators in nsga-ii for solving bi-objective multi-skill resource-constrained project scheduling problem. In *2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, pages 83–86. IEEE.
- Myszkowski, P. B., Laszczyk, M., Nikulin, I., and Skowroński, M. (2019). Imopse: a library for bicriteria optimization in multi-skill resource-constrained project scheduling problem. *Soft Computing*, 23(10):3397–3410.
- Myszkowski, P. B., Skowroński, M. E., and Sikora, K. (2015). A new benchmark dataset for multi-skill resource-constrained project scheduling problem. In *2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, pages 129–138. IEEE.
- Nan, N. and Harter, D. E. (2009). Impact of budget and schedule pressure on software development cycle time and effort. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 35(5):624–637.
- Nebro, A. J., Durillo, J. J., Luna, F., Dorronsoro, B., and Alba, E. (2007). Design issues in a multiobjective cellular genetic algorithm. In *International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization*, pages 126–140. Springer.
- Nerur, S., Mahapatra, R., and Mangalaraj, G. (2005). Challenges of migrating to agile methodologies. *Commun. ACM*, 48(5):72–78.
- Rodriguez-Repiso, L., Setchi, R., and Salmeron, J. L. (2007). Modelling it projects success: Emerging methodologies reviewed. *Technovation*, 27(10):582–594.
- Sanchez, O. P., Terlizzi, M. A., et al. (2017). Cost and time project management success factors for information systems development projects. *International Journal of Project Management*, 35(8):1608–1626.
- Shen, X.-N., Minku, L. L., Marturi, N., Guo, Y.-N., and Han, Y. (2018). A q-learning-based memetic algorithm for multi-objective dynamic software project scheduling. *Information Sciences*, 428:1–29.

- Sorenson, J. R. (1971). Task demands, group interaction and group performance. *Sociometry*, 34(4):483–495.
- Sparrowe, R. T., Liden, R. C., Wayne, S. J., and Kraimer, M. L. (2001). Social networks and the performance of individuals and groups. *Academy of Management Journal*, 44(2):316–325.
- Steward, D. V. (1981). *Systems analysis and management: structure, strategy, and design*. Petrocelli books.
- Tirkolaee, E. B., Goli, A., Hematian, M., Sangaiah, A. K., and Han, T. (2019). Multi-objective multi-mode resource constrained project scheduling problem using pareto-based algorithms. *Computing*, 101(6):547–570.
- Vega-Velázquez, M. Á., García-Nájera, A., and Cervantes, H. (2018). A survey on the software project scheduling problem. *International Journal of Production Economics*, 202:145–161.
- Wysocki, R. K. (2011). *Effective project management: traditional, agile, extreme*. John Wiley & Sons.
- Wysocki, R. K. (2019). *Effective project management: traditional, agile, extreme, hybrid*. John Wiley & Sons.
- Zitzler, E., Laumanns, M., and Thiele, L. (2001). Spea2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm. *TIK-report*, 103.

Publikációk

Idegen nyelvű cikkek

- Koszttyán, Z. T., Szalkai, I., Bogdány, E., and Kurbucz, M. T. (2021). Impacts of Synergies on Software Project Scheduling. javított kézirat bírálat alatt: *Annals of Operations Research*.
- Kurbucz, M. T., Katona, A. I., Lantos, Z., and Koszttyán, Z. T. (2021). The Role of Societal Aspects in the Formation of Official COVID-19 Reports: A Data-Driven Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1505.

- Kurbucz, M. T. (2021). Modeling Societal Correlates of Official COVID-19 Reports. bírálóat alatt: *Critical Public Health*.
- Kurbucz, M. T., and Kosztyán, Z. T. (2021). Asymmetries of mobility networks. *Pannon Management Review*.
- Kurbucz, M. T. (2020). A joint dataset of official COVID-19 reports and the governance, trade and competitiveness indicators of World Bank group platforms. *Data in brief*, 31, 105881.
- Kurbucz, M. T. (2019). Predicting the price of bitcoin by the most frequent edges of its transaction network. *Economics Letters*, 184, 108655.
- Kosztyán, Z. T., and Kurbucz, M. T. (2014). Impacts of Human Resources on Project Planning. *Global Journal on Technology*, 5.

Magyar nyelvű cikkek

- Kosztyán, Z. T., Szalkai, I., and Kurbucz, M. T. (2021). Szinergiák hatása a szoftverfejlesztési projektekben. javított kézirat bírálóat alatt: *Alkalmazott Matematikai Lapok*.
- Kosztyán, Z. T., Csányi, V. V., and Kurbucz, M. T. (2019). A Hetedik Keretprogram többszintű, dinamikus hálózati elemzése. *Statisztikai Szemle*, 97(2), 111-145.
- Kurbucz, M. T. (2016). Projektek átfogó tervezésének és koordinálásának támogatása mátrixokkal (Comprehensive Planning and Coordinating by Matrix-based Methods). *E-CONOM*, 5(1), 148–160. <http://doi.org/10.17836/EC.2016.1.148>.
- Kosztyán, Z. T., and Kurbucz, M. T. (2015). Projektek nyomon követése mátrixokkal. *Taylor: Gazdálkodás- és szervezéstudományi folyóirat. A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei*, 7(1–2 (18–19)), 144–151.
- Kurbucz, M. T. (2014). Emberi erőforrások optimális kiválasztásának vizsgálata a projekttervezésben. *Taylor: Gazdálkodás- és szervezéstudományi folyóirat. A Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei*, VI. évfolyam (3–4. szám), 171–179.
- Kurbucz, M. T. (2013). Emberi erőforrások optimális kiválasztásának vizsgálata a projekttervezésben. *E-CONOM*, 2(2), 58-78.

Könyvrészlet

Kurbucz, M. T. (2014). Emberi erőforrások optimális kiválasztásának vizsgálata a projekttervezésben. *Tudós bagoly avagy Válogatás a XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Közgazdaságtudományi szekciójában bemutatott díjnyertes dolgozatokból: válogatott kéziratok* (pp. 225–308).

Kurbucz, M. T. (2013). Gondolat kísérlet a projekttervezés során alkalmazott emberi erőforrás kiválasztási folyamat fejlesztésére. *Csak Harsányan!* (pp. 60–128).

Konferencia kiadványok

Kurbucz, M. T., and Kosztyán, Z. T. (2020). Abstract. Asymmetries of mobility networks. *Tourism as a Driver or Barrier for Quality of Life: Conference Proceedings* (pp. 8–8).

Kurbucz, M. T. (2019). Predicting the price of Bitcoin by its transaction network. Abstract. *Book of Abstracts CFE-CMStatistics 2019* (pp. 6–6).

Kurbucz, M. T. (2019). Gazdasági hálózatok modellezése. Study. *Innovációs kihívások a XXI. században* (pp. 204–209).

Kurbucz, M. T. (2019). Modeling of economic networks. Abstract. *Innovation Challenges in the 21st Century* (pp. 55–55).

Csányi, V., Kurbucz, M., and Kosztyán, Z. T. (2019). Dynamical network analysis of the EU-funded RD projects. Abstract. *Innovation Challenges in the 21st Century* (pp. 21–21).

Kosztyán, Z. T., Blázsik, P., Kurbucz, M. T., Csányi, V. V. (2018). Gazdasági hálózatok távolság- és költség alapú elemzése. Abstract. *OGIK 2018: 15. Országos Gazdaságinformatikai Konferencia - Az előadások összefoglalói* (pp. 72–73).

László, G., András, T., Vivien, V. C., Marcell, T. K., Zsolt, T. K. (2018). Student mobility analysis (ERASMUS). Poster. *IREG-9 Conference on Ranking and Accreditation - two roads to the same goal?*. Belgium/Hasselt.

Kurbucz, M. T., and Kosztyán, Z. T. (2014). Emberi erőforrások optimális kiválasztásának vizsgálata a projekttervezésben. Study. *Tavaszi Szél 2014 / Spring Wind 2014: I. kötet Közgazdaságtudomány* (pp. 325–336).

Adatbázis

Kurbucz, M. T. (2020). A Joint Dataset of Official COVID-19 Reports and the Governance, Trade and Competitiveness Indicators of World Bank Group Platforms, *Mendeley Data*, V6, doi: 10.17632/hzdnxph8vg.6.