

Árfeltárás és tanulás a német 5G aukciók során

Thomas Dimpfl*¹ és Alexander Reining^{1†}

Egyetem, Németország

November 17, 2020

Absztrakt

A frekvenciaárverésnek számos követelménynek kell megfelelnie az átlátható és hatékony eljárás biztosítása érdekében. A német Szövetségi Hálózati Ügynökség (Bundesnetzagentur) olyan konstrukciót választott, amely minden egyes forduló után minden sávban tájékoztatja a résztvevőket a legmagasabb ajánlatról, valamint az ajánlattevőre vonatkozó információkról. Értékeljük az árképzés hatékonyságát ebben a felállásban, hogy lássuk, milyen gyorsan válnak az árak informatívvá az aukció végső értékéről. Azt találjuk, hogy az árak már a kezdetektől fogva részben informatívak, ami arra enged következtetni, hogy a résztvevők gyorsan tudtak tanulni versenytársaik licitálási magatartásából, és igazolja az ügynökség azon döntését, hogy az árverést a jelenlegi formában valósítja meg.

Kulcsszavak: JEL: C58, D44, L96

* Megfelelő szerző. †Egyetem, Sigwartstr. 18, 72076 Németország; Telefon +49 70 71 71 29 76 417; Fax +49 70 71 71 29 50 13; E-mail cím: thomas.dimpfl@uni-tuebingen.de

1 Bevezetés

A legújabb távközlési szabvány, az 5G bevezetésével az adatátvitel sebessége új magasságokat ért el, amelyeket korábban lehetetlennek tartottunk. A távközlési vállalatok világszerte versenyeznek azért, hogy az elsők között legyenek, akik a legújabb technológiát kínálják ügyfeleiknek. Először azonban ezeknek a vállalatoknak meg kell szerezniük egy frekvenciaspektrumot, amelyet a kínált szolgáltatásaikhoz használhatnak. Míg egyes országok ezeket a frekvenciákat kiosztják a távközlési cégeknek, vagy közigazgatási meghallgatásokat (gyakran "szépségverseny" néven emlegetett versenyeket) tartanak, mint például Kína vagy Japán (Krempf, 2019), a legtöbb kormány árverésekre támaszkodik a spektrum nemzeti szolgáltatók közötti hatékony elosztásának elérése érdekében. Ezek a frekvenciaárverések jelentős bevételt képesek generálni: Az Egyesült Királyságban az UMTS-árverés bevétele 2000-ben az ország GDP-jének 2,5%-át tette ki (Felder, 2004). Hasonlóképpen, a német UMTS-árverés 99,37 milliárd német márka (nagyjából 50 milliárd euró) bevételt hozott. Németországban már régóta árverezik a spektrumjogokat, Európában elsőként Európában (1996Nett, 2019). Az új 5G technológia követelményeihez igazodva 2019-ben újabb árverést tartottak az új szabványhoz használt szükséges frekvenciák kiosztására. A német frekvenciaárverési konstrukciót már többször is felhasználták és továbbfejlesztették. Több szerző is igaznak és beváltnak nevezi, és arra a következtetésre jut, hogy a rendelkezésre álló spektrum hatékony elosztását biztosítja (például Cramton és Ockenfels, 2017; Nett, 2019). Ebben a cikkben azt tűztük ki célul, hogy elemezzük az árképzési folyamatot és a piaci szereplők tanulását az 5G aukció során. Ez lehetővé teszi számunkra az aukció hatékonyságának értékelését a piaci mikrostruktúra szempontjából.

Az árképzési folyamatok elemzése a piaci mikroszerkezet elemzésének középpontjában áll. Egy befolyásos korai tanulmány Walras (1954) munkája, aki leírja a *tatonnement* folyamatot, azt a tétova, lépésről lépésre történő eljárást, amelynek során a piaci szereplők megismerik az alapértéket, amely a végén derül ki. A pénzügyi piacokkal összefüggésben a tőzsdei aukciók állnak a középpontban Biais et al. (1999) munkája nyomán, akik a párizsi tőzsde nyitás előtti aukcióját elemzik. Dokumentálják, hogy a megbízások az aukció előrehaladtával egyre informatívabbá válnak, és hogy a tanulási ráta nő, ahogy a nyitás előtti aukció közeledik a végéhez. Biais és társai (1999) arra a következtetésre jutnak, hogy a nyitás előtti aukció információs hatékonysága magas, ami arra utal, hogy a piacok akkor is képesek hatékony eredményeket elérni, ha az ügyleteket nem hajtják végre azonnal. Hasonlóképpen Madhavan és Panchapagesan (2000), Comerton-Forde és Rydge (2006), Abad és Pascual (2010), Reboredo (2012) vagy Ibikunle (2015) (to

csak néhányat említve) azt vizsgálják, hogy az árverések hogyan segítik az árfeltárási folyamat javítását. Bapna et al. (2004) az ajánlattevőkkel foglalkozik, és azzal, hogy a viselkedésük ismerete hogyan segíthet az aukciók tervezésének javításában. Természetesen az aukciók nem korlátozódnak a tőzsdékre. Fontos szerepet játszanak az állatállomány, a művészet vagy a bor értékesítésében is, és az árképzést és a hatékonyságot ezekben az összefüggésekben is elemzik (lásd például Buccola, 1982; Ashenfelter és Graddy, 2003; Cardebat et al., 2017).

Elemzésünkben a Biais et al. (1999) által javasolt módszert alkalmazzuk, és minden egyes aukciós fordulóra úgynevezett *torzításmentességi regressziókat* becsülünk. Míg Biais et al. (1999) diszkrét időrácsot kellett bevezetnie, hogy a nyitási időszak alatti folyamatos megbízásbeadásnak és -lemondásnak megfeleljen, a jelenlegi alkalmazásban a fordulók természetesen definiáltak. Míg a kereskedők a vételi és eladási megbízásokon keresztül adják meg az értékelésüket, amelyeket kereszteznek, hogy egy előzetes árat kapjanak, itt a hangsúly egy angol (emelkedő) szimultán első áras aukción van. A Biais et al. (1999) által alkalmazott megközelítéshez hasonlóan egy zaj- és egy tanulási hipotézist is tesztelünk. A zajhipotézis szerint a benyújtott ajánlatok nem tartalmazznak információt a spektrum valódi értékéről, míg a tanulási hipotézis szerint az ajánlatok teljes mértékben informatívak. Azt találtuk, hogy az első 81 licitálási fordulóban a zajhipotézis 5%-os szignifikanciaszinten nem utasítható el. A spektrumaukción vége felé a tanulási hipotézis nem utasítható el. A kettő között az ajánlatok részben informatívak. Az informativitás szintje a 100. forduló és a legtöbb új ajánlatot benyújtó 187 forduló között nő a leggyorsabban. Ez összhangban van az elmélettel, mivel a résztvevők idővel megismerik az egyes frekvenciák valódi értékét, és az aukció előrehaladtával az ajánlatok egyre informatívabbá válnak. Továbbá a nyitó ajánlatok nem lehetnek informatívak, mivel a négy vállalat igyekszik a lehető legolcsóbban frekvenciákat vásárolni, és a nyitó szakaszban nem tesz a feltétlenül szükségesnél többet, így elrejtve a frekvenciák valódi értékét. Ezt a feltételezést támasztja alá a regressziók négyzetes középhibájának (RMSE) alakulása. Az aukció kezdetén az RMSE viszonylag magas, és majdnem megegyezik a teljes hozam varianciájával. A 200 forduló után azonban folyamatosan csökken, a legvégén pedig meredeken esik, ami tovább erősíti az aukció során bekövetkező tanulás hipotézisét.

A cikk további része a következőképpen épül fel. A 2. szakasz tárgyalja a német frekvenciaárverés kialakítását és hatékonyságát, és bemutatja a négy aukciós résztvevőt, valamint a különböző frekvenciasávokat és azok jelentőségét az új kommunikációs szabvány, az 5G szempontjából. Továbbá bemutatásra kerül a két alternatív hipotézis. A szakasz bemutatja a Bundesnetzagen-ből származó licitálási adatokat.

tur és néhány leíró statisztika. A 4. szakasz tartalmazza az árfeltárási folyamat ökonometriai elemzését, valamint a robusztussági ellenőrzéseket, míg a szakasz a következtetéseket tartalmazza.

2 Aukció részletei és hipotézisek

2.1 Aukció tervezés

A frekvenciaárveréseket először Ronald Coase javasolta 1959-ben, amikor a műsorszolgáltatóknak az FCC által épp most kiosztott frekvenciákból származó óriási nyereségével szembeülve azzal érvelt, hogy "a nyilvánvaló kiút [...] az, hogy a frekvenciákat használni kívánók licitáljanak rájuk" (Coase, 23-24. o.1959,.). Egészen addig, amíg a frekvenciák1994, kiosztása adminisztratív meghallgatásokat követően történt, amelyeket szépségversenyeknek is neveznek. A kiosztásnak ez a módja azzal a jelentős hátránnyal jár, hogy az értékes spektrumot ingyen osztják szét. Emellett hiányzik az átláthatóság és általában lassú folyamat (lásd Cramton, 2001; Welin, 2006).

A német 5G-árverést egyidejűleg felmenő rendszerű, több sávú aukciónak tervezték, fizetős struktúrával. Ez azt jelenti, hogy a négy résztvevő egyszerre adhatott be ajánlatot az összes frekvenciablokkra⁴¹, és szabadon mozoghattak a blokkok vagy akár a frekvenciasávok között, amíg érvényes ajánlatot tettek. Az árverés akkor ért véget, amikor egy fordulóban nem érkezett több érvényes ajánlat. A mindenkor nyerteseknek ekkor azt az árat kellett kifizetniük, amelyet korábban a frekvenciablokkok elnyeréséért licitáltak. A minimális növekmény kezdetben a legmagasabb ajánlat 10%-a volt, majd az árverés előrehaladtával 5%-ra és 2%-ra csökkentették, hogy az árlépések ésszerűek maradjanak.

Az árverési forma megválasztása jelentős hatással lehet a végső elosztás hatékonyságára. Különösen érzékeny formátum a zártkörű, első áras árverés. Ennél az aukciótípusnál az aukció résztvevői számára rendelkezésre álló információk mennyisége jelentősen csökken. Ezért a résztvevők nem ismerik riváisaik értékelését és ajánlatait, hanem ajánlatuk benyújtása előtt találgatniuk kell. Ez a bizonytalanság jelentős győztes átkához vezethet, ha az egyik versenytárs sokkal magasabb ajánlatot tesz, mint a többiek, és így alacsonyabb áron is elnyerhette volna az engedélyt. Ez történt a korábbi árveréseken, például Brazíliában, ahol a Bell South egymilliárd USD-vel többet fizetett egy licencért, mint amennyit a következő legmagasabb ajánlatot tevő ajánlattevő hajlandó volt fizetni (GSM Association and Coleago Consulting, 2014). Az egyidejűleg emelkedő első áras árverés jelenlegi német konstrukciójának fő előnye, hogy az ajánlatok által közvetített többletinformációknak köszönhetően csökken a győztes átka.

a versenytársak által benyújtott (McMillan, 1994). Cramton (1998, 755-756. o.) a zárt licitú és a felmenő árverések összehasonlítása után arra a következtetésre jut, hogy a felmenő árverések jobban teljesítenek az árfeltárás szempontjából. Ezenfelül a felmenő árverés megakadályozza a ragadozó licitálási stratégiákat, amelyeket a múltban a szekvenciális frekvenciaárveréseken megfigyeltek. Ezért a Bundesnetzagentur olyan aukciós formátumot választott, amely javítja az árfeltárást, és elméletileg minimalizálja a hálózatüzemeltetők túl magas licitálásának kockázatát, ami negatívan befolyásolhatja az 5G hálózat későbbi telepítését.

Ha csak bizonyos frekvenciablokkokat értékesítenek, előfordulhat, hogy nem valósul meg a hatékony frekvenciaelosztás. Néhány korábbi frekvenciaárverésen az árverező vagy egy adott frekvenciasávra vonatkozó bizonyos mennyiségű frekvenciaengedélyt adott el, vagy - ha egyes blokkok voltak eladhatók - konkrét frekvenciablokkokat árverezett el. Mindkettő árháborúhoz vagy felfaló licitáláshoz és a spektrum potenciálisan nem hatékony elosztásához vezethet. A széttöredezett spektrumból eredő technológiai hatékonysági hiányosságok miatt a hálózatüzemeltetők számára alapvető fontosságú, hogy egybefüggő spektrummal rendelkezzenek. Ha egy hálózatüzemeltető szenvedne attól, hogy egy frekvenciasávban nem kapna szomszédos frekvenciákat, a sáv szélessége súlyosan csökkenne, ami korlátozná a letöltési sebességet és a hálózati kapacitásokat (Kwon et al., 2017). A Bundesnetzagentur ezért úgy döntött, hogy a 41 egyedi frekvenciablokk nagy részét absztrakt módon értékesíti a négy résztvevőnek, kivéve két konkrét tételt a 3,6 GHz-es sávban. Másképpen fogalmazva, az adott frekvenciasávban lévő blokkok pontos elhelyezkedéséről az árverés vége előtt nem született döntés. Ehelyett a vállalatok egy bizonyos mennyiségű spektrumra licitálhattak. Később a BNA a konkrét frekvenciákat kiosztotta a sikeres pályázóknak, biztosítva, hogy minden versenytársnak egybefüggő spektrumot adjon.

Egy másik elfogadott irányelv az alapvető minimális mennyiségek meghatározása volt, amelyeket a résztvevők bizalmasan közölhettek a BNA-val. Amennyiben egy vállalat nem tudta ezt a mennyiséget biztosítani az árverés során, nem kellett fizetnie a blokkjaiért, de nem is kaphatott frekvenciát. Ehelyett a BNA úgy tervezte, hogy ezeket a blokkokat egy második fordulóban árverésre bocsátja az első árverés nyerteseinek (BNA, 2018). Így csak a hatékony hálózatüzemeltetők szerezhetnék spektrumot és telepíthetnék 5G hálózatokat. Ezenkívül ez biztonsági hálóként működött a potenciális belépők számára, ami vonzóbbá tette az árverésen való részvételt.

2.2 Aukció résztvevői

2019A frekvenciaárverésen négy vállalat vett részt: A Vodafone, a Deutsche Telekom, a Telefónica Deutschland (ismertebb nevén O_2) és a United Internet részét képező Drillisch Netz AG (a későbbiekben 1&1 néven is ismertebb). Az árverés előtt a Vodafone, a Deutsche Telekom és a Telefónica voltak a német távközlési ágazat meghatározó vállalatai. A már működő hálózatok előnyeiket élvezik, és döntően nagyobb pénzügyi erővel rendelkeznek, mint az új belépő 1&1.¹ A 2018. piacon egyenlően oszlott meg közöttük a piaci részesedésük, megközelítőleg 33%-os volt. A Telefónica a nagyobb versenytársával, az E-Plus Mobilfunk GmbH-val való 2014. egyesüléssel több mint kétszeresére, 37,4%-ra növelte piaci részesedését. A német mobilkommunikációs piac tehát oligopólium volt három inkumbens céggel, amíg az 1&1 úgy nem döntött, hogy belép az 5G-szolgáltatók csoportjába. A vállalat eddig az O_2 és a Vodafone hálózatait használta, hogy mobilszerződéseket kínáljon ügyfeleinek, és így virtuális mobilhálózat-üzemeltetőként lép fel.

2.3 Frekvenciasávok és az 5G technológia

A BNA úgy döntött, hogy az 5G árverésnek többsávú aukciónak kell lennie, amelyen két különböző frekvenciasáv spektrumát kell értékesíteni. Az első sáv a 2 GHz-es sáv volt, amely a 2000-ben először értékesített UMTS-frekvenciáknak ad otthont. Ez -1,920 MHz-1,980 és - 2,110MHz-2,170 között mozog, és tizenkét, egyenként x2 5 MHz-es blokkban került értékesítésre. Ezt az úgynevezett párosított spektrumot olyan technológiák támogatására használják, amelyek frekvenciaosztásos duplexet (FDD) használnak, ami azt jelenti, hogy az eszközök különböző frekvenciákat használnak a fel- és lefelé irányuló kapcsolathoz. Ezért lehetővé teszik, hogy a mobileszközök egyszerre küldjenek és fogadjanak információkat anélkül, hogy interferenciát okoznának. Ez azért fontos, hogy a rádiójelek ne torzuljanak, és hatékony mobilszolgáltatást biztosítsanak. A 2 GHz-es frekvenciák kisebb hatótávolsággal rendelkeznek, mint a szélesebb területek ellátására használt Sub-1 GHz-es frekvenciák, de cserébe gyorsabb letöltési sebességet kínálnak. Bár Németországban még mindig használják őket a 3G-szolgáltatások nyújtására, ezt a szabványt a hálózatüzemeltetők az elkövetkező években fokozatosan kivezetik, hogy helyet adjanak az LTE és az 5G alkalmazásoknak. A Telefónica például egy nemrégiben kiadott stratégiai frissítés szerint 2022 végéig le kívánja állítani 3G-hálózatát (Telefónica Germany, 2019b).

A második frekvenciasáv, amelyet árverésre bocsátottak, a 3,6 GHz-es sáv volt, amely MHz-től 3,400 MHz-ig 3,800 terjed, noha csak MHz-ek 300 voltak eladóak. A

¹A Telekom EBITDA-ja milliárd 21,8 euró volt (2018 Deutsche Telekom, 2019), szemben az 1&1 722 milliójával (1&1 Drillisch, 2019).

a 3700 és 3800 MHz közötti frekvenciákat az egyetemi hálózatok számára tartják fenn, amelyeket gyárakban, cégek telephelyein és egyetemeken kell telepíteni. Ez az 5G három úttörő sávjának egyike az Európai Unióban, és még gyorsabb sebességet és nagyobb kapacitást ígér, mint a GHz-es2 sáv. A sávot x1 10 MHz-es blokkokban²⁸ és egy 1 x 20 MHz-es blokkban értékesítették. Ezek a frekvenciák nincsenek párosítva. Ezért az üzemeltetők nem használhatják az FDD-t a szolgáltatások nyújtására. A régebbi szabványok az időosztásos duplexelést (TDD) használták a nem párosított frekvenciák esetében. Ez azt jelenti, hogy egy antenna vagy küldi vagy fogadja az információt, de a két üzemmód között elég gyorsan váltakozik, hogy a telefonhívások ne zavarják meg. Ezt a technológiát először valószínűleg a 3,6 GHz-es frekvenciákon fogják használni. Mivel azonban a tervek szerint az 5G hálózatokban fogják alkalmazni, talán még arra is képesek lesznek, hogy teljes duplexben működjenek, ami egy új technológia, amely lehetővé teszi az adatok egyidejű küldését és fogadását. Ez drasztikusan megnöveli a hálózat által feldolgozható információmennyiséget, mivel a frekvenciák hatékonyabban használhatók az 5G keretében (Mahmood et al., 2017). Ennek a frekvenciasávnak azonban hátránya a csökkentett hatótávolság, ami azt jelenti, hogy lényegesen több bázisállomásra van szükség a frekvenciák következetes működtetéséhez. A 3,6 GHz-es 5G-vel való országos ellátáshoz Németország egész területén mindössze egy kilométeres távolságban kellene új rádióállomásokat építeni, ami egyszerűen nem reális. Ezért az 5G-t nemcsak GHz-es 3.6 és GHz-es2, hanem Sub-1 GHz-es frekvenciákon is el kell majd látni, ha az egész országot el akarjuk látni a távközlési technológia következő generációjával (GSM Association, 2019). Az árverés előtt arra lehetett számítani, hogy a GHz-es3.6 sáv lesz a jövedelmezőbb és érdekesebb a hálózatüzemeltetők számára, mivel ez a sáv nagyobb kapacitást biztosít, és mivel a három inkumbens szolgáltató már rendelkezik alacsonyabb frekvenciákon spektrummal, hogy nagyobb területeket fedjen le, még akkor is, ha nincs meg a gyors sebességek biztosításához szükséges sávszélesség.

2.4 Hipotézisek: Tanulnak-e a résztvevők az aukción?

Amint azt az előző alfejezetekben bemutattuk, a 2019. évi 5G-árverésen a licitálás kom- petitív volt. A négy vállalat bizonyos ajánlattételi stratégiákat követett annak érdekében, hogy biztosítsa, hogy megkapják a szükséges spektrumrészesedést ahhoz, hogy versenyképesek maradjanak (vagy váljanak). Az árverés során felfedték az általuk megpályázott frekvenciablokkok valódi értékelését. Azonban nem minden ajánlat egyformán informatív. Ehelyett inkább egy látható tanulási folyamatot vártunk. Ennek fényében a következő két alternatív hipotézist fogalmazzuk meg, amelyeket kiigazítottunk.

Biais et al. (1999) alapján, és leírja a két szélsőséges esetet, amikor az ajánlatok csak zajosak, illetve amikor az ajánlatok teljesen informatívak.

2.4.1 A zajhipotézis

A zajhipotézis szerint a benyújtott ajánlatok nem informatívak a spektrum valódi értékéről. Ehelyett a magyarázó erejük nem nagyobb, mint a piaci előzetes várakozásoké:

$$H_0 : P_t = E[v|I_0] + E_t, \quad (1)$$

ahol P_t az adott frekvenciablokkra benyújtott legmagasabb ajánlatot jelenti, míg $E[v|I_0]$ egy frekvenciablokk v alapértékének várakozását jelöli, ha $t = 0$ időpontban, azaz az árverés kezdete előtt csak az I nyilvános információ áll rendelkezésre.² A zajhipotézis szerint az ajánlatok nem mások, mint ez az előzetes várakozás és némi zaj, amelyet E -vel jelölünk, és amely feltételezhetően független a v alapértéktől.

A zajhipotézis elméleti motivációja az árverés résztvevőinek lehetséges viselkedéséből ered. Ezek a résztvevők ösztönözve lennének arra, hogy alacsonyan kezdjenek el licitálni, és az aukció elején elrejtsek valódi értékelésüket, hogy megpróbáljanak alacsony árú egyensúlyt elérni, ahogyan azt Grimm et al. (2003) leírja. Mivel egy új hálózat kiépítése költséges vállalkozás, az ajánlattevők érdeke az lenne, hogy a frekvenciakiosztásban korán megállapodjanak. Ez alacsonyan tartaná az árakat és maximalizálná a vállalatok nyereségét. Ezért az árverés elején zajos ajánlatokat tehetnének, hogy csökkentsék a versenytársak esetlegesen az értékelésükről szerzett információit. Ugyanakkor ösztönözve lennének arra, hogy jelezzék a megcélzott sáv szélességüket és a spektrum kiosztására vonatkozó preferenciáikat, hogy ilyen alacsony árú egyensúlyt érjenek el. Csak akkor kezdenének az értékelésekhez közelebbi ajánlatokat tenni, ha az alacsony árú egyensúlyt nem lehetne elérni, mert a cégek nem tudnak megállapodni a frekvencia alacsonyabb áron történő kiosztásáról. Ekkor a cégeknek versenyeztetés útján kellene megállapodniuk a spektrum elosztásáról.

Ez azt jelenti, hogy a korai ajánlatok várhatóan csak a spektrum valódi értékére vonatkozó magyarázó erejüket tekintve lesznek zajosak, mivel a vállalatok megpróbálnak

²Az a tény, hogy itt csak a legmagasabb ajánlatot vesszük figyelembe, hasonló a Biais et al. (1999) által alkalmazott beállításhoz, ahol csak a teljesíthető megbízásokat használják az előzetes ár kiszámításához. A könyvben mélyebben elhelyezkedő, de nem megfelelő ajánlatok az 5G aukcióban az alacsonyabb ajánlatokhoz hasonlítanak, és szintén nem veszik figyelembe őket az előzetes végső ár meghatározásakor.

hogy eleinte elrejtsek az információikat. A résztvevők által megpályázott spektrum mennyisége elméletileg már az első fordulótól kezdve informatív lehet.

2.4.2 A tanulási hipotézis

A zajhipotézis alternatívája a tanulási hipotézis. E hipotézis szerint a négy vállalat benyújtott ajánlatai teljes mértékben informatívak. Az ajánlatok a t . aukciós fordulóban az összes nyilvános információ ismeretében a várható alapértéket tükrözik:

$$H_1 : P_{t=} E[v|I_t] \quad](2)$$

Ennek versenyipiaci licitálás esetén akkor kellene így lennie, ha az ár konvergál az eszköz értékére vonatkozó feltételes várakozáshoz. Az 5G árverés környezetében az ajánlatoknak az árverés vége felé nagymértékben informatívvá kell válniuk. Természetesen az aukció akkor érne véget, amikor a résztvevők valós értékbecslései elérik a spektrumblokkokat. Ezért az utolsó fordulónak már meglehetősen világos képet kellene festeniük a végeredményről és az elosztásról. Ezt az egyenletet Biais et al. (1999) a tőzsdei kereskedés során felmerülő szokásos feltételes várakozások korlátozásával összefüggésben használja. Az itt vizsgált felmenő árverésre is alkalmazható. Amint azt korábban tárgyaltuk, a spektrumaukciók a magánérték- és a közös értékű aukciós modellek között helyezkednek el (McMillan, 1994). Ez azt jelenti, hogy a négy résztvevő között bizonyos fokú információs aszimmetria, valamint a spektrumblokkok eltérő értékelései is fennállnak. Versenykörnyezetben az ajánlattevők a versenytársak által benyújtott ajánlatok megfigyeléséből értesülhetnek a különböző frekvenciák valódi értékéről. Az idő múlásával az ajánlataiknak ezért egyre több információt kell tartalmazniuk, és közelíteniük kell a spektrum közös értékéhez, ami viszont tanulási folyamatot jelent a négy résztvevő számára.

Nem valószínű azonban, hogy az ajánlatok informativitása egy szempillantás alatt ugrik meg a zajosból a teljesen informatívba. Inkább arra számítanánk, hogy egy ideig részlegesen informatív árak alakulnak ki, amelyek informativitása az aukció előrehaladtával növekszik.

3 Az adatok

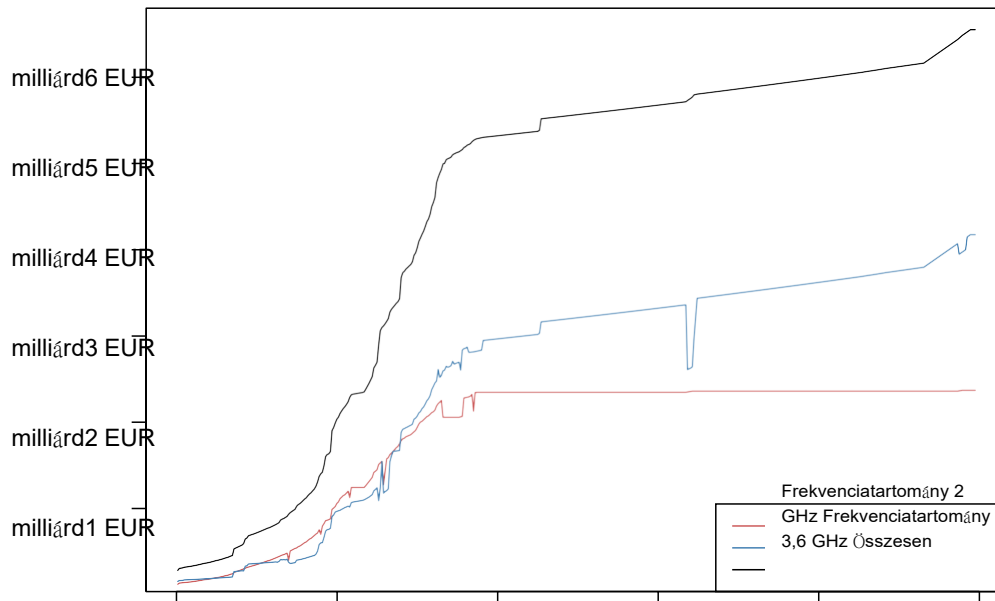
A pályázati adatok nyilvánosan elérhetőek a BNA³ honlapján. Minden fordulóban 497 tartalmazza az összes frekvenciablokk 41 legmagasabb ajánlatát, valamint a megfelelő ajánlattevőt. Ezek ugyanazok az információk, amelyeket az árverés során az ajánlattevőknek is bemutattak (lásd a 2.1. szakaszt). Az adatokat két adathalmazra osztjuk. Az első tartalmazza az összes magas ajánlatot minden frekvenciára minden fordulóban, valamint az ajánlatok teljes összegét. Ez 20 576 megfigyelést tartalmaz, mivel 298 hiányzó értéket tartalmaz az aukció során visszavont ajánlatok miatt. A második adatkészlet a megfelelő ajánlattevőket tartalmazza 20 079 megfigyeléssel. Itt is 298 hiányzó érték van.

A nyers ajánlattételi adatokat figyelve különbséget tehetünk a két különböző frekvenciasávra vonatkozó egyéni kereslet és a teljes kereslet között. Amint az 1. ábrán látható, a különböző frekvenciasávokra tett ajánlatok összértékének növekedését kezdetben mindkét frekvenciasáv iránti kereslet egyformán hajtotta. A 187 forduló után azonban a négy vállalat rendezte a 2 GHz-es sávban lévő UMTS-frekvenciákkal kapcsolatos vitáit, és a verseny a 3,6 GHz-es sávra koncentráldott. Ez összhangban van várakozásainkkal, mivel ez a sáv fontos a gyors 5G-szolgáltatások kiépítése szempontjából. A 3,6 GHz-es frekvenciákért folytatott verseny összességében több mint 1,4 milliárd euróval növelte az árverés bevételét. Az egyes frekvenciák összértékének kisebb horpadása olyan fordulókat tükröz, amelyekben egyes résztvevők úgy döntöttek, hogy visszaveszik a magas ajánlatukat. Ebben az esetben az egyes frekvenciasávok értéke csökkent. Mindazonáltal a cégeknek továbbra is ki kellett fizetniük az eredeti legmagasabb ajánlatukat, ha egy frekvenciát a visszavétel után sem tudtak eladni, így az árverés összeredménye nem változott.

Mint már említettük, a minimális növekmény az aukció későbbi szakaszaiban az aktuális legmagasabb ajánlat mindössze 2%-ának felelt meg. Mivel azonban az ajánlattevők az árverés későbbi fordulóiban általában csak egyetlen frekvenciablokkra emelték meg ajánlatukat, és az akkori legmagasabb ajánlatot csak nagyjából 2,6 millió euróval haladták meg, a Bundesnetzagentur úgy döntött, hogy a minimális növekményt 13 millió euróra emeli (Scheuer, 2019). Ennek célja az volt, hogy növelje az árverés sebességét, mivel az árak mostantól lényegesen gyorsabban emelkedtek volna az árverés lezárásához. Az 1. ábrán ezt a döntést az árverési bevételi görbe meredekségének növekedése mutatja az

árverés legvégére.

³Az adatok a https://www.bundesnetzagentur.de/_tools/FrequenzXml/Auktion2019_XML/XXX.html oldalon találhatóak, ahol az XXX 001-től 497-ig terjed, és az aukció minden egyes fordulóját lefedi.



0100200300400500

Forduló

ábra: Az ajánlatok összegének alakulása

A grafikon a benyújtott ajánlatok összegének alakulását mutatja az egész aukcióra és az egyes frekvenciasávokra vonatkozóan. A visszavont magas ajánlatokat továbbra is ki kellett fizetni, ezért az egyes frekvenciasávok ajánlati összegének csökkenése nem befolyásolja az árverés teljes bevételét.

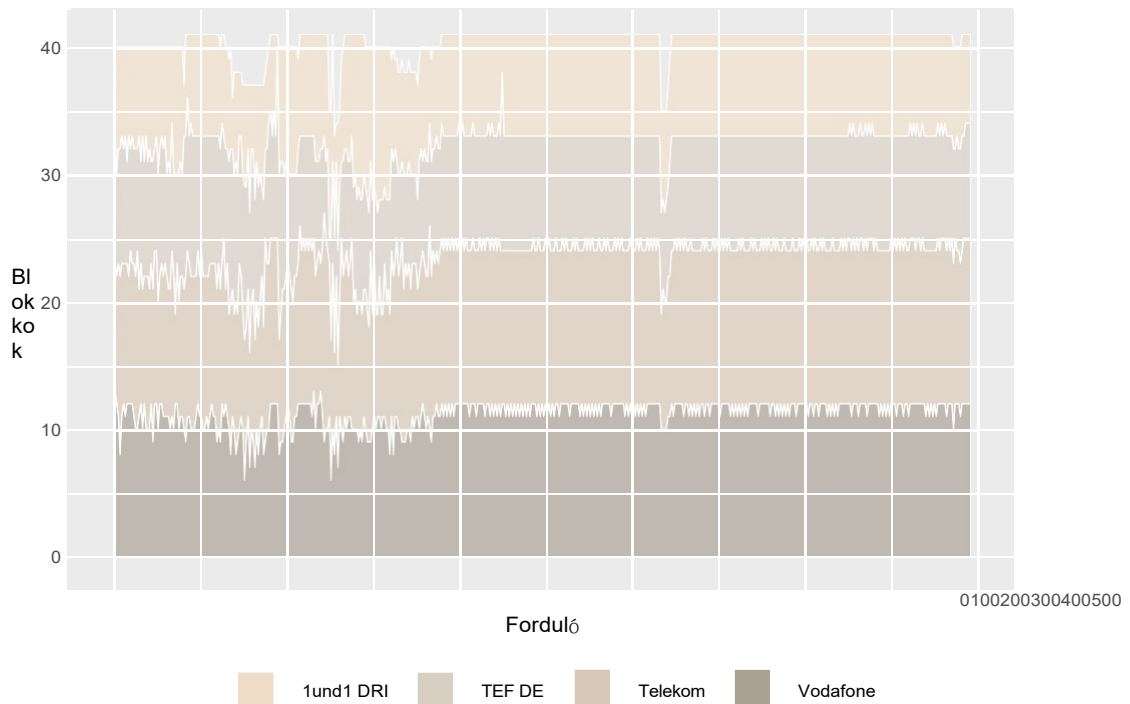
Nem szabad azonban elfelejteni, hogy bár a 3,6 GHz-es sáv összességében drágább volt, a rendelkezésre álló sáv szélesség is sokkal nagyobb volt, mint a 2 GHz-es sávban. Ez azt eredményezte, hogy a korábbi UMTS blokkok átlagára magasabb, millió198 euró volt, míg a 3,6 GHz-es blokkokat átlagosan 144 millió euróért adták el. Ez azzal is összefügg, hogy a már meglévő szolgáltatók már működtettek hálózatokat a 2 GHz-en, és nem voltak hajlandók a jövőben lemondani a már meglévő infrastruktúrájukról (az ezekre a frekvenciákra vonatkozó jelenlegi engedélyek 2021-ben és 2026-ban járnak le). Ezért fontos hangsúlyozni, hogy bár a német kormány számára a 3,6 GHz-es sáv volt a nagyobb bevételi forrás, a 2 GHz-es sáv sem volt lényegtelen ezen árverés szempontjából. A 2 GHz-es sávot a jövőben valószínűleg az LTE és az 5G ellátására is használják majd az országban, mivel a két technológia várhatóan még évekig egymás mellett fog létezni.

Érdekes tény, hogy a legnagyobb spektrumblokkot, a GHz-es3.6 sávban a konkrét x1 MHz-es20 blokkot mindössze egymillió44.3 euróért adták el a Vodafone-nak, ami messze a legalacsonyabb ár, amit ezen az árverésen elértek. Ennek oka az alacsonyabb szomszédos frekvenciákon működő rádiójelek esetleges interferenciája. Ezeket a frekvenciákat katonai célokra használják, és ezért le kell árnyékolni őket a

egyéb hatások. Ez azt jelenti, hogy a -3,400 MHz-en 3,420 működő hálózatok nem használhatják ki a teljes kapacitást, és a katonai rádióberendezésekkel szemben tizenkét kilométeres biztonsági sugarat kell fenntartaniuk (BNA, 2018, 46. o.). Ezáltal az árverés legnagyobb blokkja kevésbé lett értékes, mint azt első pillantásra gondolnánk. A frekvenciasáv felső végén lévő másik konkrét blokk is koordinációt igényel a szomszédos frekvenciákkal, amelyeket egyes iparágak egyetemi hálózatai fognak használni. Ez azonban csak 10 MHz spektrumot érint, és valószínűleg nem lesz olyan hatása, mint a frekvenciasáv alsó végére vonatkozó korlátozásoknak.

A második adatkészlet elemzése betekintést nyújt abba, hogy az ajánlattevők milyen gyakran tettek magas ajánlatot bizonyos gyakoriságok esetén. A két konkrét blokk az egyetlen, amelyre nem mind a négy résztvevő vállalat tett magas ajánlatot. A Vodafone soha nem tett magas ajánlatot a -3,690 MHz-es 3,700 betontömbre, valószínűleg azért, mert a másik, 3400-33420 MHz-es betontömbre összpontosított, és a cégek csak az egyik betontömböt szerezhették meg az árverésen. A Telekom a magas betontömbre tett magas 465 ajánlatot és végül nyert, míg a Vodafone 352 alkalommal tette a legmagasabb ajánlatot az alacsony betontömbre, amelyet meg is szerzett. Így mindkét hálózatüzemeltető pontosan tudta, hogy az árverés után mely frekvenciák állnak majd a rendelkezésére, mivel a BNA egybefüggő spektrumot ítelt oda. Ez azt is jelentette, hogy megúszták a jogi problémákat, mivel a 3500-3600 MHz közötti frekvenciák néhány helyi üzemeltetője jogi lépésekkel fenyegetőzött az új spektrumkiosztás ellen.

Az összes többi frekvencia esetében mind a négy résztvevő komoly versenyt folytatott egymással, amint azt a 2. ábra mutatja. A magas ajánlattevők szerkezete kezdetben meglehetősen változékony volt: kezdetben a legtöbb frekvencia esetében a magas ajánlattevők gyakran változtak, ahogyan az is, hogy egy-egy cég hány blokkra tett magas ajánlatot. A 125. fordulóban a legmagasabb értéken a 41 blokkból 17 blokkban változott az aktuális legmagasabb ajánlattevő. Miután azonban a 2 GHz-es sávval kapcsolatos vita a 187. fordulóban szinte teljesen rendeződött, ez az ingadozás is lehűlt, mivel a verseny a 3,6 GHz-es sávban csak egy blokkra koncentrált: a 187. forduló után a 2 GHz-es sávban összesen csak hét alkalommal cserélődtek az ajánlattevők. A magasabb sávban a legmagasabb ajánlattevő szinte minden fordulóban csak egy blokkot cserélt, egészen a legvégéig, a 318. fordulóig. 497. Voltak azonban olyan fordulók, amelyekben nagyobb volt a mozgás, különösen a 318. fordulóban, amikor a Telekom több blokkot is feladott, majd később újra megszerezte azokat. Más esetekben a Telefonica megtámadta az 1&1-et, és a 325. fordulóban rövid ideig tartó változásokat okozott a licitstruktúrában, de nem tudta tartósan túllicitálni versenytársát, és a következő fordulóban visszavette a blokkokat az 1&1-nek. Összességében az egyes vállalatok blokkjainak mennyisége meglehetősen jól megfelel a várakozásoknak. A Telekom és a Vodafone 13, illetve 12 blokkra licitált sikeresen. Az elnyert spektrumok összmenyisége azonban mindkét vállalat esetében azonos volt, MHz130, mivel



2. ábra: Gyakorisági blokkok vállalatonként

Ez a grafikon a 41 frekvenciablokk négy ajánlattevő vállalat közötti megoszlásának alakulását mutatja az aukciós 497 fordulók során.

A Vodafone nyerte az x1 MHz-es 20 blokkra kiírt pályázatot. A Telefonica kilenc blokkot tudott megszerezni összesen 90 MHz-ért, míg az 1&1 hét blokkot nyert 70 MHz-ért. A Telefonica és a többi inkumbens szolgáltató közötti különbség első pillantásra meglepő lehet. Ez a megfigyelés azonban racionalizálható, ha figyelembe vesszük azt a tényt, hogy mind a Vodafone, mind a Telekom fejlettebb hálózatokat üzemeltet, és ügyfeleik magasabb elvárásainak kell megfelelniük. A Telefonica a 2014-es fúzió után megörökölte az E-Plus összes ügyfelét - olyan ügyfeleket, akik gyakran kevesebbet fizettek, mint amennyit a Vodafone vagy a Telekom szerződéséiért fizetnének. Ezt tükrözi az is, hogy a vállalat havi ARPU-ja⁴ mindössze EUR, szemben 10,2 a Telekom EUR-jával és a 12 Vodafone EUR-jával, mint 13 a 2019. Cserébe a szolgáltatásuk gyakran nem olyan jó, és az LTE-vel való ellátásuk jóval alacsonyabb, mint a másik két hálózaté: Míg a Telekom és a Vodafone a háztartások 98%-át, illetve 96%-át éri el, addig a Telefonica csak a lakosság mintegy 90%-át (Telefonica Germany, 2019a). Emellett a Telefonica érte el a három inkumbens szolgáltató közül a legalacsonyabb bevételt, így valószínűleg nem engedhette meg magának, hogy olyan magas ajánlatot tegyen, mint a Vodafone és a Telekom. Valójában a három inkumbens szolgáltató végső egyéni kiadásai a Telekom esetében 2,2 milliárd eurót, a Vodafone esetében 1,88 milliárd eurót, a Telefonica esetében pedig 1,4 milliárd eurót tettek ki.

⁴ARPU = Átlagos hozam egy felhasználóra vetítve

Ahhoz, hogy az eredményeket össze lehessen hasonlítani a piaci várakozásokkal, és a szakasz további elemzéséhez előzetes⁴, várakozásokra van szükség. A piaci értékelésen alapuló pontos számok magabiztosak és nem hozhatók nyilvánosságra. A Wirtschaftswoche (2019) azonban a Berenberg magánbank elemzésére hivatkozik, és az árverés becsült összbevételét nagyjából 3 milliárd euróra becsüli. Robusztussági ellenőrzésként ennek az összegnek az összes sávban való egyenlő elosztásával végezzük el az elemzést.

4 Árfelfedezés

Amint az előző szakaszban, különösen az ábrán látható, a frekvenciablokkok 411, árai az idő múlásával lassan alakultak. Amikor a cégek licitálni kezdtek, az árak nem voltak sokkal magasabbak a minimális ajánlatnál, de végül 497 forduló után 62-szer magasabbak lettek, mivel a négy cég megismerte a riválisok szándékait és a spektrummal kapcsolatos értékítéleteket. Az árfeltárás folyamatát ebben a szakaszban úgy vizsgáljuk, hogy minden aukciós fordulóra egy-egy torzításmentes regressziót végzünk. Végül egy tanulási mintát tárunk fel, amely az informáltság folyamatos növekedését mutatja. A pontos becslési eljárást a következőkben ismertetjük.

4.1 Becslés

A becslés módja a Biais et al. (1999) által végzett munkán alapul, és abból áll, hogy minden egyes aukciós fordulóra külön regressziót végeznek, és az egyes regressziók eredményeit összehasonlítják, az egyes becsléseket pedig egy grafikonon összekötik a folyamat szemléltetése érdekében. Először azonban szükség van egy olyan regressziós egyenletre, amely megfelel az előzetesen meghatározott két hipotézisnek. Mivel az árak eloszlása nem stacionárius, minden egyes időpontra kell egy becslést készíteni. Tőzsdei környezetben ez azt jelentené, hogy egy konkrétan meghatározott időintervallumban (például egy perc) az összes vételi és eladási megbízást össze kell kötni. Esetünkben az ajánlatokat 497 diszkrét lépésben adták le. Ezért minden fordulóra lefuttathatunk egy regressziót, és nem kell a megfigyeléseket manuálisan összefűznünk. Az OLS segítségével becsülhető regressziós egyenlet alapformája a következő:

$$v - E[v|I_0] = \alpha + \beta_t(P_t - E[v|I_0]) + Z_t. \quad (3)$$

Ez az egyenlet Biais et al. (1999) munkájából származik, akik maguk is Hodrick (1987) határidős és azonnali árfolyamokra vonatkozó elemzésére alapozták munkájukat. Az egyenlet bal oldala a frekvencia alapértéke közötti különbség

blokk, v , és annak előzetes várakozása $E[v|I_0]$. Az egyes blokkok alapértékét a fordulóban tett utolsó ajánlatok jelölik,⁴⁹⁷ mivel az utolsó fordulóban az árak tükrözik a legmagasabb értékelést, amelyet bármelyik ajánlattevő az egyes blokkokra adott. Mivel az aukciót egyidejűleg emelkedő árverésként tervezték, bármelyik versenytárs, aki még elegendő licitálási joggal rendelkezik, magasabb ajánlatot tehetett volna, ha magasabbra értékelte volna a blokkot. Mivel ez nem történt meg, és az árverés véget ért, a végső ajánlatok a v alapérték helyettesítőjének minősülnek. Az előzetes várakozás $E[v|I_0]$ tükrözi a piacnak az árak értékére vonatkozó várakozását az árverés kezdete előtt, tehát mielőtt az ajánlattevők vagy a BNA bármilyen további információt szolgáltatott volna.

A (3) egyenlet jobb oldala egy állandót és egy regresszort tartalmaz. A $P_t - E[v|I_0]$ különbség az alapértékre vonatkozó előzetes várakozástól az 5G-árverés t fordulójáig számított hozamot méri. A Z kifejezést a regresszió reziduuma a szigorú exogenitás szokásos feltételezése mellett. A β_t paraméternek nullának kell lennie abban az esetben, ha az aktuális hozamnak nincs információs tartalma a végső aukciós hozam tekintetében, míg az α_t konstans a teljes hatást megragadná. Ez az eset áll fenn a korábban bemutatott zajhipotézis esetén. Ennek oka az, hogy a zajhipotézis szerint a két hozam kovarianciája egyenlő

$$\text{cov}(v - E[v|I_0], P_t - E[v|I_0]) = \text{cov}(v - E[v|I_0], E) = 0 \quad (4)$$

és így

$$\beta_t = 0.$$

Ha az árak teljes mértékben informatívak lennének, $\alpha \beta$ -nek $_t$ egynek kellene lennie, mivel az előzetes várakozásból a t fordulóban érvényes árra való visszatérés teljes mértékben megmagyarázná a $v - E[v|I_0]$ végső hozamot. Mivel a tanulás várhatóan fokozatosan történik az aukció során, $\alpha \beta$ -nek $_t$ is növekednie kell az idő múlásával. Mivel az alapérték helyettesítője az aukción fizetett végső ár, a paraméter a konstrukció szerint a legvégén egy lesz. Ennek azonban van értelme, mivel a négy résztvevő az aukció végére teljes mértékben felfedte szándékait és értékítéleteit, valamint fizetési hajlandóságát.

A következő becsléshez minden értéket az első árral osztottunk. Ezt azért tettük, hogy az első fordulóban történt stratégiai licitálásból származó hozamokat megtisztítsuk. Az 1&1 például minden minimális ajánlatot 20 millió euróval túllicitált, ami egyértelműen jelzi, hogy a vállalat már a kezdetektől fogva hajlandó volt versenyezni a spektrumért. Azzal, hogy ezt a jelet eltávolítjuk az első fordulóban, normalizáljuk az egyes blokkokra vonatkozó ajánlatokat. Ez fontos a blokkok összehasonlítása szempontjából, mivel ezek már az induláskor is

a résztvevők viselkedésétől függően különböző szintű információkat tartalmaz. Az első árral való osztás összehasonlíthatóbbá teszi az árfeltárást a különböző blokkok között, mivel a kiindulási ajánlatok közötti különbségeket figyelembe vesszük. Ha az első ár nem létezik, akkor az első létező árat használjuk erre a célra, mivel ez az első olyan információ, amely az adott frekvenciablokkra vonatkozóan rendelkezésre áll. Ez különösen igaz a GHz-es 3.6 sávban az x1 MHz-es 20 blokkra, mivel az első ajánlatot csak a fordulóban nyújtották be, de igaz ez néhány más blokkra is, amelyek valószínűleg véletlenül maradtak ki, mivel a résztvevők korlátozott számú ajánlati joggal rendelkeztek. Ez megmagyarázná, hogy egyes blokkok miért nem tettek magas ajánlatot az első fordulóban, noha tökéletesen helyettesítették az adott sáv többi blokkját, és a résztvevők képesek lettek volna a keresletet egyenlőben elosztani az összes blokk között.

Ez a módosítás a fenti regressziós egyenletet a következőre változtatja:

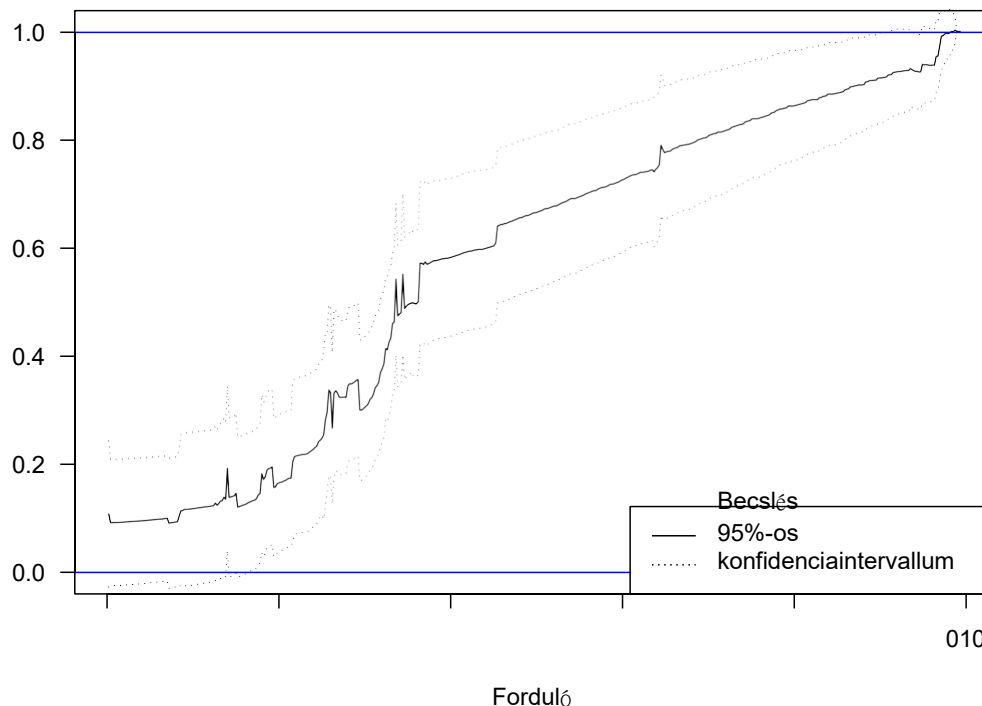
$$\frac{v - E[v|I_0]}{P} = \alpha + \beta \frac{P_t - E[v|I_0]}{P_{11}} + u_{tt} \quad (5)$$

ahol a metszéspont $\alpha = \frac{\alpha}{P_1}$ és a maradék $u_t = \frac{Z_t}{P_1}$.

Most, mivel vannak különböző 497 hozamok, a regresszió lehet futtatni alkalommal 496. Az eredményeket a 3. ábra mutatja: az előrejelzésnek megfelelően a regresszió becsült paramétere az idő múlásával növekszik, amíg az utolsó licitkörökben egyenlő lesz eggyel. Annak ellenére, hogy a becsült hatás már az elején nagyobb, mint nulla, a zajhipotézis 5%-os szignifikancia szinten nem utasítható el egészen a fordulóig. Ez azt tükrözheti, hogy a résztvevők megpróbálnak alacsony árú egyensúlyt kialakítani. Ha megnézzük az 1. ábrát, az összes ajánlat teljes összegének meredeksége körülbelül akkor kezd jelentősen növekedni, amikor a zajhipotézis elutasítható.

az 5%-os szignifikanciaszinten. A következő fordulóban megfigyelhetjük a részleges informáltság időszakát, mivel a β növekszik, de szignifikánsan különbözik a nullától és az egytől is. Az informativitás szintje a leggyorsabban a forduló és 100 a forduló között növekszik.

187. forduló. Ez azzal függ össze, hogy az árfeltárást mindkét frekvenciasávban zajlik addig a pontig. Ezt követően a tanulás szinte csak a magas, GHz-es 3.6 sávból ered, és mivel az ajánlatok ebben a szakaszban csak nagyon lassú ütemben növekedtek, a regresszió meredeksége is lassabban nő attól a pillanattól kezdve, hogy az ajánlattevők megállapodtak a 2 GHz-es kiosztásban. A 454. fordulóban a tanulási hipotézis először nem utasítható el. Ugyanez igaz a következő 43 forduló többségére is, a 468-473. forduló kivételével. A fennmaradó fordulóban már nem lehet elutasítani azt a hipotézist, hogy a benyújtott ajánlatok teljes mértékben informatívak.



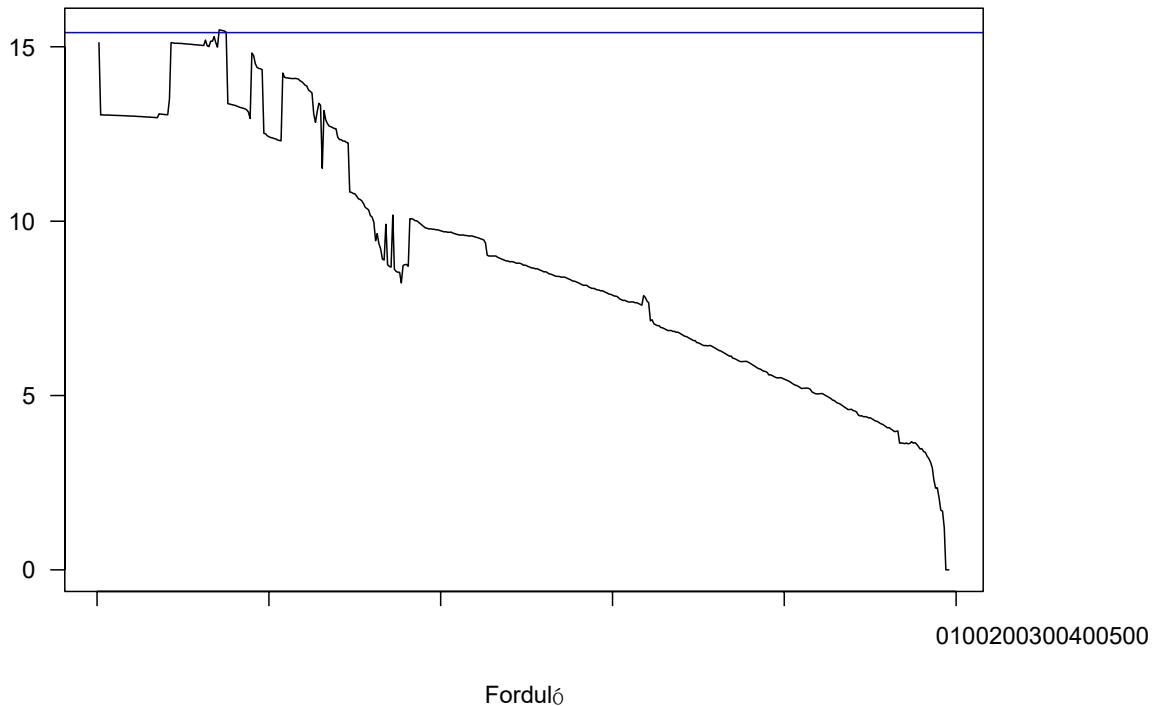
3. ábra: OLS-becslés a β vonatkozásán

A grafikon a β OLS becslését mutatja az aukció minden egyes pontjára. A két piros vonal a zajhipotézist ($\beta = 0$) és a tanulási hipotézist ($\beta = 1$) jelöli. A szaggatott vonalak a 95%-os konfidenciaintervallumot jelölik, és azt mutatják, hogy a zajhipotézis nem utasítható el a nyitási időszakban, míg a tanulási hipotézis nem utasítható el az aukció záró szakaszában. Az árak informativitása a 100. és a 187. forduló között nő a leggyorsabban, amikor mindkét frekvenciasávra nagyszámú ajánlatot nyújtottak be.

Biais et al. (1999) is teszteli megállapításait, összehasonlítva a regressziójuk átlagos négyzetes hibájának (RMSE, a reziduum standard hibája) és a hozamok standard eltérésének értékét. Azt állítják, hogy ha az árak egyáltalán nem lennének informatívak, akkor az RMSE-nek meg kellene egyeznie a regressziós egyenlet bal oldalán szereplő hozamok szórásával. Ennek az az oka, hogy mivel az ajánlatoknak nem volt információs tartalma, a fent meghatározott regressziós modell egyáltalán nem magyarázná a hozamok szórását. Ehelyett a regresszió *R-jének*² nullával kellene egyenlőnek lennie. A tanulást tehát az támogatná, ha az RMSE az idő múlásával jelentősen csökkenne. Ugyanezt az érvelést követve a regresszió magyarázó erejének tökéletesnek kellene lennie, ha a tanulási hipotézis igaz lenne. Az RMSE-nek viszont nullának kellene lennie. A regressziós eredmények további vizsgálatakor valóban ezt találjuk. Először a reziduumok standard hibája megközelítőleg megegyezik a hozamok standard eltéréssel, még ha az valamivel alacsonyabb is. Körülbelül a forduló100 után azonban az RMSE folyamatosan csökkenni kezd, a hozamok szórásának kevesebb mint egyharmadára, majd meredeken csökken, és az aukció végére szinte teljesen eltűnik. Ez tovább erősíti azt a hipotézist, hogy a frekvenciaárverés során tanulási folyamat zajlik. A reziduum standard hibájának folyamatos csökkenése azt jelzi, hogy az egyes ajánlatokban rejlő információ mennyisége növekszik, míg a zajkomponens csökken, ahogy egyre több ajánlatot nyújtanak be.

Az eredmények összhangban vannak Biais et al. (1999) megállapításaival, még akkor is, ha az aukciós környezet más: Mi is azt találjuk, hogy az árak informativitása az árverés előrehaladtával növekszik, ami a felmenő árverés lefolytatásának eredeti célja. A szerzők azonban a tőzsdei nyitást megelőző időszak környezetében a kereskedési aktivitás növekedését találják az aukció végén. Ez az 5G-árverés esetében nem támasztható alá, de meg kell jegyezni, hogy az előnyítás előtti időszak vége eltér a spektrumaukciótól. A tőzsdén a kereskedőknek délelőtt 10 óráig kell ajánlatot tenniük, és addig profitálhatnak a valótlan ajánlatok benyújtásából. A spektrumárverés esetében nincs meghatározott határidő. Ehelyett a résztvevőket az ösztönöznék, hogy a végén minél kevesebb ajánlatot tegyenek, hogy az ár ne emelkedjen irracionális magasságokba. (Medrano és Vives, 2001, 224. o.) szerint "a stratégiai tájékozott kereskedők ösztönzést kaphatnak arra, hogy a piacot a t^* atonement kezdetén manipulálják".⁵ Esetünkben nagyon valószínű, hogy mind a négy résztvevő tájékozott kereskedő volt.

⁵Megjegyzendő, hogy a szerzők a XETRA tőzsdén zajló aukciókat vizsgálják, ahol az ajánlatok ingyenesen visszavonhatók, és a felhívási szakasz véletlenszerűen ér véget, ami nem igaz a szóban forgó spektrumaukcióra.



4. ábra: Regressziós RMSE az aukciós fordulókban

Az ábra a regressziós reziduum standard hibájának alakulását mutatja az aukciós fordulók során.

eleinte elrejtve valódi értéküket, amíg nem volt más választásuk, mint növelni az ajánlataikat, hogy elérjék aukciós céljaikat.

4.2 Robusztussági ellenőrzések és vita

E megállapítások robusztusságának vizsgálata érdekében több robusztussági ellenőrzést végeztünk. Az első olyan kontrollváltozók hozzáadásából áll, mint például a legmagasabb ajánlattevő piaci részesedése vagy az, hogy a legmagasabb ajánlat birtokosa változott-e az adott fordulóban. Megállapítottuk, hogy az eredmények nem változnak jelentősen, ha ezeket a kontrollokat is figyelembe vesszük. Az egyetlen különbség az, hogy a zajhipotézist a legtöbb fordulóban elutasítjuk, még az aukció elején is. Ez a kontrollváltozók bevonása után a $\hat{\beta}$ változékonnyabb becsléséből adódik.

Egy másik stratégia az előző szakaszban végzett becslésből kapott eredmények tesztelésére az volt, hogy az adatokat négy különböző adatkészletre osztottuk. Mindegyik csak a négy résztvevő egyikének magas licitjeit tartalmazza. Minden egyes adathalmaz esetében ugyanazt a becslést végeztük el, mint korábban. Az adatok korlátai miatt azonban ez azt jelentette, hogy egyes fordulókban rendkívül kevés megfigyelés volt. Mivel nem tudjuk, hogy a cégek milyen ajánlatokat nyújtottak be, ha nem ezek voltak a legmagasabb ajánlatok, az adatsor nagy hiányosságokat tartalmaz.

építéssel. Emiatt néhány fordulót teljesen ki kellett zárni, mivel azok egyáltalán nem adtak becslést a β a helyzet például a Telefónica kampányának első fordulójában, mivel a vállalat csak a GHz-es 3.6 sávra adott be ajánlatot a minimális ajánlaton. Ez azt jelenti, hogy a regresszor konstans

a teljes fordulóra vonatkozóan, és nincs t keletkezik. Összesen két forduló volt becslés a β

a Telefónica és az 1&1 esetében. E megközelítés másik korlátja, hogy a becslés valószínűleg szenved a kis minta torzításától. Ez különösen az 1&1 esetében látható, ahol a β becslés rendkívül változékonyságú és valószínűleg

nem megbízható. Kiseb mértékben ugyanez igaz a Telefónica β vonatkozó² becslésére is a korai fordulóknál. Körülbelül a fordulók 187 környékén, amikor a GHz-viták² rendeződtek, a becslés konzisztensebbé válik és közelebb kerül a várakozásokhoz. A

a másik két inkumbens becslése $\beta^{telekom}$ és $\beta^{vodafone}$ könnyebb kiszámítani, mivel a megfigyelések relatíve nagyobb rendelkezésre állása miatt, mivel ez a két vállalat az árverés nagy részében több spektrumra tett ajánlatot. Nem meglepő, hogy ezek a becslések pontosabbak és jobban követik a várakozásokat. Valójában a zajhipotézis nem utasítható el a Vodafone vagy a Telekom esetében az első 187 forduló nagy részében. Néhány ilyen fordulóban a hipotézis elutasítható, de az is lehetséges, hogy ez a rendelkezésre álló megfigyelések kis számából adódik. Mindkét esetben az árak informativitása az árverés előrehaladtával növekszik. A becslések nagyobb volatilitása azoknak a fordulóknak tulajdonítható, amelyekben az érintett vállalatok egy vagy több blokkban elvesztették magas ajánlataikat. A Vodafone esetében a tanulási hipotézis a 211. forduló után már nem utasítható el, miután az informativitás korábbi szakasza több fordulóra megszakadt. A Telekomra vonatkozó eredmények jobban hasonlítanak az általános becsléshez. Mindkét becslésre igaz azonban, hogy a standard hibák sokkal nagyobbak, ami nagyobb időszakokhoz vezet, amelyekben a két egyedi hipotézis nem utasítható el 5%-os szignifikancia szinten. Összességében úgy tűnik, hogy az előző szakasz megállapításai még mindig robusztusnak tűnnek a minta egyes résztvevők közötti felosztásával szemben, még akkor is, ha a megfigyelések alacsony száma miatt ez a becslés sokkal kevésbé megbízható.⁶ Érdekes lenne ezt a jövőben az aukció minden egyes ajánlattevőjére vonatkozó teljes adathalmazzal tesztelni.

Az előző vizsgálathoz hasonlóan a két frekvenciasávot egymástól függetlenül elemeztük. Ez azonban a 2 GHz-es sáv esetében nem vezetett értelmes eredményekhez, mivel a becslés erősen ingadozó. Jelentősen negatívan indul, majd az ellenkező végletbe túllendül, és jelentősen nagyobb lesz, mint egy. Értelmes következtetés azonban az, hogy a tanulási hipotézis nem utasítható el a fordulótól kezdve 165, mivel a verseny ebben a sávban fordulókkal 22 később szűnt meg. A becslés

⁶ az egyes grafikonokat lásd az A. függelékben.

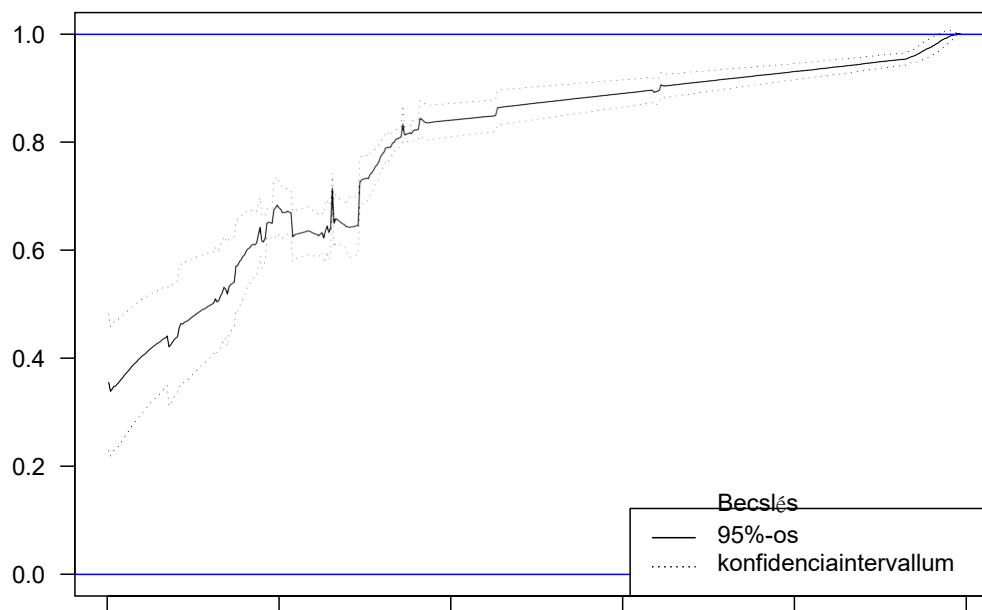
a 3,6 GHz-es sávban felismerhetőbb tanulási mintázatot mutat, amely az aukció nagy részében növekszik. A becslés azonban az árverés több pontján is nulla alatti és egynél nagyobb. Ebben az alkalmazásban a zajhipotézis nem utasítható el a 181. fordulóra. A 165. tanulási hipotézis a 181. fordulótól kezdve nem utasítható el, annak ellenére, hogy a verseny az árverés végéig folytatódott. Ennek oka a becslés magas standard hibája, amely valószínűleg az egyes sávokra vonatkozó megfigyelések alacsonyabb számából adódik. A magasabb frekvenciasávra vonatkozó becslés mégis közelebb áll a várakozásokhoz, mint az alacsonyabb sávra vonatkozó becslés. Arra a következtetésre jutottunk, hogy az árverés két különböző elemzésre való felosztása nem biztos, hogy ésszerű, mivel az árverés tervezése kifejezetten a két sáv egyidejű értékesítésére irányult, mivel bizonyos mértékig helyettesíthetőnek tekinthetők.⁷

Negyedik tesztként a hozamok normalizálását az első ár segítségével ejtettük el. Ehelyett a becslések kiszámításához a logaritmusos hozamokat használták. Ez azt jelenti, hogy a regressziós egyenlet a következőkre változott:

$$\log(v) - \log(\mathbf{E}[v|I_0]) = \alpha_t + \beta (\log(P_t) - \log(\mathbf{E}[v|I_0])) + e_t \quad (6)$$

Ha a korábbi tanulási minta eredménye robusztus volt, akkor ennek a hagyományosabb módszernek hasonló eredményeket kell hoznia. Valójában a tanulási görbe hasonló, ha a logaritmusos hozamokat használjuk. Az árak azonban már az első körben részben informatívnak indulnak. A zajhipotézis minden egyes fordulóban elutasításra kerül, de a tanulási hipotézis is, kivéve a legutolsó fordulót. Ez annak köszönhető, hogy a becslés viszonylag kis standard hibái a logaritmusos hozamok használatakor egyre kisebb konfidenciaintervallumokat eredményeznek, így a tanulási hipotézis akkor is elutasításra kerül, amikor az informativitás szintje növekszik. Ez a megállapítás azonban elméletileg is alátámasztható: mivel az árak minden aukciós fordulóban még mindig emelkedtek, a tanulási hipotézisnek, miszerint az árak teljesen informatívak, nem kellene igaznak lennie az aukció legvégéig. Továbbá mivel az első körös stratégiákat itt nem zártuk ki, az informativitás kezdettől fogva magasabb. Ennek a tesztnek az eredményei azonban összhangban vannak a korábban bemutatottakkal, és alátámasztják a tanulási minta létezését. Továbbá az árakban foglalt információ is sokkal gyorsabban növekszik a nyitófázisban, amikor mind a 41 blokkra vonatkozó ajánlatok megemelkednek, mint abban a fázisban, miután a 3,6 GHz-es sávot már felosztották a résztvevők között. A naplózott árak használatából származó eredmények az ábrán láthatók. 5.

⁷ az eredményeket lásd a B. függelékben.



0100200300400500

Forduló

5. ábra: A β becslése a logaritmusos hozamok felhasználásával

Ez a grafikon a β becslésének eredményeit mutatja a logaritmusos hozamok felhasználásával. Az eredményekkel ellentétben

Az ábrán bemutatott árk3, részben informatívak már a fordulóban A 1.becslés is növekszik az idő múlásával, de a kisebb standard hibák miatt a tanulási hipotézis az aukció legvégéig elutasításra kerül. A grafikon azonban a korábbiakhoz hasonló tanulási mintázatot mutat, ami alátámasztja az eredeti megállapításokat.

5 Következtetés

Ez a cikk a 2019 tavaszán tartott német 5G-árverés ármegállapítási folyamatát vizsgálja. Az árverés rendkívül fontos volt a legújabb távközlési szabvány, az 5G jövőbeli bevezetése szempontjából, amely gyorsabb letöltési sebességet, alacsony késleltetést és olyan hálózatokat ígér, amelyek a jelenlegi 4G/LTE technológiánál akár 1000-szer több eszközt képesek hatékonyan kezelni. A benyújtott ajánlatok eleinte nagyon kevés információt tartalmaztak. Ez azt jelenti, hogy a zajhipotézis, amely szerint a benyújtott ajánlatok pusztán zajok, a frekvenciaárverés fordulójáig^{81st} nem mutatható ki. Ez azzal az ösztönzéssel függ össze, hogy a négy résztvevő alacsony árú egyensúlyt hozzon létre. Az összes távközlési vállalatnak az lenne az érdeke, hogy a lehető legalacsonyabb áron állapodjanak meg a spektrum kiosztásáról, hogy pénzt takarítsanak meg a nagyon költséges 5G-infrastruktúra kiépítésére. A minimális ajánlaton történő megállapodás nem tükrözné a frekvenciák valódi értékét, amelyek a jövőben valószínűleg nagy összegű bevételeket fognak lehetővé tenni a távközlési vállalatok számára, ezért zajosnak kellene tekinteni. Ez az egyensúly azonban nem jött létre a frekvenciák iránti túlzott kereslet miatt. Ezért az ajánlatoknak növekedniük kellett: Ezt követően az elfogulatlansági regresszió meredeksége megemelkedik, ami az informativitás növekedésére utal. Ez az informativitás az árverés előrehaladtával növekszik, még akkor is, ha az ajánlatok csak részben informatívak. A vállalatok ezúttal is inkább előbb, mint utóbb szeretnének megállapodásra jutni. Ezért hajlamosak arra, hogy a lehető leghaladtaban hozzájáruljanak nyilvánosságra valódi értékbecslésüket, hogy pénzt takarítsanak meg. Ezt támasztja alá az is, hogy a 2 GHz-es sávban a négy szolgáltató megállapodását követően a birtokosváltások száma alacsony volt, és ritkán haladta meg az egy blokkot fordulóról fordulóra, ami éppen elég volt ahhoz, hogy az árverés folytatódjon. Az árak folyamatos emelkedése mégis azt jelentette, hogy a cégek ajánlataiban szereplő, a 41 spektrumblokk értékére vonatkozó információk minden fordulóban növekedtek. A tanulási sebesség az árverés végén gyorsult fel, amikor a Bundesnetzagentur úgy döntött, hogy a minimális emelést 13 millió euróra emeli. Ez gyorsabb ütemben tárta fel a vállalatok magáninformációit, amit a 3. ábra meredekebb lejtése jelez. A 454. fordulótól kezdve már nem lehet elvetni azt a hipotézist, hogy a benyújtott ajánlatok teljes mértékben informatívak. Ettől kezdve (kisebb megszakításokkal) a becslés nem különbözik szignifikánsan az 1-től. A távközlési cégek hamarosan elérték a fájdalomküszöbüket, és nem voltak hajlandóak többet fizetni a spektrumért, ami végül arra készítette az újonnan belépő 1&1-et, hogy beadja a derekát, és egy blokkot átengedjen, lezárva ezzel az árverést.

A németországi 5G-árverés ismét nagyon költséges esemény volt az érdekelt cégek számára, de mind a 2. szakasz elméleti vitája, mind a 4. szakasz ökonometriai eredményei határozottan arra utalnak, hogy a folyamat hatékony, bár időigényes volt, ami viszont a jövőbeli alkalmazásokban felhasználható spektrum hatékony kiosztásához vezetett. Az árverés tervét az elmúlt években többször is felülvizsgálták, és most úgy tűnik, hogy nagyon jól működött, még akkor is, ha a vállalatok hamar panaszkodtak a magas árak miatt.

Hivatkozások

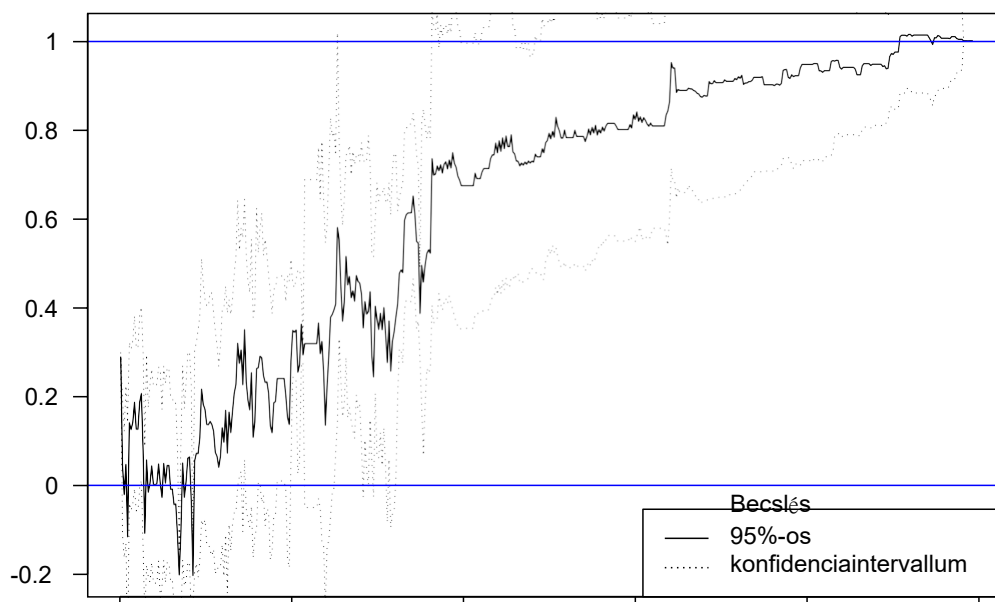
- 1&1 Drillisch (2019): "Geschäftsbericht 2018," .
- Abad, D. és R. Pascual (2010): "Switching to a temporary call Auction in times of high uncertainty," *Journal of Financial Research*, 45-7533,.
- Ashenfelter, O. és K. Graddy (2003): "Aukciók és a művészet ára". *Journal of Economic Literature*, 763-78741,.
- Bapna, R., P. Goes, A. Gupta és Y. Jin (2004): "User Heterogeneity and Its Impact on Electronic Auction Market Design: An Empirical Exploration," *MIS Quarterly*, 21-4328,.
- Biais, B., P. Hillion és C. Spatt (1999): *Journal of Political Economy*, - "Price Discovery and Learning during the Preopening Period in the Paris Bourse," *Journal of Political Economy*, 107,1218- 1248.
- BNA (2018): "Entscheidungen III und IV", Tech. rep., Bundesnetzagentur.
- Buccola, S. T. (1982): "*American Journal of Agricultural Economics*, 63-6964,.
- Cardebat, J.-M., B. Faye, E. L. Fur, and K. Storchmann (2017): "Az egy ár törvénye? Price Dispersion on the Auction Market for Fine Wine," *Journal of Wine Economics*, 302-331.12,
- Coase, R. H. (1959): "*The Journal of Law and Economics*, 1-40.2,
- Comerton-Forde, C. és J. Rydge (2006): "The influence of call auction algorithm rules on market efficiency," *Journal of Financial Markets*, 199-222.9,
- Cramton, P. (1998): "*European Economic Review*, 74542, 756.
- (2001): *Handbook of Telecommunications Economics*: "Spectrum Auctions", *Handbook of Telecommunications Economics*.
- Cramton, P. és A. Ockenfels (2017): "A német 4G spektrumárverés: Design and Behaviour," *The Economic Journal*, 305-324127,.
- Deutsche Telekom (2019): "A 2018-as pénzügyi év", .
- Felder, S. (2004): *Frequenzallokation in der Telekommunikation: Die Analyse der Vergabe von Frequenzen unter besonderer Berücksichtigung der UMTS-Auktionen, Forschungsergebnisse der Wirtschaftsuniversität Wien*, Peter Lang International Academic Publishers.
- Grimm, V., F. Riedel és E. Wolfstetter (2003): "Low Price Equilibrium in Multi-Unit Auctions: The GSM Spectrum Auction in Germany," Tech. rep., Humboldt Universität zu Berlin.

- GSM Association (2019): Tech. rep., GSM Association: "5G Spectrum - GSMA Public Policy Position" (5G Spectrum - GSMA Public Policy Position).
- GSM Association és Coleago Consulting (2014): "The Cost of Spectrum Auction Distortions", .
- Ibikunle, G. (2015): "Nyitó- és záróár hatékonysága: Szükségük van-e a pénzügyi piacoknak a vételi aukcióra?" *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 208-22734,.
- Krempl, S. (2019): "5G-jelentés: Nicht jedes Land braucht zur Frequenzvergabe Auktionen," Elérhető: <https://www.golem.de/news/5g-report-nicht-jedes-land-braucht-zur-frequenzvergabe-auktionen-1906-141855.html> [elérés: 2020.02.03].
- Kwon, Y., D. K. Park és H. Rhee (2017): "Spectrum Fragmentation: Causes, measures and applications," *Telecommunications Policy*, 447-45941,.
- Madhavan, A. és V. Panchapagesan (2000): Válasz: "Price Discovery in Auction Markets: Price Discovery in Auction Markets: Price Discovery in Auction Markets: A Look Inside the Black Box," *The Review of Financial Studies*, 13, 627-658.
- Mahmood, N. H., M. G. Sarret, G. Berardinelli és P. Mogensen (2017): "Full Duplex Communications in 5G Small Cells," *13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*.
- McMillan, J. (1994): "*Journal of Economic Perspectives*, 145-162.8,
- Medrano, L. A. és X. Vives (2001): "Strategic Behavior and Price Discovery", (Stratégiai magatartás és árfeltárás).
The RAND Journal of Economics, 221-24832,.
- Nett, L. (2019): "Neue Märkte - Neue Technologien: Die Frequenzversteigerung 2019," Tech. rep., WIK Wissenschaftliches Institut für Infrastruktur und Kommunikationsdienste GmbH.
- Reboredo, J. C. (2012): "The switch from continuous to call auction trading in response to a large intraday price movement," *Applied Economics*, 945-96744,.
- Scheuer, S. (2019): "Netzagentur will 5G-Auktion beschleunigen und erhöht die Mindestgebote deutlich," *Handelsblatt*.
- Telefónica Németország (2019a): "Netzabdeckung", .
--- (2019b): "Stratégiai frissítés", .
- Walras, L. (1954): Routledge: *Elements of Pure Economics*, Routledge.
- Welin, E. (2006): "A Comparison Between the Swedish 3G Beauty Contest and the British 3G Auction," Master's thesis, University of Linköping.

Wirtschaftswoche(2019):
"DrillischgehtmithohemDruckin5G- Auktionen, "
Availableat[https://www.wiwo.de/unternehmen/it/
frequenzversteigerung-drillisch-geht-mit-hohem-druck-in-5g-
auktionen/24120334.html](https://www.wiwo.de/unternehmen/it/frequenzversteigerung-drillisch-geht-mit-hohem-druck-in-5g-auktionen/24120334.html) [hozzáférés: 03/02/2020].

Függelék

A Az adatok felosztása a négy résztvevő között

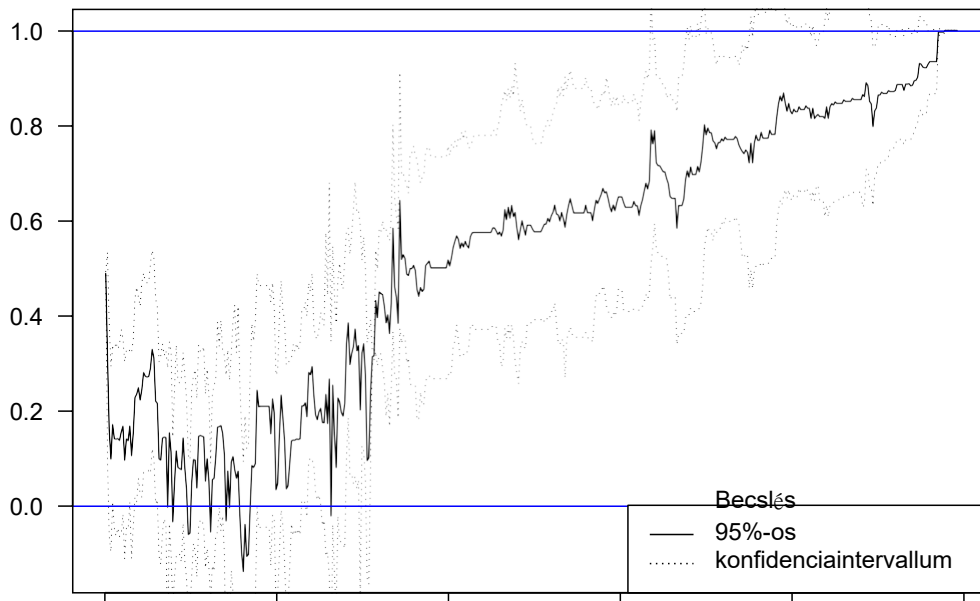


0100200300400500

Forduló

6. ábra: A Vodafone beclése

A β^{dafone} beclés változékonnyabb, mint az eredeti, valószínűleg az alacsonyabb számú megfigyeléseket, amelyek az egyes regressziókhöz rendelkezésre álltak, ami a magasabb standard hibákban is látható. Az 5G-árverés során azonban az általános becléshez hasonló tanulási mintázat figyelhető meg.

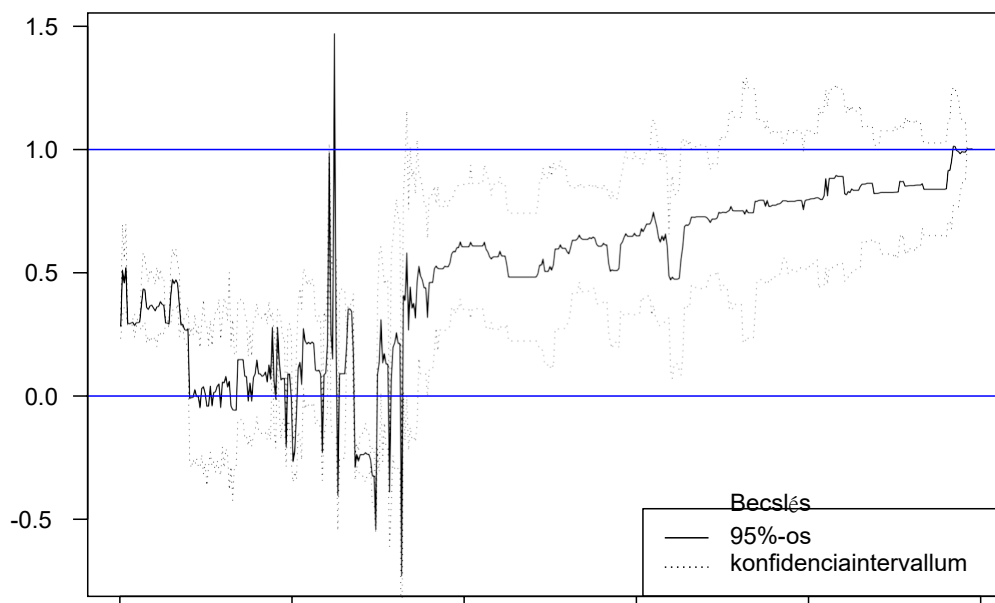


0100200300400500

Forduló

7. ábra: A Telekom becslése

A $\beta^{Telekom}$ becslésének alakulása a $\beta^{Dafone-hoz}$ hasonlóan alakul. Ismét hasonló mintázat az általános eredményhez megfigyelhető. A kisebb mintaméret miatt a standard hibák ismét elég nagyok.

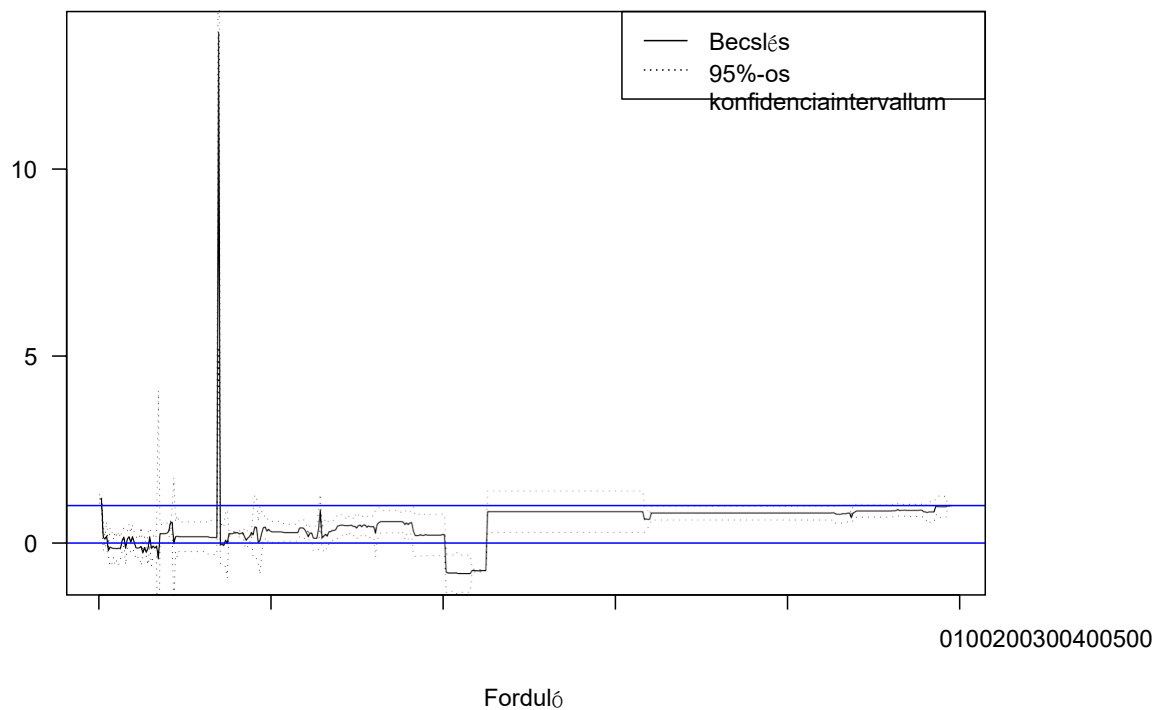


0100200300400500

Forduló

8. ábra: A Telefónica becslése

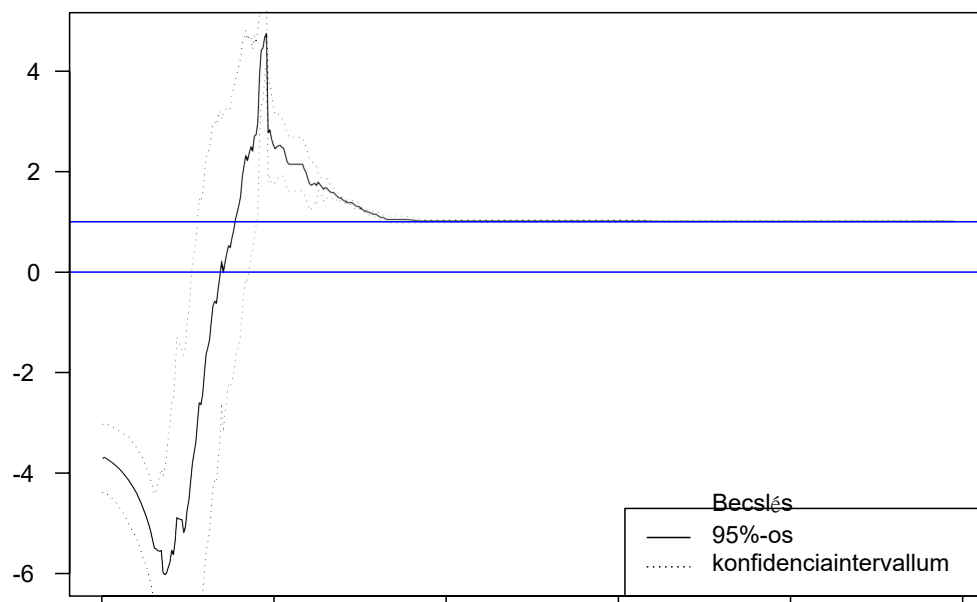
A β^T becslése változókényebb, mint a $\beta^{Telekomé}$ vagy a $\beta^{Dafone-é}$, különösen a korai időszakban. az árverés szakaszában. Összességében azonban ismét hasonló tanulási mintázat figyelhető meg.



9. ábra: Az 1&1 beclése

A ~~1&1~~ beclése sokkal ingadozóbb, mint a korábbi megállapítások. A belépőre vonatkozó minta a legtöbb esetben sokkal kisebb, mint a hivatalban lévőké esetében, ami megbízhatatlanná teszi ezeket az eredményeket.

B Az adatok megosztása a két frekvenciasáv között

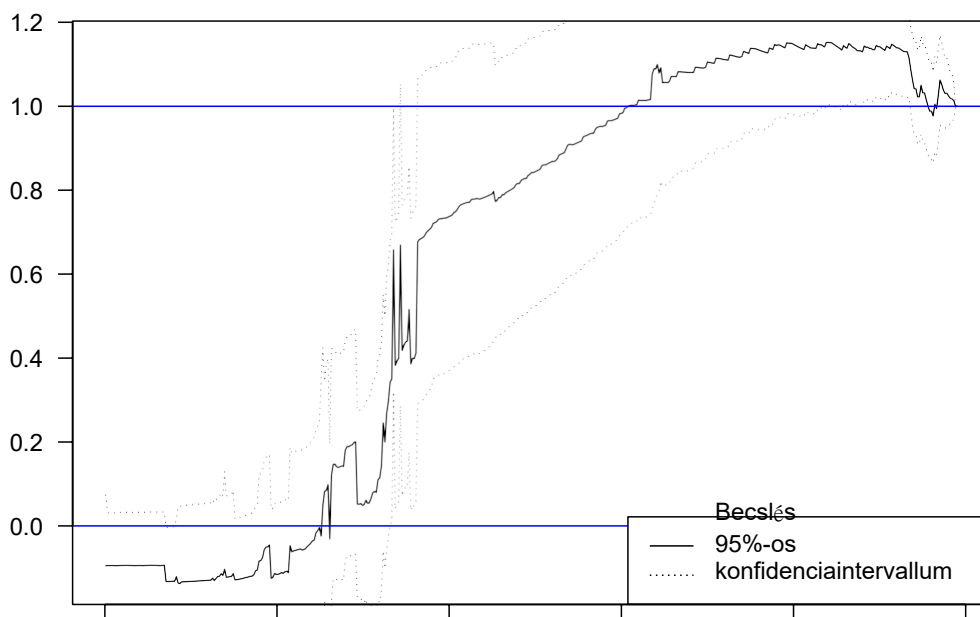


0100200300400500

Forduló

10. ábra: Beclés a GHz-es2 sávra

Ez az erősen ingadozó beclés nem vezet értelmes eredményekhez, eltekintve attól a tényről, hogy a beclés a 165. fordulóra majdnem egybeesik, és ettől kezdve a tanulási hipotézis már nem utasítható el.



0100200300400500

Forduló

11. ábra: Becslés a GHz-es3.6 sávra

Az árverés korai szakaszában a becslés standard hibái rendkívül magasak. A 2 GHz-es sávban a verseny lezárultával ezek a standard hibák nagyon kicsivé váltak, és az árak informativitása jelentősen megnőtt. A későbbi szakaszokban a becslés jelentősen nagyobb, mint egy, majd a legvégén visszaáll az egyhez. Ez ismét összefügghet az adatok felosztása utáni kisebb mintamérettel.