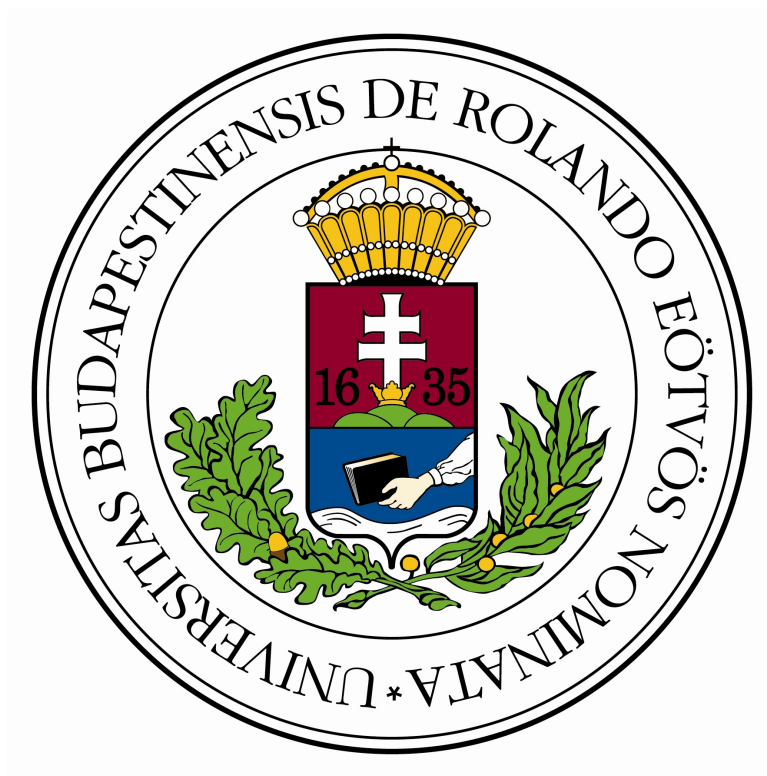


# Jazz zenészek együttműködési hálózatai

Hálózatok szerkezete, dinamikája és stabilitása



Bakó Bence  
2020

## Kivonat

A dolgozat három részre oszlik. Az első rész egy bevezetőt tartalmaz, amelyben néhány hálózatokkal kapcsolatos fogalmat definiálok. A második részben a kiválasztott hálózatot meghatározom és vizsgálom a korábban definiált tulajdonságok érvényesülését. A dolgozat utolsó fele a sikeresség kérdésével foglalkozik a jazz hálózatokban.

## 1. Bevezetés

A hálózatok mindenhol jelen vannak és ma már megkapják a kiérdemelt figyelmet. A hálózatos gondolkodásmód széleskörben felhasználható és közelebb visz minket a komplex rendszerek megértéséhez. A megértés érdekében először tekintsük át a hálózat kutatás néhány általános jellemzőjét, főként a későbbiekben felhasználtakra koncentrálva.

A hálózatokat gráfokkal reprezentálhatjuk. A gráfok és ennek megfelelően a hálózatok is csúcsokból vagy módusokból és élekből állnak. A szociális hálózatokból inspirálódva Duncan Watts és Steve Strogatz (1998) általánosította az úgy nevezett kisvilágságot. A kisvilág-hálózatok legfőbb tulajdonsága, hogy bármelyik két módus között találunk utat és ez a hálózat méretéhez képest kicsi. Pontosabban, két véletlenszerűen választott módus távolsága a módusszám logaritmusával arányos.

Bármely hálózatot jellemezhetünk fokszámeloszlással. Barabási Albert László és Albert Réka (1999) azt figyelték meg, hogy sok nagyméretű hálózatban a módusok fokszáma skálafüggetlen eloszlást követ, vagyis egy hatványfüggvénnyel jellemezhető. Ez azt jelenti, hogy egy 10-szer nagyobb foksámú módus előfordulásának valószínűség 10-szer kisebb. A skálafüggetlen hálózatok tehát kevés, de nagy foksámú módussal rendelkeznek, ezeket csomópontoknak hívjuk. Ebből kifolyólag nagyon érzékenyek a célzott támadásra, vagyis csak néhány nagy csomópontot eltávolítva a hálózat szétesik. Ezzel szemben rendkívül nagy a hibatűrő képességük, véletlenszerűen távolítva el éleket, a hálózat hosszú ideig megőrzi integritását, emiatt is a természetben és a társadalomban is rengeteg példát találunk skálafüggetlen eloszlásra.

Minden hálózat esetén változhat, hogy mit tekintünk fontos alkotórésznek, egy skálafüggetlen hálózatban például a csomópontok szolgálnak ilyen alkotóként. Egy másik ilyen példa a modulok jelenléte, amelyek bizonyos módusok csoportosulásait jelentik, vagyis azon módusok halmazát tekintjük modulnak, amelyek egymással sűrűbben kapcsolódnak össze, mint a hálózat többi részével. Ezeket a csoportokat hidak kötik össze. Egy hierarchikus szinttel fennebb lépve a korábban meghatározott modulok egy-egy módussá mennek össze és az ezeket összekötő hidak élek lesznek, melyek súlyát a korábbi modulokat összekötő élek száma határozza meg. Ezeket a fontos alkotórészeket a centralitások segítségével tudjuk jellemezni. Modulok értelmezésekor a csoport-centralitást érdemes vizsgálni.

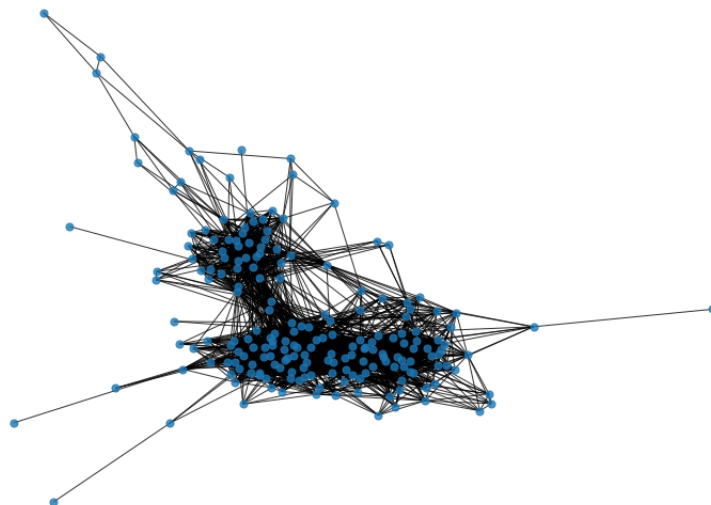
Egy hálózat fejlődése során változhat a topológiája, azaz általában külső zaj hatására, vagy a rendelkezésre álló források gazdagságának függvényében változik az összetétele. Tehát az élek és módusok számával, ezek elrendeződésével, a módusok fokszámeloszlásával jellemzett hálózat lehet például skálafüggetlen, csillagháló, random gráf vagy akár felépülhet szubgráfokból is. A forrásgazdagság a random gráfnak, mérsékelt gazdagság a skálafüggetlen hálózatoknak kedvez, amely bár elég törekeny állapot, mégis nagyon gyakori. Azonban, ha valamilyen perturbáció kerül a rendszerbe, az megváltoztathatja a hálózat topológiáját, csillagháló alakulhat ki, de célzott támadás esetén szubgráfokra is széteshet a rendszer. Hasonló fázisátmenetek figyelhetők meg egy kezdetleges hálózat evolúciója során is, adott esetben szubgráfokból lassan skálafüggetlen hálózat, majd akár random gráf alakulhat ki.

Fontos még megemlíteni a hálózat éleinek kategorizálását, ezek az erős kölcsönhatások és a gyenge kapcsolatok. Az erős kölcsönhatások a hálózat azon éleit jelentik, amelyek jelenléte elengedhetetlen. A gyenge kapcsolatok definíciója nehézkes, az egyik meghatározás

szerint azok azokat az éleket jelenti, amelyek eltávolítása a hálózat egészére nem lenne túlzottan nagy hatással. A gyenge kapcsolatok azonban mégis fontos szerepet töltenek be a hálózatokban, segítik az információterjedést, a zaj disszipálódását, a gyenge kapcsolatok stabilizálják a komplex rendszereket.

## 2. Jazz zenekarok hálózata

Az általam feldolgozott adathalmaz[1] 2003-ban készült és az 1912 és 1940 között tevékenykedő amerikai jazz zenekarok hálózatát tartalmazza. A hálózat módusait 198 zenekar alkotja és két módus akkor van összekötve, ha osztoznak legalább egy zenészen, így 2740 élet definiálva. Már a legelején megfigyelhető egy fontos hálózatos tulajdonság, az egymásbaágyazottság, ami szociális hálózat lévén nem meglepő. Minden zenekart értelemszerűen több zenész alkot, tehát a zenekarok hálózatának módusai maguk is egy-egy hálózatot jelentenek. Tehát a hálózatunkat egy másik szinten is kezelhetjük, ahol a módusokat a zenészek alkotják és két zenész akkor áll kapcsolatban, ha játszottak egy zenekarban. Ezt az egymásbaágyazottságot úgy is értelmezhetjük, hogy a hálózat a zenészek szintjén modulokból épül fel és ezek a csoportok önmagukban mind egy-egy teljes gráfot alkotnak, hiszen egy zenekaron belül minden módus szomszédos minden módussal, tehát egy egy erősen klaszterezett hálózatot kapunk. Ezen a ponton kisebb ellentmondásba is keveredhetünk, mert az adatok egyként kezelik a korábban említett 28 éves periódust, tehát előfordulhat, hogy bizonyos zenészek soha nem is játszottak együtt, mégis a hálózat szomszédosnak tekinti őket.



1. ábra. Jazz zenekarok hálózata<sup>i</sup>

Először tanulmányozzuk a zenekarok átlagos távolságát:

$$\sum_{s,t \in V} \frac{d(s,t)}{n(n-1)} = 2.2351 \quad (1)$$

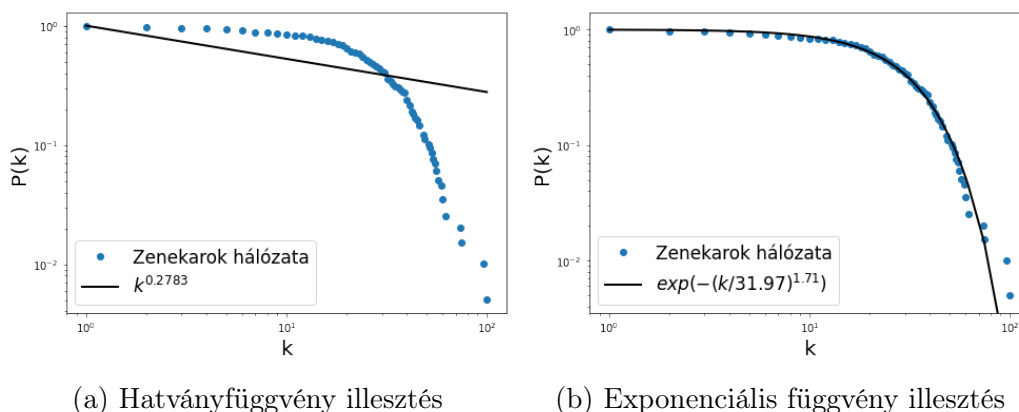
Ahol  $V$  a csúcsok halmaza,  $n$  a csúcsok száma,  $d(s,t)$  pedig a legrövidebb út az  $s$  és  $t$  módus között.<sup>ii</sup>Tehát kijelenthetjük, hogy a zenekarok kisvilágot alkotnak. A zenészek hálózatában ez a szám némileg nagyobb, 2,79 [2], de ez is kellőképpen kicsi ahhoz, hogy ezt

<sup>i</sup>Az ábrákat Pythonban készítettem a networkx és a matplotlib könyvtárak segítségével.

<sup>ii</sup>A számolásokat szintén a networkx könyvtár segítségével végeztem el.

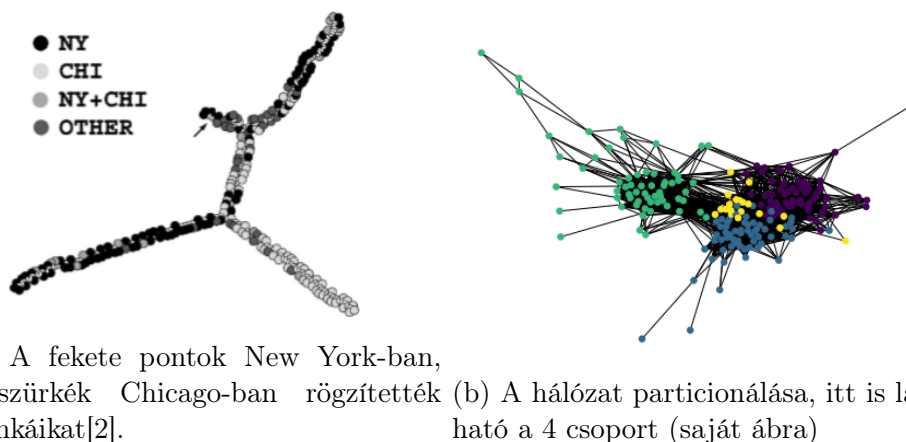
is kisvilágként értelmezzük. A különbség érthető, hiszen az egyén adott esetben csak egyik zenekari társán keresztül érhet el egy másik zenekarban játszózt.

A hálózat kisvilág-sága tehát egyértelmű, na de mi a helyzet a skálafüggetlenséggel? Ezen kérdés megválaszolásának céljából vizsgáljuk meg a fokszámoszlást. Bár a hálózat nem rendelkezik elég módussal ahhoz, hogy ez több nagyságrenden keresztül is skálafüggetlen lehessen, előfordulhat, hogy két nagyságrendig mindez megvalósul. A 2. ábrán láthatjuk a kumulatív fokszámoszlást logaritmikus skálán. Azt várnánk, hogy a pontok egyenessel közelíthetők, hiszen egy hatványfüggvény logaritmikus skálán egyenest ad. Ezért először meg is próbáltam hatványfüggvényt illeszteni a pontokra (2a) de ez nyilvánvalóan sikertelen. A 2b ábrán látható, hogy az eloszlás sokkal inkább exponenciális lecsengést mutat. Tehát a hálózat nem tekinthető skálafüggetlennek, nincsenek olyan zenekarok, amelyek csomópont szerepét töltenék be.



2. ábra. A  $P(k)$  kumulatív fokszámoszlás

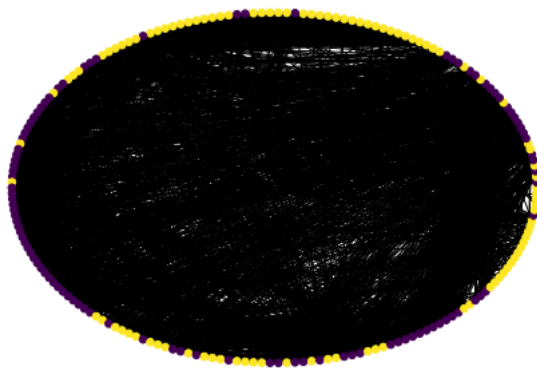
Mint ahogy azt már korábban is említettem, ha a jazz zenészek hálózatát tekintjük, akkor a zenekarok modulokat alkotnak. Tehát innen, egy hierarchikus szinttel fennebb lépve kapjuk a zenekarok hálózatot, amelyben ezek alapján a kapcsolatokat súlyokkal is elláthatnánk annak függvényében, hogy két zenekar hány zenészen osztozik, bár ezt az adathalmaz jelen esetben nem engedi meg. A hálózat hierarchiájában tovább haladva megfigyelhetjük a zenekarok csoportosulását is. Itt két nagy modul különül el, ahogy az látható is a 3a ábrán. Nem meglepő, hogy ez a két modul szoros összefüggésben van a várossal, ahol a zenekarok tevékenykedtek.[2]



3. ábra. A zenekarok csoportosulása.

Mivel két fontos csoport van a hálózaton belül (ezek New Yorknak és Chicagónak felelnek meg), ezért a Kernighan-Lin algoritmus segítségével ezt két modulra osztottam és a

két csoport centralitását vizsgáltam. Az érdekesség kedvéért először megnéztem a csoportok közti centralitását, ami várhatóan nagyon kicsi, hiszen modul lévén, a csoport két tagja közti legrövidebb út ritkán visz át a másik csoport valamely módusán. Itt mivel két modullal beszélünk, ezért nem lehet nagyon értelmezni a csoportcentralitást, mert így nem lehet egyik modul se „fontosabb” része a hálózatnak. Tehát a centralitások számítása, ahogy a csoportok közti centralitása esetében is láttuk, annyi célt szolgál, hogy beláthatjuk, hogy bár alapvetően 4 modul van a hálózatban, a módusokat mégis jó közelítéssel két csoportba tudjuk sorolni (4).



4. ábra. A hálózat két csoportra osztva

Mivel a vizsgált adatok egyként kezelik az 1912 és 1940 közé eső időintervallumot, ezért nincs ezek alapján lehetőségünk a hálózat topológiai fázisátmeneteit tanulmányozni, tehát legfeljebb feltételezéseket lehet tenni. Mint az közismert, a jazz műfaj megjelenését a 20. század elejére datálják, tehát a hálózatunk minden idők jazz zenekarainak hálózatában egy viszonylag kezdetleges állapotot jelent. Nem lehetetlen feltételezés, hogy legelőször szubgráfokból állt a hálózat, majd lassan kialakult ez a kisvilág, amely egyre jobban növekedett és növekszik. Napjainkban az is elképzelhető, hogy a fokszámoszlás a skálafüggetlenség felé billen, bár a hálózat moduláris jellege minden bizonnyal ma is tetten érhető.

Napjaink jazz zenészeinek és jazz zenekarainak hálózatánál maradva érdemes azon elgondolkodni, hogy ebben hogy helyezkedik el a magyar jazz-közösség. Bár világszínvonalú zenészeink vannak, mégis minden kétséget kizárólag egy modult alkotnak a nagy hálózatban, ezért érdemes lenne a magyar jazz-hálózatot feltérképezni és ennek külső kapcsolatait vizsgálni, hogy láthassuk mekkora befolyása van a modulnak a háló egészére.

### 3. Sikereség a jazz-hálózatokban

Mint minden kreatív vetülettel rendelkező hálózatban, a jazz zenészek hálózatában is érdemes vizsgálni az innovációt, sikert befolyásoló tényezőket. A sikert globálisan definiálni nehéz lenne, itt szorítkozzunk a kiadott albumok sikerességére és ez által határozzuk meg az adott zenész szakmai sikereit. A kulcskérdés minden esetre az innováció, a folyamatos megújulás és a zenekar új hangjainak megszólaltatásában rejlik.

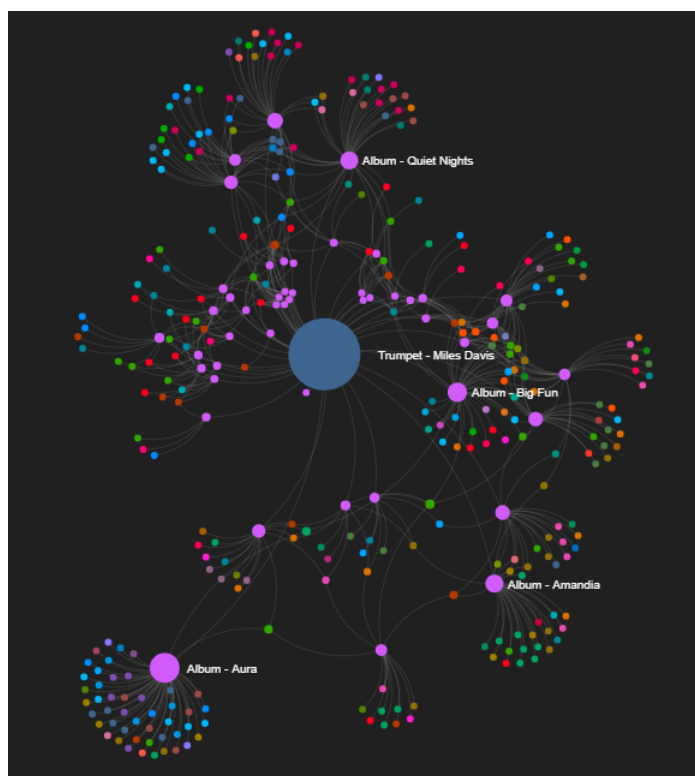
Az albumok sikerességének egyik fontos befolyásoló tényezője a tiltott triádok jelenléte [3]. Háromféle triádot különböztetünk meg egy hálózaton belül: a nyitott triád a 3 módus között 2 kapcsolattal rendelkezik melyek közül legalább egyik gyenge kapcsolat; a zárt triádokat alkotó módusok teljesen összekapcsolódnak tetszőlegesen gyenge vagy erős kapcsolattal; a tiltott triádokat pedig két él jellemzi, és mindkettő erős kölcsönhatást jelent. Tehát ebben az esetben a hármas két tagja addig soha nem zenélt együtt. Ezt a kapcsolatformát korábban Granovetter munkája után ritkának és jelentéktelennek tartották egy hálózat esetében. Vedres

2017-es cikkében azonban konkrétan a jazz zenészek hálózatában ismerteti ezek fontosságát az innováció szempontjából.

Tehát az ismertetett hármas esetében a központi módus jelenti a kulcsfigurát és rajta keresztül tud a két másik, addig egymásnak számára ismeretlen zenész kommunikálni, ezáltal egy újszerű hangot képesek megütni, ami egyértelműen az innovációhoz vezet és a tapasztalati tények azt mutatják, hogy ez a sikerességgel szoros kölcsönhatásban van. Mint tudjuk, a gyenge kapcsolatok stabilizálják a rendszereket, segítik az innovációt, de azt feltételezhetjük, hogy a tiltott triádoknak adott esetben akár ezeknél nagyobb szerepük is lehet.

Jó példát jelent Miles Davis munkássága, aki minden kétséget kizárólag az egyik legikonikusabb zenész a jazz történetében. Zenéjét karrierje elejétől a végéig a folyamatos megújulás jellemezte, időről időre újította zenekarát és a zenekarok felállásában több esetben is megfigyelhető a tiltott triádok jelenléte.

A jazz legendánál maradva megkísérelnék egy analógiát vonni a matematika és a jazz között, ami bár veszélyesen hangzik, de engedtessek meg hogy Miles Davis és Erdős Pál munkáját összehasonlítsam. Erdős a 20. század egyik legkiemelkedőbb matematikusa volt, a matematika sok területén publikált rengeteg társszerzővel. Az Erdős-számmal jellemezhetjük a kutatók publikációs hálózatának módusait, vagyis, hogy az adott tudós publikálást tekintve milyen messze van a hálózat központi módusától, Erdős Páltól. Hasonlóan definiálhatnánk a Davis-számot is, amely azt mutatná meg, hogy az adott zenész, zenésztársain keresztül milyen messze van Miles Davistól. Érdekes ezen elgondolkodni, hiszen ez az adott zenész sikerességével is kapcsolatban állhat. Kevés példa van olyan zenészekre, akik együtt játszottak a mesterrel, és nem mondhatók világhírűnek. Adott esetben ha Davis zenekarába bekerültek, akkor a következő lépcsőt a saját nevüket viselő formáció jelentette, ilyenek például Herbie Hancock, John Coltrane, de akár Kenny Garrett vagy Marcus Miller.



5. ábra. A Miles Davis hálózat. Középen található Miles, a lila pontok jelentik az albumokat, a hozzájuk kapcsolódó többi pont pedig az adott albumban szereplő zenészeket jelöli (ez nem nevezhető igazi hálózatnak, csak vizuális értéke van). Láthatóak az egyes Davis-számmal rendelkező módusai a jazz zenészek hálózatának.[4]

Ezzel el is érkeztünk egy újabb sikerességet befolyásoló tényezőhöz, ami a metorrendszer. Az elektronikus zenei előadók hálózatában a metorrendszer nagy mértékben befolyásolja az egyének szakmai előrelépését [5]. Ez minden bizonnyal igaz a jazz zenészekre is, ahogy azt láthattuk Miles Davis példájából is, ám míg az elektronikus zenében az elemzett adatok szerint a mentorált nem ér fel mesteréhez, a jazz zenészeknél nincs elég kvantitatív adat, hogy ezt felmérhessük és nem is feltétlenül valószínű, hogy ugyanerre jutnánk.

## 4. Konklúzió

Az elemzett jazz zenekarok hálózata egy erősen moduláris jelleggel rendelkező kisvilág, a csoportokat elsősorban a földrajzi elhelyezkedés befolyásolja. Fokszámeloszlását tekintve nem mondhatjuk skálafüggetlennek, exponenciális lecsengést mutat. Mindemellett, mivel ez a hálózat kialakulásának egy korai fázisa, azóta topológiája megváltozhatott, mára akár skálafüggetlen hálózattá is válhatott. A jazz világán belül definiált hálózatok több érdekes vonatkozásban is vizsgálhatók. A zenészek sikerességének két kulcsösszetevője a tiltott triádok jelenléte és a metorrendszer megvalósulása. Ezek mind még számos megválaszolatlan kérdést rejtenek magukban, és megértésük jelentősége túlmutat az adott hálózaton, segítségükkel más komplex rendszerek megértéséhez is közelebb kerülhetünk.

## Hivatkozások

- [1] *Jazz musicians network dataset*. KONECT, Sept. 2016. <http://konect.uni-koblenz.de/networks/arenas-jazz>
- [2] Gleiser, P., Danon, L. (2003). *Community Structure in Jazz*. Advances in Complex Systems (ACS). 06. 565-573.
- [3] Vedres, B. (2017). *Forbidden triads and creative success in jazz: the Miles Davis factor..* Appl Netw Sci 2, 31
- [4] *The Miles Davis Album Network*. [http://visual-baseball.com/gephi/jazz/miles\\_davis/](http://visual-baseball.com/gephi/jazz/miles_davis/)
- [5] Janosov, M., Musciotto, F., Battiston, F. et al. (2020). *Elites, communities and the limited benefits of mentorship in electronic music*. Sci Rep 10, 3136
- [6] Péter Csermely: *A rejtett hálózatok ereje*. Vince Kiadó 2004. [http://linkgroup.semmelweis.hu/weaklinks\\_HU.php](http://linkgroup.semmelweis.hu/weaklinks_HU.php)
- [7] Albert-László Barabási: *Network science*. <http://networksciencebook.com/>