

A társadalmi döntések számítástudománya – egy új határterület*

European Future Technologies Conference and Exhibition (FET'11)
COMSOC (Computational Social Choice) szekció
MTA Közgazdaságtudományi Intézete, Budapest, 2011. május 4.

A társadalmi döntések számítástudománya (*Computational Social Choice, COMSOC*) egy új interdiszciplináris kutatási ág a számítástudomány és társadalmi döntések elméletének határterületén. A Budapesten megrendezett FET'11 konferencia keretében egy szekció foglalkozott ezzel a témakörrel.¹ Az ezt megelőző napra egy műhelykonferenciát szerveztünk ugyanebben a témában neves külföldi előadók részvételével.² Ennek kapcsán ismertetjük röviden a témakört és beszámolunk a műhelykonferencián elhangzott előadásokról.

A témakör rövid bemutatása

Gazdasági vagy társadalmi helyzetben gyakran előfordul, hogy a résztvevőknek valamilyen módon dönteniük kell arról, hogy milyen együttműködést hozzanak létre. Az együttműködés lehetséges formáit szabályozhatják törvényi előírások és íratlan társadalmi normák. Ugyanígy a döntési mechanizmusra is vonatkozhatnak keretfeltételek, amelyeket a résztvevők elfogadnak. Ilyen helyzetekben a cél az, hogy a döntés eredménye valamilyen értelemben *optimális és igazságos* legyen a résztvevők valós preferenciáira nézve.

Vegyük például az iskolai felvételit! Itt a résztvevők a diákok (és szüleik), az iskolák és a kormányzat (vagy önkormányzat) – ez utóbbi elviekben a társadalmi érdekeket képviseli. A döntés tárgya, hogy a diákok hová kerüljenek felvételre. A szereplőknek preferenciáik vannak a lehetséges megoldásokra nézve. Minden diák a számára legmegfelelőbb iskolába szeretne felvétel nyerni, az iskolák szeretnék feltölteni a kvótáikat a lehető legjobb diákokkal. A kormányzat célja már igen sokrétű lehet. Az általános iskolás és középiskolai felvételi esetén a legtöbb országban – így például a New York és Boston városában (*Abdulkadiroglu és szerzőtársai* [2005a], [2005b]) – a döntéshozók szerint a társadalmilag optimális és igazságos megoldásban a diákoknak elsőbbséget kell kapniuk a lakóhelyükhöz közeli iskolákban, illetve ahová már legalább egy testvér jár a családjukból. A magyar középiskolai felvételiben ezzel szemben a kormányzat teljes mértékben az iskolákra bízta a felvételiző diákok rangsorolását.

A döntéshozatali mechanizmus működhet decentralizáltan vagy egy központi koordinátor (játékvezető) bevonásával. Decentralizált esetben egy szabályozott eljáráson keresztül alakul ki a megoldás, amelynek során a résztvevők stratégiai döntéseket hozhatnak. Egyetemi felvételi esetén például a legtöbb országban nincs központi adminisztráció, a diákok egyénileg dönthetnek, hogy hová jelentkeznek, és az intézmények is külön-külön hozzák

* A cikk írója és a műhely szervezői is köszönetüket fejezik ki az MTA Lendület programjának (LD-004/2010), amelynek támogatása nélkül nem jöhetett volna létre ez a rendezvény.

¹ <http://www.illc.uva.nl/COMSOC/FET11/>

² http://econ.core.hu/english/res/game_comsoc.html

meg döntésüket, hogy kit vesznek fel a helyenként többfordulós felvételi eljárásban. Központi döntéshozatali mechanizmus esetén a résztvevők kinyilvánítják preferenciáikat egy koordinátornak, amely ezek alapján – esetlegesen további objektív faktorokat figyelembe véve – automatikusan szolgáltatja az eredményt. A játékvezető nemcsak személy, hanem egy automatikus mechanizmus is lehet, amely megjeleníthet például egy internetes protokoll formájában.

Fontos hangsúlyozni, hogy a szereplők által a döntéshozatali mechanizmus során követett stratégiák, illetve központi eljárásban a kinyilvánított preferenciák nincsenek feltétlenül összhangban a valós preferenciákkal. Emiatt a mechanizmus végén kapott eredmény sem biztos, hogy a valódi preferenciák szerint lesz optimális és igazságos. Ennek elkerülésére a döntési mechanizmusok tervezői igyekeznek olyan szabályrendszereket kialakítani, amely igazmondásra ösztönzi a résztvevőket. Ezt a kérdéskört leginkább a *játékelmélet* szakértői vizsgálják. A *számítástudomány* szerepe a mechanizmustervezési folyamatban a következő. A központi mechanizmusban jelen lévő automatizmus mögött általában egy optimalizáló algoritmus áll, amelynek feladata, hogy a beérkező adatok függvényében hatékonyan adja meg a kívánatos végeredményt. Ez azonban nem mindig lehetséges, hiszen léteznek olyan optimalizálási problémák, amelyek bizonyítottan bonyolultak, ezekre hatékony algoritmus gyakorlatilag nem adható. Fontos tehát, hogy oly módon határozzuk meg az optimalitás feltételét, amelyre a kapott probléma algoritmikus értelemben kezelhető. Tágabb értelemben a *társadalomtudomány*, *közgazdaságtan* és *játékelmélet* feladata, hogy meghatározza, milyen együttműködés tekinthető társadalmilag optimálisnak, igazságosnak egy adott szituációban.

Megjegyzem, hogy a központi koordináció a döntési mechanizmusokban nem jelent feltétlenül bürokratikus koordinációt, ahogyan azt *Kornai* [1983] definiálta a koordinációs mechanizmusok kategorizálásakor. A témakör egyik legelismertebb közgazdásza, Alvin E. Roth a következőképpen nyilatkozott erről a kérdéstről az amerikai rezidensek allokálására használt központi párosító programok kapcsán: „Vegyük észre, hogy az itt vizsgált központosított piacok nem jelentenek központosított tervezést, ahogyan a legtöbbben ezt értelmezik, mivel ezek a piacok úgy lettek megalkotva, hogy érzékenyek legyenek a szereplők kinyilvánított preferenciáira, ahelyett, hogy egy tervező ezektől független céljainak elérését szolgálják. Ami itt központosítva van, az nem az elérendő cél, hanem a piaci mechanizmus maga.” (*Roth* [1990] 1527. o.) A legtöbb esetben ez így is van, például az amerikai rezidensek programjában vagy a magyarországi középiskolai felvételi esetében. Vannak azonban arra is példák, hogy a kormányzati célok is részévé válnak az optimalizálási szempontoknak. A magyarországi felsőoktatási felvételi rendszerben a szakáganként meghatározott állami kvóták gazdasági érdekeket, a többletpontok rendszere – többek között – szociális érdekeket is szolgálhat. Egyébként a központi és bürokratikus koordináció kérdése nagyjából független attól, hogy a koordinációt állami szerv, független intézmény vagy magáncég szolgáltatja, mindegyikre akad példa a gyakorlatban.

Társadalmi döntési mechanizmusokra a legegyszerűbb és legrégebben alkalmazásban lévő eljárás a szavazás. Célja általában az alternatívák közti választás, a szavazatok aggregálásának módja azonban sokféle lehet. A koordinátor szerepe itt általában csak a szavazatok összeszámlálása, az eredmények összesítése. Ennek technikai megvalósítása az ókori cserépszavazástól napjainkra eljutott a teljesen automatizált webes szavazásig. Vannak azonban helyzetek, amikor a koordinátor vagy egyes szereplők a szavazás lefolytatásának menetét is befolyásolhatják. Mind a szavazás menetének meghatározásakor, mind pedig a szavazáskor adódhatnak helyzetek, amikor a szereplők taktikázással számukra kedvezőbb eredményt érhetnek el. A legtöbb használatban lévő szavazási el-

járáásra igaz ugyanis, hogy a szavazóknak nem feltétlenül áll érdekükben a valós preferenciájuk szerinti szavazás.³

A piaci mechanizmusokat sokfajta koordinációs mechanizmus segítheti. A klasszikus piac – így a legtöbb áru- és munkapiac – napjainkban is decentralizált, habár nemzetközi szinten is egyre kifinomultabb írott és íratlan szabályrendszer vonatkozik rájuk. Emellett a koordinátorok szerepe is növekszik, főként a modern technológia (elsősorban az internet) adta lehetőségeknek köszönhetően. A piaci alkuszoknak már a középkorban (*Börner–Quint* [2010]) is jelentős szerepük volt abban, hogy a városi piacokon a vevők és eladók közötti kereskedés (ki kinek ad el és milyen áron) hatékony módon történjen. A piaci koordináció egy speciális esete az aukció, amelyet a szakirodalom részletesen taglal. Az aukció vezetése napjainkban szintén egyre inkább internetes portálok feladata, de az új technikai megoldástól függetlenül még mindig elkülönülnek a decentralizált eljárások (ahol a vásárlók az aktuális ár tudatában minden árura külön tesznek ajánlatot), illetve a központi mechanizmusok (ahol az ajánlatokat előre begyűjtik, és a megoldást a koordinátor határozza meg). Az előbbire egy modern példa az eBay, az utóbbira pedig a Google által koordinált aukció az amerikai televíziós hirdetésekre (*Nisan* [2009]). A résztvevők stratégiai döntései ezen alkufolyamatokban is megjelennek, de bizonyos alapesetekben a koordináció révén garantálható az *optimális és igazságos* eredmény elérése, amelyre a decentralizált piacokat mozgató „láthatatlan kéz” már nem mindig lenne képes.

Az én szakterületem a párosítások elmélete. A legelső ismert központi párosító programot az amerikai rezidensek elhelyezésére vezették be 1952-ben, amelynek révén minden évben körülbelül 30 ezer orvosjelöltet allokálnak kórházakhoz (lásd *Roth* [1984], [2008]). Az itt is működő eljárás elméletét *Gale–Shapley* [1962] dolgozta ki az egyetemi felvételik kontextusában. Az igazságosság feltételét a következő úgynevezett *stabilitás* fogalma adja: ha egy diák jelentkezését elutasítja egy egyetem, akkor ennek az oka csak az lehet, hogy az egyetem fel tudta tölteni helyeit az adott jelentkezőnél jobb diákokkal. Gale és Shapley belátta, hogy az általuk javasolt algoritmus minden esetben talál egy stabil párosítást, sőt ez a megoldás optimális a diákok részére (egyik diák sem kerülhet be jobb egyetemre semelyik stabil párosításban). Ez utóbbi állítás azt is eredményezi, hogy a diákoknak minden esetben megéri a valódi preferenciájukat megadni a jelentkezési lapon, mert taktikázással biztosan nem kerülhetnek be jobb helyre, vagyis az eljárás *stratégiailag biztos*. Végül az eljárás gyakorlati alkalmazhatóságának számítástudományi feltétele is teljesül: az algoritmus igen gyors, futásideje a jelentkezések számával arányos.⁴

A fenti algoritmus működik a hazai középiskolai és egyetemi felvételi rendszerekben (*Biró* [2008], *Kóczy* [2009], [2010]), és számos más alkalmazásban a világon. Az ismertebb alkalmazások egy gyűjteménye megtalálható a kutatócsoportunk honlapján.⁵ Ezen írás szerzője tevékenyen részt vett az Egyesült Királyság vesecseriprogramjának [5], a skóciai rezidensek allokációs programjának [7], valamint a magyar felsőoktatási felvételi rendszer pontszámítási eljárásának (*Biró* [2008], *Biró és szerzőtársai* [2010]) kidolgozásában és elemzésében. Az utóbbi két alkalmazásban használt párosító eljárások szintén a Gale–Shapley-algoritmuson alapulnak, de mindkettőnek vannak speciális tulajdonságai, amelyek megnehezítik a problémát.

³ Vegyük egyszerű példaként a hazai parlamenti választásokat! A listás szavazat leadásakor az a szavazó, aki olyan pártot favorizál, amelynek a bekerülési küszöbhez (5 százalékhöz) közeli a támogatottsága, esetleg elgondolkozik azon, hogy ne kockáztassa a szavazata elvesztését, és inkább egy kevésbé kedvelt, de biztos befutó pártra szavaz.

⁴ Magyarországon például a felsőoktatási felvételiben használt pontszámító algoritmus körülbelül 10 másodperc alatt végez a számítással, ami azt jelenti, hogy ugyanez a program mondjuk az Egyesült Királyság felvételijére futtatva – ahol a jelentkezők és a jelentkezések száma is nagyjából hatszorosa – körülbelül egy perc alatt végezne. Megjegyezzük, hogy ha a futásidő lineárisnál lényegesen rosszabb, például négyzetes vagy köbös volna, akkor már nem biztos, hogy alkalmazható lenne ilyen nagy méretű feladatok megoldására.

⁵ http://econ.core.hu/english/res/game_app.html.

Szemléltessük ezt egy konkrét esetben! Az Egyesült Államok rezidensallokációs programjában a kilencvenes évek vége óta, Skóciában 2010 óta, házaspárok közös jelentkezési listát adhatnak le. Erre azért volt igény, mert az egy- vagy kétéves rezidens időszakot a házaspárok nem szeretnék egymástól távol eltölteni, és így a többségük csak olyan pozíciópárokat jelöl be, amelyeket egymáshoz közel lévő kórházak írtak ki. Ez a speciális lehetőség azonban azt jelenti, hogy többé nem garantált az igazságos megoldás létezése.⁶ Sajnos az is belátható, hogy a stabil párosítás keresésének problémája *NP-nehéz*,⁷ így nem remélhető hatékony algoritmus ennek a feladatnak a kezelésére, az alkalmazásokban heurisztikák használata szükséges. Nagyon hasonló problémát okoz a magyarországi felsőoktatási felvételiben, hogy tanári szakokra párhuzamosan is lehet jelentkezni (például egy diák jelentkezhet egyszerre történelem és matematika tanári szakpárra).

Általánosan elmondható tehát, hogy párosítási problémák és piaci szituációk esetében is léteznek olyan eljárások, amelyek központi koordináció segítségével igazságos és optimális megoldásra vezetnek, ugyanis ez utóbbiak feltételei jól definiálhatók, az eljárások stratégiailag biztosak és hatékonyan alkalmazhatók. Ennek köszönhető a párosító programok és bizonyos aukciós eljárások sikere és egyre szélesebb elterjedése. Elég azonban egyetlen speciális feltétel ahhoz, hogy a probléma elméleti értelemben bonyolulttá váljon, és a gyakorlatban heurisztikák alkalmazására kényszerüljenek a programok tervezői.

Beszámoló a műhelykonferenciáról

Az első három előadás a stabil párosítások és ezek általánosításairól szólt. Biró Péter a hazai felsőoktatási felvételi négy speciális tulajdonságáról beszélt (ezek a következők: holtversenyek a pontszámegyezések miatt, alsó kvóták megadásának lehetősége minden szak esetében, országos szakági kvóták, és végül a szakpárookra történő jelentkezések), amelyekből három problematikus és heurisztikák alkalmazását teszi szükségessé. Francesca Rossi speciális párosítómechanizmusok manipulálhatóságáról beszélt (*Pini és szerzőtársai* [2011]). Fleiner Tamás a stabil párosítások elméletét általánosította hálózatokban definiálható stabil folyamokra, amely a kereskedelmi szerződések egy lehetséges modelljét adja (*Fleiner* [2009]). A témakörhöz szorosan kötődik még Ioannis Caragiannis előadása is, aki a Google által használt keresőszavakra lefolytatott aukcióról és ennek manipulálhatóságáról beszélt.

Az egyéni döntések aggregálásának problémája volt a fő témája két grazi közgazdász (Christian Klamler és Daniel Eckert) mellett Ulle Endriss előadásának is. Ezenkívül

⁶ Lássunk erre egy példát! Éva és Ádám egy házaspár, akik csak az (X, Y) kórházpárt jelölik meg a közös listájukon, vagyis ha Éva megkapja az állást X -ben és Ádám Y -ban, akkor ezt elfogadják, egyébként inkább várnak még egy évet (vagy külföldre mennek). A harmadik orvos, Béla preferencialistája szintén az X és Y kórházakat tartalmazza, ebben a sorrendben. A kórházak egyetértenek abban, hogy Éva a legjobb orvos, Béla a második legjobb és Ádám a harmadik. Van-e igazságos megoldás? Ha a házaspárt allokáljuk a kórházakba, akkor az Y kórház joggal élhet panasszal, hiszen inkább Bélát venné fel Ádám helyett, ugyanis ő egy jobb orvos. Ha viszont nem allokáljuk a házaspárt, és Bélát veszi fel Y , akkor Béla és – a pillanatnyilag senkit sem foglalkoztató – X kórház köthetne egy új szerződést, amivel mindkét fél jobban járna. Végül, ha Bélát X -be allokáljuk, akkor mindkét kórház jobban járna a házaspár felvételével, ugyanis Évát jobb orvosnak gondolják X -ben mint Bélát, Y -ban pedig senki sincs felvéve.

⁷ *NP-nehéz* probléma: minden nem determinisztikus polinombeli (*NP*-beli) probléma visszavezethető rá. Ez azt jelenti, hogy ha bármelyik *NP-nehéz* problémára tudnánk adni egy hatékony (az input függvényében polinomiális futásidőjű) algoritmust, akkor minden *NP*-beli problémát meg tudnánk hatékonyan oldani. Viszont a több ezer régóta ismert *NP*-beli probléma egyikére sem sikerült eddig hatékony megoldást találni, ezért a számítástudósok valószínűtlennek tartják, hogy ez lehetséges volna, de bizonyítani még nem tudták ezt a feltevést. (Ez a probléma az egyike a hét legfontosabb matematikai problémának, amelyet a Clay Matematikai Intézet 2000-ben meghirdetett a Millennium Prize Project keretében, melyek megoldásáért egyenként 1 millió dollárt ajánlottak fel.)

Jérôme Lang is ilyen témában adott elő a FET'11-en. A szavazatok aggregálásának nehézségét jól szemlélteti az úgynevezett következtetési dilemma (*Kornhauser–Sager* [1986]) vagy doktrinális paradoxon.⁸ Lang előadásában a következő további példákat hozta problematikus közösségi döntésekre: közös menü kiválasztása étteremben, referendum egyszerűen több kérdésben, bizottság kiválasztása, útiterv megalkotása. Mindegyik példára jellemző, hogy a lehetséges kimenetek száma túl nagy ahhoz, hogy az összesről véleményt nyilvánítsanak a szavazók. Például ha egy svájci kisvárosban arról kell döntenet, hogy nyolc lehetséges projektből melyeket valósítsák meg, akkor $2^8 = 256$ döntés lehetséges. Ha mindegyik projektről külön szavazással, de egyidejűleg döntenek, akkor elképzelhető, hogy a felhasználható büdzséhez képest túl sok (vagy túl kevés) projektet fogadnak el, ami egyik szavazónak sem célja. Ha egymás után döntenek a projektekről, akkor félő, hogy a büdzsé esetleges kimerülésekor már azokat a projekteket sem szavazzák meg, amelynek eredetileg a legnagyobb támogatottsága volt. Az előadásokban többfajta módszert hallhattunk, amelyek kívánatos megoldásokhoz vezethetnek, de egyik megoldás sem hibátlan, a helyes aggregálási módszer kiválasztása nagyban függ a döntés tárgyától.

A szavazás több előadás témája is volt a műhelykonferencián. Ezek egy része arról szólt, hogy mennyire bonyolult bizonyos szavazási rendszereket manipulálni. Az ilyen típusú probléma bonyolultsága jó hírnék számít, ha ugyanis nem lehet hatékonyan meghatározni a taktikákat, akkor vélhetően a szavazás rezisztensebb a manipulációra nézve. Britta Dorn által ismertetett modellben a szavazók hajlandók változtatni a preferenciájukat bizonyos fizetség ellenében (*Dorn–Schlotter* [2010]). Tegyük fel, hogy valaki befolyásolni akarja a szavazást, és tisztában van a befolyásolás költségeivel. Vajon meg tudja határozni hatékonyan, hogy mely szavazóktól kell kérnie a szavazatuk módosítását, annak érdekében, hogy a neki tetsző jelölt nyerjen? Robert Brederick azt a kérdést vizsgálta, hogy a Llull-szabály⁹ használatakor meg lehet-e hatékonyan találni azokat a jelölteket, amelyek esetleges kizárásával a manipulátornak kedvező jelölt kerül ki győztesen (*Betzler és szerzőtársai* [2011]). Tasnádi Attila azt a problémát elemezte, hogy meg lehet-e határozni hatékonyan a szavazókörczetek egy olyan beosztását, amely révén az erről döntő párt jó eséllyel nyeri meg a következő választásokat (*Puppe–Tasnádi* [2009]). Szerencsére mindhárom esetben NP-nehéznek bizonyultak az alapproblémák (de sajnos ez nem zárja ki, hogy különböző heurisztikákkal a manipulátorok megpróbálkozzanak a helyes befolyásolási taktika kiszámításával). Végül Kóczy László azt a kérdéskört boncolgatta előadásában, hogy a szavazási koalíciók egyoldali ellehetetlenítésével az egyes pártok vagy játékosok miként érhetik el, hogy megnövekedjen a hatalmi erejük (*Kóczy* [2008]).

A COMSOC egy másik nagy témaköre, az igazságos osztozkodás is terítékre került. Ioannis Caragiannis a FET'11-en elmondott rövid előadásában több példát és igazságossági koncepciót is ismertetett. Az egyik iskolapélda a tortaosztás. Ha két játékosnak kell megegyeznie, hogy ki melyik részét kapja egy tortának (vagy például válás esetén a vagyonnak), akkor létezik olyan egyszerű eljárás, melyre a végeredmény garantáltan

⁸ A probléma egy magyarországi átírata a következő: az alkotmánybíróság akkor semmisíthet meg egy törvényt, ha az adott törvényt napirendjére tűzi (a törvény olyan témakört érint, amelyben eljárhat) és a törvény ellentétesnek ítéltetik a hatályos alkotmánnyal. Tegyük fel, hogy egy adott törvény kapcsán a bíróság három egyenlő csoportra oszlik. Az egyik szerint eljárhatnak az ügyben, és a törvény sérti az alkotmányt (tehát meg kell azt semmisíteni), a másik szerint a törvény alkotmányt sért, de nem tárgyalható, végül a harmadik csoport szerint tárgyalható a kérdés, de a törvény nem alkotmányellenes. Ha tehát arról szavaznának, hogy ki szerint lehet megsemmisíteni a törvényt, akkor a kétharmad ezt elvetné. Viszont, ha először arról döntenek, hogy napirendre tűzhető-e a törvény, majd arról, hogy sérti-e az alkotmányt, akkor mindkettő többséget kapna, és a törvényt megsemmisítenék.

⁹ A Llull szavazási eljárás a páros összehasonlítások eredményeként azt a jelöltet hozza ki győztesnek, aki a legtöbb összehasonlítást megnyeri. Ezt a szabályt sokáig Arthur H. Copeland nevéhez kötötték, aki a 20. század közepén vezette be és elemezte a módszert, de nemrég felfedezték, hogy ugyanezt az eljárást javasolta Ramon Llull (1232–1312) katalán gondolkodó is.

igazságos lesz abban az értelemben, hogy senki sem irigyeli a másik részét. Ez pedig a következő: az első játékos felszeli a tortát (elosztja a vagyont két részre), a második meg választ. A kérdés egyszerű két részvevőre, de háromnál többre a legtöbb probléma még nyitott. A tortaosztásnál természetesen vannak sokkal komplikáltabb kérdések is. Katarína Cechlárová azt a speciális kérdést elemezte, amikor egy időintervallumot (ami például egy munkaeszköz használatára vonatkozik) kell oly módon elosztani két fél között igazságosan, hogy a feleknek jutó időintervallumok egybefüggők legyenek. Sziklai Balázs egy klasszikus feladatot, a csődproblémát vizsgálta egy érdekes hidraulikai rendszer segítségével (Fleiner–Sziklai [2011]). Bemutatta, hogy a konzisztens megoldás – amelyet már a Talmudban is javasoltak (Aumann–Maschler [1985]) az elhunyt vagyonának szétosztására a hitelezői között – megfelel a kooperatív játékelmélethez ismert *nucleolus* megoldásnak, és hatékonyan elő is állítható vizes edények megfelelő összekapcsolásának analógiájaként.

Hivatkozások

- ABDULKADIROGLU, A.–PATHAK, P. A.–ROTH, A. E.–SÖNMEZ, T. [2005a]: The New York Public School Match. *American Economic Review*, 95. 364–367. o.
- ABDULKADIROGLU, A.–PATHAK, P. A.–ROTH, A. E.–SÖNMEZ, T. [2005b]: The Boston Public School Match. *American Economic Review*, 95. 368–371. o.
- AUMANN, R. J.–MASCHLER, M. [1985]: Game Theoretic Analysis of a Bankruptcy Problem from the Talmud. *Journal of Economic Theory*, 36. 195–213. o.
- BETZLER, N.–BREDERECK, R.–NIEDERMEIER, R.–UHLMANN, J. [2011]: On Making a Distinguished Vertex Minimum Degree by Vertex Deletion. In *Proceedings of SOFSEM'11*.
- BIRÓ PÉTER [2008]: Student Admissions in Hungary as Gale and Shapley Envisaged. Technical Report, No. TR-2008-291 of the Computing Science Department of Glasgow University.
- BIRÓ P.–IRVING, R. W.–SCHLOTTER, I. [2011]: Stable Matching with Couples – An Empirical Study. *ACM Journal of Experimental Algorithmics*, megjelenés alatt.
- BIRÓ P.–FLEINER T.–IRVING, R. W.–MANLOVE, D. F. [2010]: The College Admissions Problem with Lower and Common Quotas. *Theoretical Computer Science*, 411. 3136–3153. o.
- BIRÓ P.–MANLOVE, D.F.–RIZZI, R. [2009]: Maximum Weight Cycle Packing In Directed Graphs, with Application to Kidney Exchange Programs. *Discrete Mathematics, Algorithms and Applications*, 1. 499–517. o.
- BÖRNER, L.–QUINT, D. [2010]: Medieval Matching Markets. *Discussion Papers, Freie Universität Berlin, School of Business and Economics*, 31.
- DORN, B.–SCHLOTTER, I. [2010]: Multivariate Complexity Analysis of Swap Bribery. *Proceedings of IPEC'10, Volume 6478 in LNCS, Springer*, 107–122. o.
- FLEINER TAMÁS [2009]: Stable matchings and flows. Technical Report, Egerváry Jenő Kombinatorikus Optimalizálási Kutatócsoport, Budapest, TR-2009-11.
- FLEINER TAMÁS–SZIKLAI BALÁZS [2011]: Notes on the Bankruptcy Problem: An Application of Hydraulic Rationing. *IEHAS Discussion Papers*, 2011/23.
- GALE, D.–SHAPLEY, L. [1962]: College Admissions and the Stability of Marriage. *American Mathematical Monthly*, 69. 9–15. o.
- KÓCZY Á. LÁSZLÓ [2008]: Strategic Power Indices: Quarrelling in Coalitions. *IEHAS Discussion Papers*, No. 0820.
- KÓCZY Á. LÁSZLÓ [2009]: Központi felvételi rendszerek. Taktikázás és stabilitás. *Közgazdasági Szemle*, 56. 422–442.
- KÓCZY Á. LÁSZLÓ [2010]: A magyarországi felvételi rendszerek sajátosságai. *Közgazdasági Szemle*, 57. évf. 2. sz. 142–164. o.
- KORNAI JÁNOS [1983]: Bürokratikus és piaci koordináció. *Közgazdasági Szemle*, 30. évf. 9. sz. 1025–1038. o.
- KORNHAUSER, L. A.–SAGER L. G. [1986]: Unpacking the Court. *Yale Law Journal*, 96. 82–117. o.

- NISAN, N.–BAYER, J.–CHANDRA, D.–FRANJI, T.–GARDNER, R.–MATIAS, Y.–RHODES, N.–SELTZER, M.–TOM, D.–VARIAN, H.–ZIGMOND, D. [2009]: Google’s Auction for TV Ads. Proceedings of ICALP 2009 ,Volume 5556 of LNCS, Springer, 309–327. o.
- PINI, M. S.–ROSSI, F.–VENABLE, K. B.–WALSH, T. [2011]: Weights In Stable Marriage Problems Increase Manipulation Opportunities. Proceedings of IJCAI 2011 workshop on social choice and AI.
- PUPPE, C.–TASNÁDI, A. [2009]: Optimal Redistricting under Geographical Constraints: Why ‘Pack and Crack’ Does Not Work. Economics Letters, 105. 93–96. o.
- ROTH, A. E. [1984]: The Evolution of the Labor Market for Medical Interns and Residents: A Case Study in Game Theory. Journal of Political Economy, 92, 991–1016. o.
- ROTH, A. E. [1990]: New Physicians: A Natural Experiment in Market Organization. Science, 250, 1524–1528. o.
- ROTH, A. E. [2008]: Deferred Acceptance Algorithms: History, Theory, Practice, and Open Questions. International Journal of Game Theory, 36. 537–569. o.
- Website of applications: http://econ.core.hu/english/res/game_app.html.

Biró Péter

Biró Péter, MTA Közgazdaságtudományi Intézet (e-mail: birop@econ.core.hu).