



Cowles Alapítvány

a Yale Egyetem
közgazdasági
kutatóközpontja

Cowles Alapítvány 2021. számú vitairat

KÖZELEDÜNK A GAZDASÁGI SZINGULARITÁSHOZ?
AZ INFORMÁCIÓS TECHNOLÓGIA ÉS A
GAZDASÁGI NÖVEKEDÉS JÖVŐJE

William D. Nordhaus

szeptember 2015

A Cowles Foundation Discussion Paper Series
munkadokumentumainak szerzői indexe a következő
címen található:

<http://cowles.yale.edu/>

Ez a tanulmány ingyenesen letölthető a Social Science
Research Network Electronic Paper Collection oldaláról:
<http://ssrn.com/abstract=2658259>

Közeledünk a gazdasági szingularitáshoz?
Az információs technológia és a gazdasági növekedés jövője

William D. Nordhaus¹
szeptember 1, 2015

Absztrakt

Milyenek a hosszú távú gazdasági növekedés kilátásai? A jelen tanulmány egy nemrégiben felállított hipotézist vizsgál, amelyet én *Szingularitásnak* nevezek el. Ennek lényege, hogy a számítástechnika és a mesterséges intelligencia gyors növekedése átlép egy bizonyos határt vagy szingularitást, amely után a gazdasági növekedés meredeken felgyorsul, mivel a fejlesztések egyre gyorsuló üteme kaszkádszerűen terjed a gazdaságban. A tanulmány egy olyan növekedési modellt dolgoz ki, amely a szingularitás jellemzőit tartalmazza, és több tesztet is bemutat arra vonatkozóan, hogy gyorsan közeledünk-e a szingularitáshoz. A szingularitás kulcskérdése az információ és a hagyományos inputok közötti helyettesíthetőség. A tesztek arra utalnak, hogy a szingularitás nincs közel.

I. Bevezetés

Milyenek a hosszú távú gazdasági növekedés kilátásai? A gazdasági gondolkodás egyik kiemelkedő irányvonala a stagnálás tendenciája. A stagnálásnak hosszú története van a közgazdaságtanban, amely Malthusszal kezdődött, és időnként más-más formában bukkan fel. Kiemelkedő témák a következők: Lassulni fog-e a gazdasági növekedés, sőt talán meg is fordul az erőforrások kimerülésének súlya alatt? A túlnépesedés és a csökkenő hozamok csökkentik-e az életszínvonalat? Az ellenőrizetlen szén-dioxid-kibocsátás katasztrofális változásokhoz vezet-e az éghajlatban és az ökoszisztémákban? Vajon

¹A szerző a közgazdaságtan Sterling professzora; Cowles Alapítvány, Yale Egyetem, New Haven, CT 06511, USA. Levelezési cím: Yale Yale, Yale Yale, Yale Yale, Yale Yale: P. O. Box 208268, Yale Station,

New Haven, CT 06511-8268, USA. E-mail: william.nordhaus@yale.edu. A szerző nem jelent be pénzügyi összeférhetetlenséget. A változat a Singularity_090115.docx.

kimerítette a lehetséges nagy találmányok tárházát? Az előregedő társadalom csökkenő innovációs készséghez fog vezetni?²

A jelen tanulmány azonban az ellenkező gondolatot vizsgálja, egy nemrégiben bevezetett hipotézist, amelyet én *Szingularitásnak* nevezek el. Az elképzelés szerint a számítás és a mesterséges intelligencia gyors növekedése átlép egy bizonyos határt vagy szingularitást, amely után a gazdasági növekedés meredeken felgyorsul, mivel a fejlesztések egyre gyorsabb ütemben terjednek a gazdaságban. A legjelentősebb képviselői az informatikusok (lásd a következő szakaszban a vitát és a hivatkozásokat), de ennek az elméletnek egy puha változatát a közelmúltban néhány közgazdász is előállt (Brynjolfsson és McAfee, 2014).

Az elején szeretném hangsúlyozni, hogy ez nem a Singularity mellett vagy ellen szóló traktátus. A cél inkább kettős. Először is, felvázolok néhány történelmet, jelenlegi nézetet, és bemutatom a gyorsan növekvő gazdasági növekedés analitikus alapjait. Ezután néhány diagnosztikai tesztet javaslok, amelyek alapján megállapítható, hogy a szingularitás bekövetkezik-e, és ezeket a teszteket az Egyesült Államok közelmúltbeli gazdasági viselkedésére alkalmazom. Végül remélem, hogy az elemzés és a tesztek lehetővé teszik számunkra, hogy egy futó eredménytáblát vezessünk arról, hogy a gazdasági univerzum stagnáló vagy gyorsuló pályán van-e ... vagy esetleg a stabil növekedés középmezőnyében.

II. Mesterséges intelligencia és a szingularitás

Az elsősorban közgazdasági háttérrel rendelkezők számára ez a rész valószínűleg úgy fog hangzani, mint egy sci-fi. Elmagyarázza a történelmet és egy modern nézetet arról, hogy a számítás és a mesterséges intelligencia (AI) gyors fejlődése milyen mértékben képes növelni a termelékenységet és a szélességet, hogy az emberi munka és intelligencia egyre inkább feleslegessé válik. A számítástechnikában szokásos vita nem tartalmaz kifejezett gazdasági elemzést, és nyitva hagy fontos gazdasági kérdéseket, amelyekkel a későbbi fejezetekben foglalkozunk.

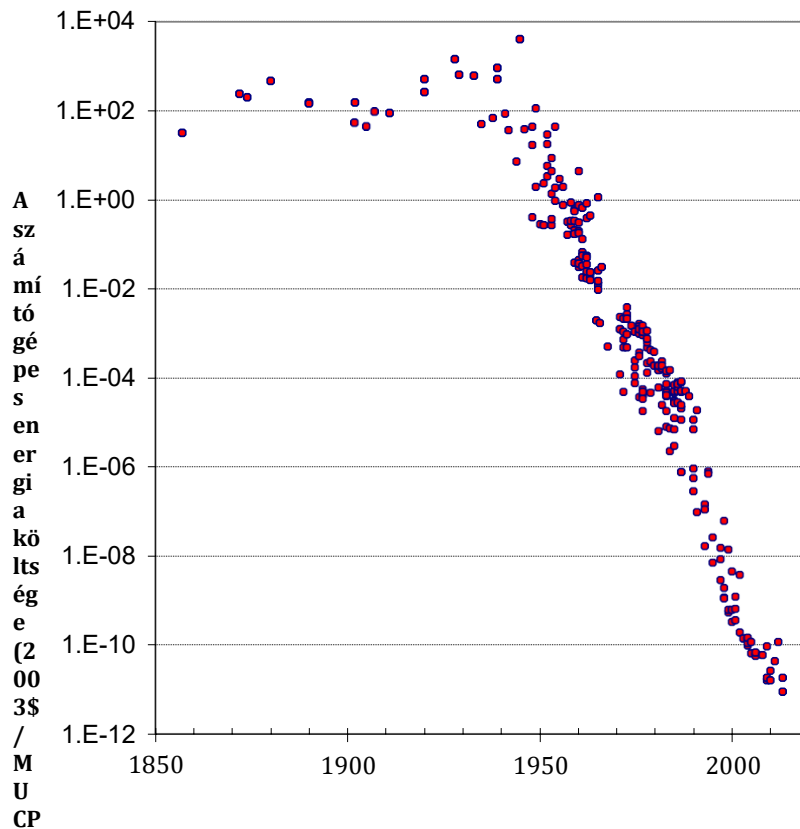
² A stagnálás lehetséges forrásairól hatalmas szakirodalom áll rendelkezésre. A modern korban a "növekedés határai" iskola egy korai számítógépes modellezési kísérlet volt, amely az életszínvonal túllépésének és csökkenésének forgatókönyveit dolgozta ki (lásd Meadows et al 1972 és Ranjens et al 1990). Gordon (2012, 2015) azzal érvel, hogy az alapvető találmányok csökkenése lassíthatja a vezető országok növekedését. Egyesek a keresleti oldal stagnálásának

hosszú időszakát vetítik előre a hosszú recesszió nyomán, amely az évben kezdődött (2008lásd Summers 2014).

A további háttér ismertetése előtt hasznos lesz összefoglalni az érvelést. A számítógépek és a szoftverek termelékenysége több mint fél évszázadon keresztül fenomenális ütemben nőtt, és a gyors növekedés napjainkig tart. A gépi tanulás és a mesterséges intelligencia fejlődése egyre több emberi feladatot vesz át, a számításoktól kezdve a keresésen át a beszédfelismerésig, a pszichoterápiáig, valamint a közúti és harctéri robottevékenységekig. A számítási képességek jelenlegi növekedése mellett egyesek szerint az információs technológiák magának az emberi agynak a képességeivel és intelligenciájával fognak rendelkezni. A háttérrel és a tendenciákról lásd Moravec (1988), Kurzweil (2000, 2005), Schmid és Cohen (2013).

A gyorsításpárti nézet alapja a számítástechnika termelékenységének folyamatos gyors növekedése. A termelékenység egyik mérőszáma egy szabványosított művelet költsége állandó árakon, amelyet az 1. ábra mutat. Egy szabványos számítás költségei az 1940-2012 közötti időszakban évente átlagosan 53%-kal csökkentek. Az elmúlt évtizedben a chipes számítások sebessége lelassulhatott, de úgy tűnik, hogy a párhuzamos, felhőalapú és nagy teljesítményű klaszterek növekedése, valamint a szoftverek fejlődése ezt számos alkalmazás esetében ellensúlyozta.

Az informatikusok az 1. ábrán látható tendenciát a bizonytalan jövőre vetítik előre. Egy bizonyos ponton ezek az előrejelzések a számítástechnikából a számítástechnikai fikcióba kerülnek. Ezek a hagyományos eszközök továbbfejlesztését és végül a kvantumszámítást foglalják magukban. Ha a nagy kvantumszámítógépek megvalósíthatóvá válnak, akkor a számítástechnika lényegében szabad lesz, és a mesterséges intelligenciára vonatkozó korlátok nagyrészt szoftveres és mérnöki korlátok lesznek (lásd különösen Moravec 1988, Kurzweil 2005).



ábra A számítástechnika 1.fejlődése a másodpercenkénti számítási költségben mérve, deflálva a GDP árindexével, ár2006ban kifejezve.

Forrás: Nordhaus (2008), a szerző által frissítve a PassMark segítségével a <http://www.cpubenchmark.net/> oldalról, az eredmények áprilisban készültek. 2014.

Az egyik fontos mérföldkő az lesz, amikor az olcsó számítógépek elérik az emberi agy számítási kapacitását. A jelenlegi becslések szerint az emberi agy számítási kapacitása másodpercenként 10^{18} számítási művelet (néha "flop" vagy lebegőpontos műveletek másodpercenként).

A leggyorsabb szuperszámítógép 2015-ben $3,4 \times 10^{17}$ flopot teljesített, és a szuperszámítógépek sebessége a 2007-2015 közötti időszakban évente 82%-kal nőtt (Top500, 2015). Ilyen ütemű növekedés mellett a szuperszámítógépek a flopok 10^{18} felső szintjét a Számítási2017. sebesség nem könnyen fordítható át emberi intelligenciává, de a tudósok számára nyersanyagot biztosítana a munkához.

a. Mások 10-100 évre teszik azt a dátumot, amikor a számítógépek elérik az emberi intelligencia szintjét.

Ahogy az informatikusok egyre jobban belenéznek a kristálygömbjükbe, úgy látják, hogy a mesterséges intelligencia a szuperintelligencia felé halad, ami "a legjobb emberi agyagnál gyakorlatilag minden területen sokkal okosabb intelligenciát jelent, beleértve a tudományos kreativitást, az általános bölcsességet és a szociális készségeket". (Bostrum, 2006)

Azon a ponton, ahol a számítógépek elérték a szuperintelligenciát, elértük a "szingularitást", ahol az ember gazdaságilag feleslegessé válik abban az értelemben, hogy nem tesz különbséget a gazdasági teljesítményben. A szuperintelligens számítógépek az utolsó olyan találmány, amelyet az ember megtenne, ahogyan azt Irving Good matematikus (1965) a következőképpen írta le:

Az ultraintelligens gépet úgy definiáljuk, mint egy olyan gépet, amely bármilyen okos ember minden szellemi tevékenységét messze felülmúlja. Mivel a gépek tervezése az egyik ilyen szellemi tevékenység, egy ultraintelligens gép még jobb gépeket tudna tervezni; ekkor kétségtelenül "intelligencia-robbanás" következne be, és az ember intelligenciája messze lemaradna. Így az első ultraintelligens gép az utolsó találmány, amelyet az embernek valaha is meg kell tennie.

Ezt a pontot, ahol a technológiai változások üteme és terjedelme olyan nagy lesz, néha "szingularitásnak" nevezik, hasonlóan ahhoz, amikor az eseményhorizonton átlépünk egy fekete lyukba - itt az eseményhorizont az a pont, ahol a számítógépes intelligencia erői nem hagynak teret az emberi beavatkozásnak.³

Mielőtt a szingularitás-hipotézis elfogadásának eseményhorizontjába esnénk, tisztáznunk kell néhány implicit gazdasági feltételezést, amely a hipotézis mögött húzódik. Ez lesz a következő szakasz célja.

³A szuperintelligencia szingularitásának fogalmát gyakran John von Neumann-nak tulajdonítják. A "szingularitás" egyetlen említése Stanislaw Ulam 1958-as, von Neumannhoz intézett méltatásában található: "Egy beszélgetés középpontjában a technológia egyre gyorsuló fejlődése és az emberi életmódban bekövetkező változások álltak, amelyek azt a látszatot keltik, mintha a faj történetében közelednénk valamilyen alapvető szingularitáshoz, amelyen túl az emberi ügyek, ahogyan mi ismerjük őket, nem folytatódnának". Ulam (1958).

III. A szingularitás történelmi perspektívái a közgazdaságtanban

A társadalmi szingularitás egy új keletű elmélet, de az emberek gépekkel való felváltásával kapcsolatos aggodalmak már több mint két évszázada tartanak. Az aggodalmak általában bizonyos készségek vagy foglalkozási kategóriák kiszorítására összpontosítottak. A számítógépek elterjedésével a fő aggodalom a szakképzetlen munkaerő számítógépek általi felváltása volt.

A gyors termelékenységnövekedéssel és az "automatizálással" - ahogyan a kezdeti időkben nevezték - kapcsolatos makrogazdasági aggodalmak először az emberi szükségletek kielégítésének lehetőségére és a munkanélküliség vagy a szabadidő túlkínálat válságára összpontosítottak. Ez volt J. M. Keynes "Unokáink gazdasági kilátásai" (1930) című esszéjének témája. Ezt írta:

Tegyük fel, hogy száz év múlva nyolcszor jobb helyzetben leszünk, mint ma. Feltételezve, hogy nincsenek jelentős háborúk és nem növekszik jelentősen a népesség, a gazdasági probléma megoldható. Ez azt jelenti, hogy a gazdasági probléma nem - ha a jövőbe tekintünk - az emberiség állandó problémája. *race....*Nem számíthatunk általános "idegösszeomlásra"? Így az ember teremtése óta először fog szembesülni valódi, állandó problémájával - hogyan használja fel a nyomasztó gazdasági gondoktól való mentességét, hogyan használja ki a szabadidejét, amelyet a tudomány és a kamatos kamatok révén nyert el számára, hogy bölcsen, kellemesen és jól éljen.

Bár közel vagyunk a százéves határhoz, talán az emberek idegösszeomlástól szenvednek, de semmi jele annak, hogy az emberek jóllakottak lennének a javakkal, vagy túlságosan eltelítettek volna a szabadidővel.

Az egyik leglátványosabb kísérletet a számítógépesítés makrogazdasági következményeinek kezelésére Herbert Simon tette "Az automatizálás alakja" (1965) című művében. Simon egyedülálló volt az akcelerációs vita szellemi történetében azzal, hogy úttörő informatikus és vezető közgazdász is volt. Fél évszázaddal ezelőtt írva, önmaga által "technológiai radikálisnak" nevezett író volt. Azt írta: "Hiszem, hogy a mi időkben a számítógépek képesek lesznek mindenre, amire az ember képes". (xii-xiii. o.) Ugyanakkor nem volt az, amit én gyorsítónak neveznék, mivel úgy vélte, hogy "a számítógépek és az automatizálás hozzájárulnak majd a termelékenység folyamatos, de nem jelentősen felgyorsuló növekedéséhez". (xiii. o.) Amint alább bemutatjuk, valószínűnek tűnik, hogy ha - ahogy Simon hitte - a számítógépek képesek lennének az embereket lemásolni, akkor a termelékenység nagymértékben felgyorsulna.

Simon elemzése nagyon egyszerű volt, és az úgynevezett "tényezőár-határ" támaszkodott. Ez az a koncepció, amely szerint erősen stilizált feltételek mellett a tényezőjutalmak az egyenletben foglalhatók össze:

$$w a_L (1 + r) a_K = 1$$

Simon elemzésében (az alább használt második modellhez hasonlóan) a kibocsátást a munka és a tőke állítja elő, a méretarányos hozam állandó, van egy áru, amely felhasználható fogyasztásra vagy új tőkére. Ebben az egyenletben,

w bérráta, a_L = munkaerő-ráfordítási együttható, a_K = tőkebeviteli együttható, és r = reálérték

kamatláb. Az áruk árát egy egységre normalizálják.

Simon helyesen állítja, hogy a technológiai változás úgy befolyásolja az egységnyi ráfordítást, hogy csökkenti a munka- és/vagy tőkeinput együtthatókat, így a meglévő tényezőárak *mellett az új technológiával történő termelés költsége* kisebb, mint 1. A tényezőár-egyenlet jelölését használva (ahol az indexek az

Oeredeti tényezőárak, és csillagok jelölik az új technológiát) egy innovációval, $w a^*_L (1 + r) a^*_K < 1$.

A versenyben a tényezőárak addig emelkednek, amíg a költségek el nem érik az 1. árat, így az egyensúlyban egy innovatív technológia vagy a béreket, vagy a kamatlábakat, vagy mindkettőt emeli.

Simon nem alkalmaz formális modellt a kritikus következő lépéshez. Azt állítja, hogy a munkaerő kínálata rugalmatlan, míg a tőke kínálata rugalmas (így az r közel állandó). Ebből arra a következtetésre jut, hogy az automatizálásból eredő jövőbeli technológiai változások közel állandó kamatlábakhoz fognak vezetni. Továbbá (tévesen) a tőke közel állandó részesedése mellett érvel a nemzeti jövedelemben, ami azt jelenti, hogy "a megnövekedett termelékenység majdnem teljes egészében a munkára fog jutni". (p. 15)

Simon úttörő elemzése rámutatott egy fontos eredményre a tényezőárakkal kapcsolatban - arra, hogy a neoklasszikus keretrendszerben lehetetlen, hogy a profitráta csökkenjen és a munkásosztályok elszegényedjenek (hivatalos elemzését Samuelson 1957-ben találjuk). Elemzése azonban nem tudott foglalkozni a gyorsan növekvő tőke-termelékenység lehetőségeivel abban az esetben, amikor a tőke *aránya a nemzeti termelésben nem stabil, hanem emelkedik.*

A modern makrogazdasági szakirodalomban feltűnően keveset írnak a szingularitásról. Míg a termelékenység trendnövekedése egyértelműen emelkedett a

az ipari forradalom előtti időszakban, a mai modellek a termelékenység és a reáljövedelem folyamatos növekedését feltételezik a jövőre nézve.

A gazdasági növekedés felgyorsításának lehetősége időnként kuriózumként merül fel a közgazdasági szakirodalomban. A robbanásszerű növekedést az endogén technológiai változásokkal foglalkozó tanulmányokban vizsgálták. (Hasonló, de kevésbé robbanásszerű eredményeket találunk az "AK-modellben", de ezeket itt nem vizsgáljuk.) Az endogén technológiai modellek legfontosabb jellemzője, hogy a tudás a termelt input. Az egyik megfogalmazás szerint a tudás növekedése arányos a termelési folyamatba bevitt inputokkal. Itt az A_t a technológiai tudás, az Y_t a kibocsátás, a λ töredéke a kimenetet a találmányi inputokra dA_t / dt a tudás növekedése, és a növekedése fordítják,

a találmányi bemenetek függvénye, mint $dA / dt (Y)^\beta$. Ennek nagymértékű egyszerűsítése érdekében,

Feltételezzük, hogy a kibocsátást munkával állítják elő, és hogy a munka állandó n növekedési rátával növekszik. Ha $\beta \geq 1$, ami megfelel a találmányi inputok növekvő hozamának, akkor a kibocsátás növekedési üteme a végtelen felé tendál (lásd különösen Romer 1990/1986.).

A korlátlan növekedési ráták kilátását az empirikus növekedési szakirodalomban technikai és empirikus okokból sem vették komolyan. Az empirikus okok az, hogy a termelékenység növekedése nem gyorsult fel az elmúlt években. A technikai ok az, hogy nem vonzó feltételezésekkel él a tudásgeneráló függvényre vonatkozóan, különösen a feltalálói inputok csökkenő hozamának hiánya miatt. A modell hiányosságairól lásd Jones (1995, 1995a).

A termelékenység növekedésének utolsó lehetséges forrása a Baumol-féle költségbetegség jóindulatú változatából ered. Baumol és szerzőtársai hangsúlyozták, hogy az alacsony termelékenység-növekedést mutató iparágak költségei emelkedhetnek, és potenciálisan lassíthatják az aggregált gazdasági növekedést (lásd Baumol és Bowen 1965, Baumol 1967, Baumol, Blackman és Wolff 1985). A helyettesítési paraméterektől függően azonban a hatás inkább növelheti, mint csökkentheti az aggregált termelékenységet. növekedés. Ezt Baumol költségeufóriának is nevezhetjük, és az alábbiakban megvizsgáljuk.

IV. Szingularitás a keresleti és a kínálati oldalon

Először is hangsúlyozom, hogy a számítógépek vagy az információs technológia termelékenységének az 1. ábrán látható gyors növekedése nem

feltétlenül befolyásolja az aggregált gazdasági növekedést. Ennek oka az, hogy a gazdaság nem csak bitekkel működik, sem a keresleti, sem a kínálati oldalon. A fogyasztók szerethetik a

iPhone-ok, de nem tudják megenni az elektronikus kimenetet. Hasonlóképpen, legalábbis a mai technológiák mellett, a termeléshez a legtöbb áru és szolgáltatás előállításához szűkös inputokra ("anyagokra") van szükség munkaerő, energia és természeti erőforrások, valamint információ formájában.

Hosszú távon a kérdés az információ és más dolgok, például a hagyományos, nem információs inputok vagy outputok közötti helyettesítési tulajdonságok. Itt az általános eredmény:

Fontos felismerés: Ha az információ és a hagyományos dolgok rugalmasan helyettesítik egymást akár a fogyasztásban, *akár* a termelésben, akkor a növekedés növekedni fog, talán rendkívül gyorsan. Ha azonban az információ és a hagyományos dolgok rugalmatlanok a termelésben *és* a fogyasztásban, akkor az információs technológia gyors fejlődése végül irreleváns lesz a gazdaság számára.

Pontosabban fogalmazva, és ahogyan azt az alábbiakban kifejtjük, a szingularitás a keresleti vagy a kínálati oldalról is eredhet. Mindkettő a nagy növekedést produkáló inputok vagy outputok, illetve a stagnáló inputok vagy outputok helyettesítésének eredménye. A keresleti oldalon a szingularitás akkor lépne fel, ha a preferenciák olyanok lennének, hogy a fogyasztói kiadások a relatív árak változásával egyre inkább a magas termelékenyséű, növekvő iparágak felé mozdulnának el. Ez a Baumol-féle költségeufória. A kínálati oldalon a szingularitás akkor következne be, ha a termelés kellően helyettesíthető lenne, hogy a növekedés előrehaladtával a ráfordítások a gyorsan javuló információs tőke felé mozduljanak el. Mindkettő, mint látni fogjuk, idővel gyors növekedéshez vezet. A keresleti oldallal kezdem, majd áttérek a kínálati oldalra.

V. A Baumol-effektus és a keresleti oldali szingularitás

Azzal kezdem, hogy bemutatom azokat a keresleti oldalról érkező erőket, amelyek gyors növekedéshez vezethetnek. Ezek a Baumol-féle költségbetegség tükröképei, és a továbbiakban Baumol-féle költségeufóriának nevezzük őket. Az elképzelés a legegyszerűbb szinten az, hogy a viszonylag gyors termelékenységnövekedéssel rendelkező ágazatokban viszonylag gyorsan csökkennek az árak, és ezért általában a relatív fogyasztási szintek emelkedését tapasztalják. Az aggregált fogyasztás növekedése szempontjából a kulcskérdés az, hogy a viszonylag gyors termelékenységnövekedéssel rendelkező ágazatok részesedése a nominális kiadásokból emelkedik vagy csökken.

Baumol és szerzőtársai úgy tűnt, hogy a tendencia a stagnálás irányába mutat, mivel a stagnáló ágazatok kiadásainak aránya növekszik. Baumol, Blackman és Wolff (1985) 815-816. o. például a következő következtetést vont le: ⁴

A progresszív és a stagnáló ágazatok [reál]kibocsátási részesedése valójában meglehetősen állandó maradt a háború utáni időszakban, így a relatív árak emelkedésével a (stagnáló) szolgáltatásokra fordított összkidadások aránya és a munkaerőn belüli arányuk drámaian emelkedett.....

Sajnos elemzésüket régi típusú (Laspeyres) termelési indexekkel végezték, így a reáltermelési részesedésekkel végzett számítások torzítottak.

A Baumol-típusú szingularitás megértéséhez egy két szektoros példát használhatunk.

Tegyük fel, hogy a gazdaságnak két ágazata van - nevezzük őket információnak és kézművességnek -, amelyeket egyetlen összetett inputból állítanak elő. A termelékenység növekedési rátája nagyon magas, illetve nagyon alacsony. A Baumol-mechanizmus szerint a relatív árak gyorsan változnak az információ javára.

Ha a kereslet helyettesíthetősége rugalmatlan (technikailag, ha a két áru közötti kereslet helyettesítési rugalmassága kisebb, mint egy, és a jövedelemrugalmasságok egy egység), akkor a kézműves termékek végül dominálnak a kiadásokban, és a fogyasztás növekedési üteme megközelíti a kézműves ágazat termelékenységének növekedési ütemét. Ezzel szemben, ha a helyettesítés rugalmas (a két áru közötti kereslet helyettesítési rugalmassága nagyobb, mint egy egységnyi jövedelemrugalmasság mellett), akkor az információ dominál a fogyasztásban, és a fogyasztás növekedése az információs ágazat növekedési üteméhez közelít. Tehát itt a kritikus paraméter a kétféle áru közötti keresletben a helyettesítés rugalmassága.

A Baumol-hatás elemzése

A két ágazatra vonatkozó példa esetében a következő szigorúbb megállapítás alkalmazható. Tegyük fel, hogy van két fogyasztási jószág (c_1 és c_2), amelyek információ, illetve kézműves termékek. Az outputokat versenyszerűen állítják elő egyetlen, exogén módon növekvő összetett ráfordítással (L). A termelékenység növekedését mindkét iparágban állandónak feltételezzük (h_1 és h_2 rátával). A preferenciák homotetikusak, a két áru közötti helyettesítési rugalmasság σ állandó. E feltételezések alapján a két ágazatban az árak a bérekhez képest h_1 és h_2 ütemben csökkennek. Teljes fogyasztás

⁴ Op. cit., 815-816. o.

egy ideális indexszel (például a Tornqvist-indexszel) mérve a következő ütemben fog növekedni

h_1 h_2 , ahol σ a két áru relatív kiadási részesedése.

Némi munkával megmutathatjuk, hogy a két iparág részesedésének aránya (h_1/h_2) logaritmikusan változik.

Tehát például, ha $\sigma = 1,25$, $h_1 = 10\%$ évente és $h_2 = 0\%$ évente, akkor az információ aránya körülbelül $10 \cdot 0,25 = 2,5\%$ -kal nő évente (százalék, nem százalékpont). Vagy hogy egy konkrét példát vegyünk a számítógépekre (formálisan: információfeldolgozó berendezések), az elmúlt évtizedben a relatív árcsökkenés évente körülbelül 10%-os volt a többi fogyasztáshoz képest. A számítógépek aránya 2000-ben körülbelül 2,0% volt. Ha a számítógépek és más áruk közötti helyettesítési rugalmasság 1,25 lenne, akkor az arány egy évtized múlva 2,6%-ra nőne. Ez majdnem pontosan megfelel a tényleges mintázatnak ebben az időszakban.

A Baumol-hatást a két szektoros példára is könnyen kiszámíthatjuk. A fogyasztás növekedése (a szuperlatívan mért Tornqvist-indexben) megegyezik a fogyasztás súlyozott növekedésével, $\int_0^1 h_i(t) \tau_i h_i(t)$. Az alábbi feltételezések alapján

az utolsó bekezdés alapján a fogyasztási index növekedése az évtized során évi 1,20%-ról 1,26%-ra, azaz évente 0,006%-kal nőne. Ez megegyezik a részesedések változásának és a növekedési ráták különbségének szorzatával (részesedések változása = 0,06 százalékpont/év 10%-os növekedési rátakülönbség évente). Megjegyzendő, hogy rugalmas helyettesítés esetén a növekedési ráta ebben a modellben a magas termelékenységű növekedési ágazat növekedése felé tendál. A számítógépek részesedése egy felé tendál, így a súlyozott növekedési ráta az egyszerű példában évi 10% felé tendál.

Ha áttérünk egy több ágazatot érintő példára, az elemzés hasonló, de bonyolultabb. Az elemzést Nordhaus (2008) ismerteti, és itt összefoglaljuk. Tegyük fel, hogy az ideális fogyasztási index növekedési ütemét egy majdnem ideális keresleti rendszer adja, amelyben a fogyasztás növekedése az egyes ágazatokban az áru relatív árának növekedése és egy jövedelmi hatás függvénye. Ha feltételezzük, hogy a jövedelemrugalmasságok nem korrelálnak a relatív árak változásával, akkor az egyes javak átlagos részesedésváltozását az adott jószág relatív árának átlagos változása szorozva a kereslet árrugalmasságának mínusz 1 szorozva a relatív ármozgással határozza meg. Ez tehát a két ágazatra vonatkozó példa analógja, ahol az árrugalmasság helyettesíti a helyettesítési rugalmasságot. A

Az aggregált hatás ezután ennek a kifejezésnek a súlyozott átlaga, valamint az exogén növekedési rátákból és a jövedelmi hatásokból eredő hibák súlyozott átlaga.

VI. A keresleti oldali szingularitás empirikus tesztjei

A Baumol- vagy keresleti oldali szingularitást a különböző javak teljes fogyasztásban való részesedése és a relatív árak alakulása közötti kapcsolat vizsgálatával tesztelhetjük.

Az Egyesült Államok főbb iparágainak tendenciáit vizsgáló korábbi tanulmányomban megállapítottam, hogy a csökkenő relatív termelékenységű és emelkedő relatív árú iparágak tendenciája az, hogy a nominális részesedések és a foglalkoztatási arányok növekednek. Ez összhangban volt a Baumol és munkatársai által fentebb idézett költségbetegséggel kapcsolatban azonosított tendenciával. A következő következtetést vontam le: "A termelékenység növekedésének negatív kapcsolata van a nominális kibocsátás növekedésével. Más szóval, a stagnáló iparágak általában növekvő részesedést vesznek a nominális kibocsátásból; a kapcsolat azonban statisztikailag csak csekély mértékben szignifikáns".

E tanulmány alternatív megközelítése a fogyasztásra összpontosít, mivel ez tűnik természetesebbnek a helyettesítési minták vizsgálatára. Az összetétel hatását úgy tesztelhetjük, hogy megvizsgáljuk, hogy azok az ágazatok, amelyekben a leggyorsabban csökkennek az árak, hajlamosak-e növekvő vagy csökkenő részesedéssel rendelkezni a kiadásokban.

A BEA 1929-től kezdődően hosszú távú adatokat dolgozott ki a fogyasztási kiadásokról és árakról. Ezek az adatok 89 különböző ágazatot tartalmaznak, amelyek mérete a saját tulajdonú lakásoktól a mezőgazdasági üzemekben előállított élelmiszerekig terjed. Elemzésünkben a kiadások változásának logaritmusa és az árváltozás logaritmusa közötti egyszerű regressziót alkalmazzuk a különböző időszakokra. Az eredményeket a táblázat mutatja be, amely¹, az 1929-2012 közötti időszakot vizsgálja mind a részidőszakok, mind a teljes időszak tekintetében.

Bár nincs egységes és szignifikáns előjel, az általános minta pozitív együtthatókat mutat, ami a helyettesítés rugalmatlanságára utal. Ha az 1929 és 2012 közötti teljes időszakot vagy a teljes időszak egyesített részidőszakait vizsgáljuk, akkor egyértelműen a rugalmatlanságra utaló jeleket találunk. Nincs olyan részidőszak, amelynek együtthatói szignifikánsan jeleznék a rugalmasságot, bár az utolsó időszak marginális szignifikanciájú rugalmasságot mutat. Ezek az eredmények összhangban vannak Nordhaus (2008) elemzésével, amely a

termelési mintákra összpontosít.

Egy másik lehetőség az lenne, ha a 2. táblázatban bemutatott főbb információtechnológiai ágazatokat vizsgálnánk. Ezeket nehéz meghatározni, de erre a célra a távközlés, a videoszolgáltatások, az információs berendezések, az internetszolgáltatások, a telefon és a fényképezési szolgáltatások tartoznak ide. Ez az úgazdasági csoport az iparágak összességétől eltérő mintázatot mutat. Az úgazdasági szolgáltatások árai összességében folyamatosan csökkentek, és a részesedések minden részidőszakban emelkedtek. Az úgazdasági ágazatok statisztikai elemzése a Táblázat szerint azonban nem mutat következetes mintázatot a rugalmas keresletre vonatkozóan.

Időszak	Együttható	t-statisztika	Megfigyelések	P-érték
1929-1948	0.25	1.10	48	0.012
1948-1969	0.90	2.59	54	0.012
1969-1990	0.06	0.37	83	0.714
1990-2013	-0.17	-1.58	90	0.118
1929-1969	0.15	0.50	48	0.617
1969-2012	-0.02	-0.26	83	0.796
1929-2012	0.44	2.04	48	0.047
Összevont, minden részidőszak	0.19	2.10	246	0.037

Ez a táblázat a következő regresszióról számol be:

$$\Delta \ln[\text{expendi}(t)]_i = \beta_0 + \beta_1 \Delta \ln[\text{pricei}(t)/\text{pricei}(t)]_i + \epsilon_i(t)$$

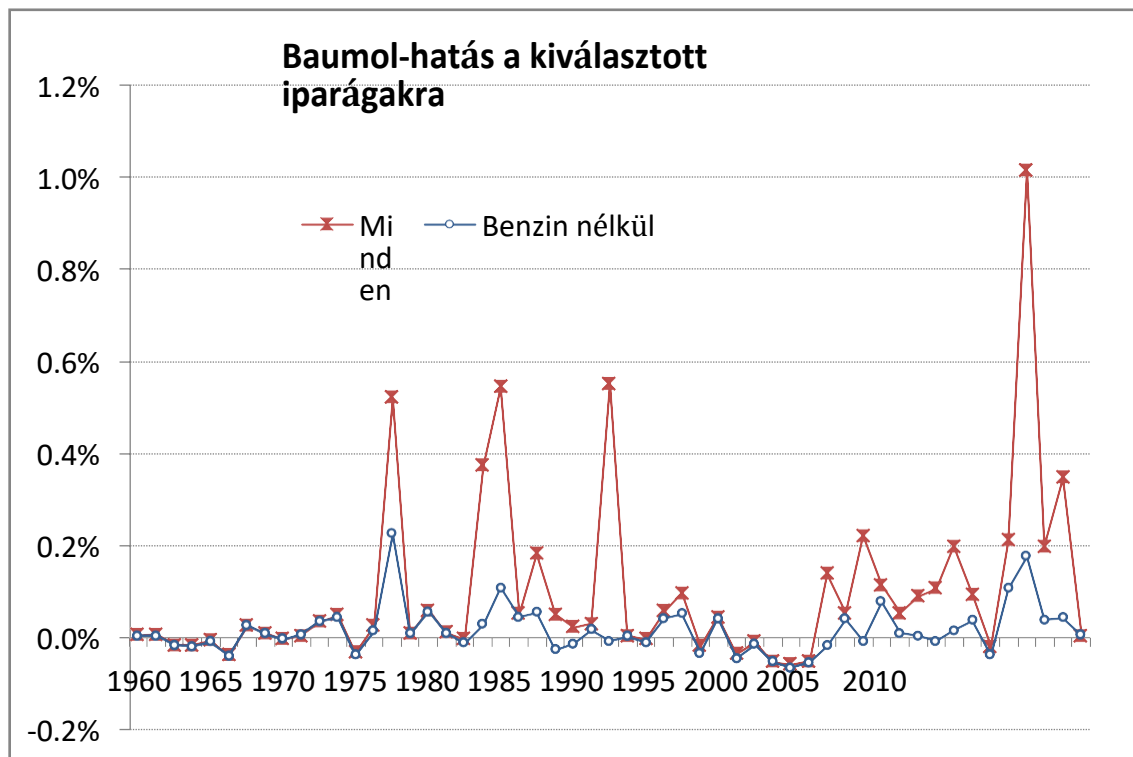
Megjegyzendő, hogy a pozitív ár azt jelzi, hogy a növekvő relatív ár növeli a kiadások arányát, és ezért a kereslet rugalmatlanságára utal.

	Árváltozá s	Részesed és változá sa
1,3%		Távközlés-2,9%-
11,1%-1,8%		Videóberendezések-
Információs		berendezések-
8,2% 21,1% 4,7%		Internet-5,4% 24,7%
Fényképészeti		Távközlés-6,3% 3,3%
6,1%		berendezések-3,2%-

Táblázat Az új gazdasági ágazatok részesedése 2. és árváltozása
Ez a táblázat hat információtechnológiai ágazat relatív árainak és részesedésének átlagos változását mutatja.

A Baumol-féle stagnálási hatás mértéke az itt közölt becslések esetében kicsi. A 2. ábrán a Baumol-hatás számítását mutatjuk be kiválasztott, jól mért iparágakra. ⁵ Ez a részvények változásainak és a logaritmikus árváltozás szorzatának összege. A pozitív szám költségbetegséget jelez. Ezekre az iparágakra a Baumol-hatás évente 0,098%-ot von le az aggregált fogyasztás növekedéséből, ha a benzin is szerepel, és 0,015%-ot von le évente benzin nélkül. A hatás mindkét esetben kicsi, de egyik esetben sem növeli a gazdasági növekedést. A benzin domináns hatása abból adódik, hogy nemcsak nagy a részesedése, hanem rövid távon rendkívül árrugalmatlan is.

⁵ Ezeket azért választottuk ki, mert az árindexek és a reáltermelés mérései megbízhatóak, és mert viszonylag nagy összetételi hatást mutatnak a kibocsátás növekedésének nagy különbségeivel. Az iparágak a következők: Élelmiszer, Saját tulajdonú, nem mezőgazdasági üzemen kívüli lakások imputált bérleti díja, Villamosenergia, Gyógyszeripari termékek, Új gépjárművek, Gépjármű-üzemanyagok, Távközlési szolgáltatások, Internet-hozzáférés, Videó- és hangtechnikai berendezések, Információfeldolgozó berendezések, Magazinok, újságok, könyvek és írószerek, valamint Dohány. Ezek a GDP mintegy egyharmadát teszik ki a következő országokban 2012.



Baumol-hatás2. a kiválasztott, jól mért iparágakra vonatkozó ábra

Ez mutatja a részesedések változásának nettó hatását a fogyasztás növekedésére (Tornqvist-indexként mérve). A pozitív szám ebben a grafikonban az általános növekedés csökkenését jelzi. Ez azt jelzi, hogy átlagosan a növekvő relatív árakkal rendelkező iparágak növekvő részarányt képviselnek a kiadásokban. A pozitív szám tehát stagnáló erőt jelent.

Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a fogyasztáson belüli részesedések változásának Baumol-hatása inkább stagnálást, mint gyorsulást okoz. Egyszerűbben fogalmazva, azok az ágazatok, amelyek a leggyorsabb árcsökkenést tapasztalják, a kiadási részesedésekben is enyhe csökkenést tapasztalnak. Ez a tendencia azt jelenti, hogy az aggregált fogyasztás növekedése idővel lelassulna, ha a mögöttes technológiai trendek stabilak lennének az egyes iparágakon belül. Az arányok változásának hatása a fogyasztás aggregált növekedésére azonban történelmileg rendkívül csekély - évente mínusz 0,1%-os nagyságrendű - volt. Ennek oka az, hogy a magas és alacsony termelékenység-növekedésű iparágak részesedése nem változott számottevően az elmúlt két évtizedben. Ez az első teszt tehát nem utal a keresleti oldali szingularitás jelére.

VII. Kínálati oldali szingularitás

A második gyorsító mechanizmus a termelésben történő helyettesítéssel kapcsolatos. Az elemzés motiválására ismét egy, a Simon-féle modellhez hasonló, két ágazatból álló modellel kezdhetünk. Ebben a modellben két termelési tényező és egyetlen összetett kibocsátás van, amely felhasználható fogyasztásra vagy beruházásra. Az egyik ráfordítás vagy állandó, vagy lassan növekvő, és célszerű úgy gondolni rá, mint a munkaerőre. A másik a termelt tőke, amelyet egy gyorsan fejlődő technológia állít elő. A természetes előállított input, amelyet figyelembe kell venni, az információs technológia, és a gyakorlatban "információs tőkeként" azonosítjuk.

A Baumol-hatással analóg, két inputból álló egyszerű modellben a kulcsparaméter a termelés helyettesítési rugalmassága. Ha a helyettesítési rugalmasság nagyobb, mint egy, akkor az információs tőke egyre nagyobb részt vesz ki a ráfordításokból, és a termelékenység növekedése növekszik. Ha a helyettesítési rugalmasság egynél kisebb, akkor az információs tőke részesedése a termelésben idővel csökken, és az összesített termelékenység növekedése a viszonylag állandó tényező, a munka növekedése felé tendál. Az egység rugalmas Cobb-Douglas esetben a termelékenység növekedése állandó ütemre hajlik.

Nyilvánvalóan vannak más esetek is, mint például a több áru és a több input, amelyeket az alábbiakban tárgyalunk. Az elemzés azonban rendkívül egyszerű az egy áru/kettő input esetében. Az empirikus tesztek pedig viszonylag tiszták. Így a legjobbnak tűnik, ha itt kezdjük, és megnézzük, mit találunk.

A modell továbbfejlesztéséhez egy standard zárt gazdaságú neoklasszikus növekedési modellt használunk állandó megtakarítási rátával és egy bizonyos módosítással.

Tegyük fel, hogy a munkaerő állandó n ütemben növekszik, és hogy minden technológiai változás állandó és gyors ütemben tőkét növelő. Valójában csak az információs tőkét tekintjük endogén változónak, és minden más tőkét a munkába söpörünk.

A modell egyszerű. A kibocsátás és a tőke növekedése a következő

$$(1) \quad Y_t = F(A_t K_t, L_t)$$

$$(2) \quad \dot{K}_t = s Y_t - \delta K_t$$

Tehát a kibocsátás növekedése:

$$(3) \quad g(Y_t) [g_t(A_t) \gamma(K_t)] (1_t)g(L_t)$$

Itt a_t kibocsátás tőkére vonatkozó rugalmassága, amely egy tökéletesen versenyző gazdaságban megegyezne a tőke nemzeti jövedelemben való részesedésével. Az egyenleteket kombinálva megkapjuk:

$$(4) \quad g(Y_t) [g_t(A_t) s Y_t / K_t] (1_t) n$$

Cobb-Douglas gazdaság esetén a $\frac{g_t(A_t) s Y_t}{K_t}$ állandó, ami azt jelenti, hogy

$$(5) \quad g(Y_t) n [/ (1)] g_t(A_t)$$

Ez egy egyenes, kiegyensúlyozott növekedési pálya.

A mi céljaink szempontjából azok az esetek az érdekesebbek, amikor a tőke és a munka közötti helyettesítési rugalmasság (σ) az egyhez képest korlátos. Rugalmatlan termelés esetén $(\sigma = 1)$ a tőke versenyképes részesedése nullára tendál, és a növekedési ráta az egy főre jutó kibocsátás nulla növekedésének stagnálásához vezet:

$$(6) \quad g(Y_t) (1) n n$$

Az akcelerációs eset az, amikor a helyettesítési rugalmasság korlátos egy $(\sigma < 1)$ felett. Az algebra az általános esetben bonyolult, ezért egyszerűsítsük le azzal a feltételezéssel, hogy az információtermelékenység növekedési üteme h konstans. Mivel a termelés rugalmas helyettesíthetőséget mutat, a kibocsátás rugalmassága a tőkéhez (vagy a tőke versenyképes részarányához) az egy felé tendál. Ahogy a termelés

lineáris lesz a tőkével, vagy $Y = c A K^\alpha$, tehát $Y = c e^{ht}$. Ez vezet a szingularitáshoz

eredmény:

$$(7) \quad g(Y) h s Y / K h s (Y / K) e^{h(t-T)}$$

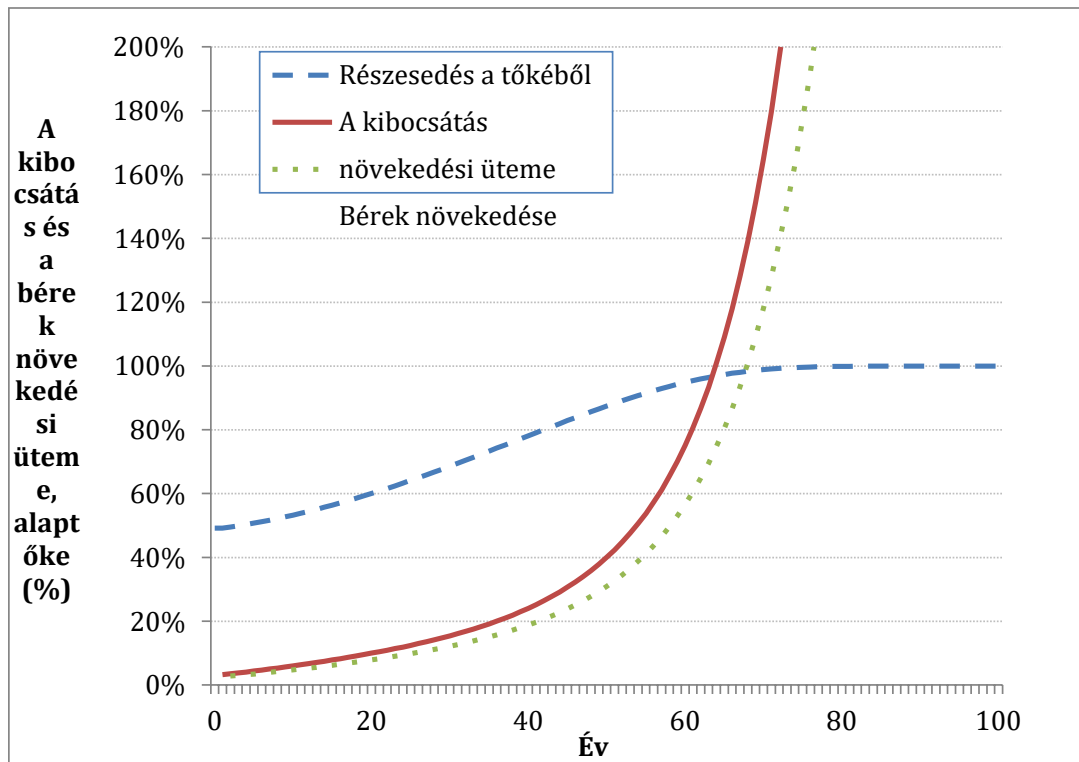
A meglepetés itt az, hogy a kibocsátás növekedése korlátlan. A gazdaság tulajdonképpen nem más, mint az információs tőke által termelt információ, amelyet az információ termel, amely viszont évről évre egyre gyorsabban termel információt. Nem kell ezt az eredményt az abszurd határig feszegetnünk. A három kulcspont inkább az, hogy (1) az információs tőke értékaránya az inputkötegben az egység felé tendál, (2) ennek következtében az információs tőke hozzájárulása növekszik, és végül (3) mivel az információs tőke egy előállított input, a kibocsátás növekedési

üteme felgyorsul.

17

Egy numerikus példa

Ez az eredmény annyira meglepő, hogy numerikus elemzéseket végezhetünk, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy nem tévedésről vagy távoli évezredek lehetőségéről van szó. Hogy ízelítőt kapjunk a dinamikából, végezzünk el egy egyszerű szimulációt. Tegyük fel, hogy a munkaerő állandó, hogy minden technológiai változás évi 10%-kal tőkét növelő, és hogy a munkaerő és az információs tőke közötti helyettesítési rugalmasság 1,25. A 3. ábra a tőke részarányának, valamint a kibocsátás és a bérek növekedési ütemének egy tipikus szimulációját mutatja. A növekedés kb. 70 év elteltével ugrik meg.



ábra Egy növekedési modell szimulációja3. gyors technológiai változással a tőkében és rugalmas helyettesítéssel a munka és a tőke között.

A második meglepő eredmény a gyorsan növekvő növekedésnek a bérekre gyakorolt hatását érinti. A bérek egyre gyorsabban nőnek ebben a specifikációban: a bérek növekedése a 80. évben eléri az évi 200%-ot. A tőke végül gyakorlatilag az egész tortát megkapja, de a munka számára megmaradt morzsák - amelyek valójában az egyre nagyobb tortahegyek kis részei - még mindig fenomenális ütemben nőnek. A pontos időzítés

a paramétereiktől függ, de rugalmas termelés és gyors tőketermelékenység esetén a minta mindig úgy néz ki, mint az ábra 3.

VIII. A kínálati oldali szingularitás tesztjei

A szingularitás felé tartunk? Ha igen, milyen messze van a találkozásunk? Az optimisták úgy vélik, hogy a szuperintelligencia a 21. század közepére megvalósulhat a számítástechnikai teljesítmény fejlődése alapján. A fentiekben kidolgozott gazdasági modelleket alkalmazhatjuk a megfigyelhető gazdasági változók vizsgálatára, amelyek megkülönböztethetik a kínálati oldali gyorsulást a stagnálástól vagy az egyenletes növekedéstől.

A Simon-féle növekedési modell számos olyan előrejelzéssel rendelkezik, amelyek összhangban vannak a gazdasági növekedés szingularitásával. A legkiemelkedőbbek közé tartozik a következő hat diagnosztikai jel.

1. A gyorsuló növekedési modell legfontosabb következménye, hogy a kibocsátás növekedése emelkedik. Ez vagy a munkatermelékenység (LP) növekedése, vagy a teljes tényezőtermelékenység (TFP) növekedése formájában jelenik meg. Bár ez egyértelműen központi előrejelzés, nem nyújt erős differenciáldiagnózist, mivel a termelékenység növekedése más forrásból is származhat.
2. A második fontos és tisztább differenciáldiagnózis az információs tőke arányát érinti a ráfordításokban. Az akcelerációs nézet egyértelmű előrejelzése az, hogy a nominális tőke részesedése a ráfordítások értékében növekszik, és végül egy pontra kell emelkednie.
3. A harmadik előrejelzés az, hogy a beruházások és a tőkejavak relatív árai a kibocsátáshoz képest csökkennek. Valójában a teljes tőke árcsökkenésének az információs tőke árcsökkenése felé kell tendálnia, mivel az információs tőke fokozatosan behatol az egész gazdaságba.
4. Egy további előrejelzés szerint a reáltőke-kiadás arányának nagyon gyors ütemben kellene növekednie.
5. Az információs tőke részesedése a teljes tőkén belül az akcelerációs gazdaságban az egy felé fog nőni.
6. A bérek emelkedése a tőke és a munkaerő közötti helyettesítési rugalmasságtól függ. Megbízható rugalmasság esetén a bérnövekedés rendkívül gyors lesz.

Az alábbiakban olyan mérési problémákat tárgyalunk, amelyek elhomályosíthatják az adatokat, és így elrejtetik a termelékenység gyorsuló növekedését. Míg a vita azt sugallja, hogy ez a mai napig empirikusan viszonylag kicsi az információalapú kibocsátás esetében, ez a

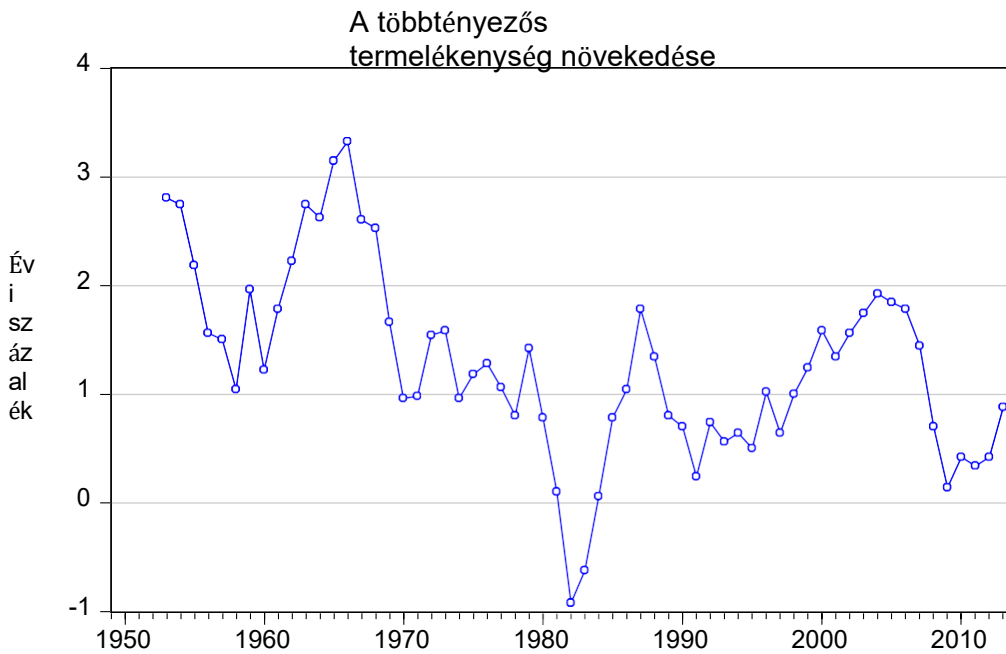
A kritika elsősorban a tesztekre és a vizsgálatokra vonatkozna, és nominális méréseken alapulna, és az ár- és teljesítménymérés hibái nagyrészt nem befolyásolják.

Mindkét vizsgálat megköveteli, hogy a beruházás (vagy tőke) kibocsátáshoz viszonyított árát pontosan mérjék. Ez hasonló a 2. és 5. tesztek megbízhatóságához, de valószínűleg kevésbé hajlamos a torzításra, mivel a kibocsátási ár torzításának egy részét ellensúlyozza a beruházási ár torzítása, mivel ezek ugyanazok a javak. Mindenesetre a tesztek közül legalább kettő (2. és 5.), és talán a leghasznosabbak, nagyrészt immunisak a mérési problémákkal szemben.

1. teszt: A termelékenység növekedésének felgyorsulása?

Az első kérdés az, hogy gyorsul-e a termelékenység növekedése. A 4. ábra a többtényezős termelékenység becslését mutatja az amerikai magánvállalati szektorra vonatkozóan. Az 1949-2014 közötti időszakban a MFP átlagos növekedési üteme évi 1,3%. A MFP-növekedés az időszak során enyhén csökkenő tendenciát mutat. Az azóta eltelt időszakban 1990 a termelékenység a 2000-es évek közepéig növekedett, de aztán a növekedés visszaesett. Az 1990-2012 közötti időszak átlagos MFP-növekedése kissé elmarad ($-0,03 \pm 0,03$ % évente) a korábbi időszakétól.

Az MFP-növekedésről összefoglalva elmondható, hogy a legfrissebb amerikai adatok szerint nincs jele a többtényezős termelékenység gyorsulásának. Még a következő szakaszban tárgyalt lehetséges torzítások mellett is nehéz lenne észrevehető fellendülést észlelni a TFP-növekedésben.



Forrás: Munkaügyi Statisztikai Hivatal. Ötéves mozgó átlag.

ábra A többlettermelés4. termelékenység növekedése, 1949-2014

A többlettermelés termelékenység a Tornqvist-index segítségével méri a teljes kibocsátás növekedését mínusz a teljes ráfordítás növekedése.

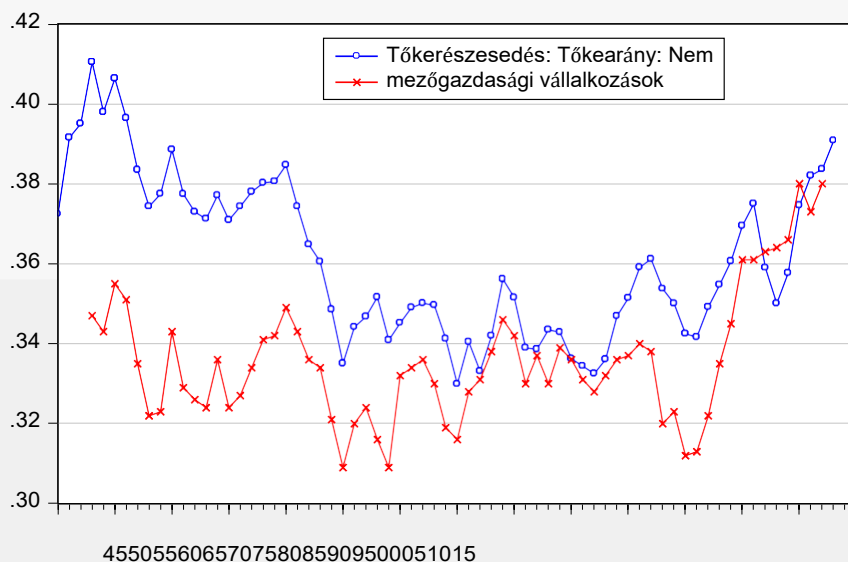
Forrás: Munkaügyi Statisztikai Hivatal: www.bls.gov.

Teszt 2: A tőke növekvő részesedése?

A Singularity központi diagnosztikai előrejelzése a tőke növekvő részesedése a nemzeti jövedelemben. (Megjegyzendő, hogy a növekedési modellben a "részesedés" a kibocsátás tőkéhez viszonyított rugalmasságát jelenti. Ez a paraméter nem megfigyelhető, ezért mi a jövedelemarányt használjuk, amely versenykörülmények között megegyezne a rugalmassággal).

Az 5. ábra a tőke (szigorúan véve a munkajövedelmeken kívüli összes jövedelem) jövedelemhányadának alakulását mutatja az 1948-2013 közötti időszakban. Az egyik ágazati fogalom a teljes gazdaság, a másik a nem mezőgazdasági üzleti szektor. Ez utóbbi jobban mérhető és tisztább meghatározást ad a tőkejövedelemről, mint az előbbi, amely a saját tulajdonú lakásokban, valamint az állami tőkében is tartalmaz egy nagy komponenst. Megjegyzendő, hogy a tőkejövedelem az adatokban számos elemet tartalmaz

a tőke nettó hozamán kívül, mint például az értékcsökkenés, az ásványkincsek után járó jogdíjak, a kamatjövedelem, a tulajdonosok jövedelme és bizonyos munkajövedelmek. Egyes elemzők azt gyanítják, hogy a tőke részesedésének növekedése jelentős részben vagy téves mérés, vagy a lakhatás miatt következik be, ezért az itt szereplő becslések valószínűleg felső korlátot jelentenek a részesedésváltozásra vonatkozóan (Elsby, Hobbijn és Şahin és 2103Rognlie 2015).



5. ábra. Az USA tőkerészesedésének alakulása a teljes gazdaságban és a nem mezőgazdasági üzleti szektorban

Forrás: Bureau of Economic Analysis és az Egyesült Államok Munkaügyi Statisztikai Hivatala.

A 3. táblázat a két ágazat részesedésének regresszióit mutatja be 1990-ben és 2000-ben a trend megszakításával és anélkül. Mindkettő 1990 óta kis mértékű, évente körülbelül 0,2 százalékpontos, 2000 óta pedig évente közel 0,5 százalékpontos emelkedő tendenciát mutat. Ez a tendencia a nyers adatok szintjén alátámasztja a gyorsulási hipotézist. Mivel azonban nem ismerjük jól a tőke részarányának növekedésének okait, további kutatásokra lenne szükség annak megállapítására, hogy van-e kapcsolat az emelkedés és a tőketermelékenység, különösen az információs tőke gyors növekedése között.

A jövőbeli tendenciák előrejelzése, mint amilyen a tőke részesedése az 5. ábrán látható, egyértelműen primitív feladat. Az előrejelzések azonban hasznosak ahhoz, hogy némi perspektívát nyújtsanak arra vonatkozóan, hogy a szingularitás mikor válhat nyilvánvalóvá. Az alábbiakban bemutatott szimulációs modellünk

A 2. ábra azt mutatja, hogy a kibocsátás gyorsulása akkor válik nyilvánvalóvá (a növekedési ütem átlépi az évi 20%-os küszöbértéket), amikor a tőke részesedése átlépi a 80%-os szintet. A 3. táblázat utolsó becsléssorozatának alapjául szolgáló regressziós modell előrejelzéséből származó növekedési ütem (évi +0,47%) mellett a 80%-os arányt csak 2100-ban érjük el (plusz vagy mínusz 20 év, a regresszió mintaidőszakától függően). Tehát bár a teszt pozitív, a szingularitás e diagnosztikai teszt segítségével látszólag sok évtizeddel a jövőben van.

	Trend	Trend azóta 1990	Trend azóta 2000
Nem mezőgazdasági vállalkozások	-0.04%		
Együttható t-statisztika	-3.71		
Együttható t-statisztika	-0.15% 12.33	0.21% 12.33	
Együttható t-statisztika	-0.10% -9.66		0.42% 8.59
Általános gazdaság	0.03%		
Együttható t-statisztika	2.84		
Együttható t-statisztika	-0.03% -2.40	0.19% 5.77	
Együttható t-statisztika	-0.02% -2.20		0.47% 8.98

Táblázat Regressziós3. együtthatók a tőkearányt függő változóként tartalmazó egyenlethez, valamint az 1990-es és 2000-es trendek időbeli és töréspontjai. Az együttható alatti szám a t-statisztikus érték.

Forrás: Az 5. ábrán szereplő forrásokból származó adatok.

3. teszt: A beruházási javak árának gyorsuló csökkenése?

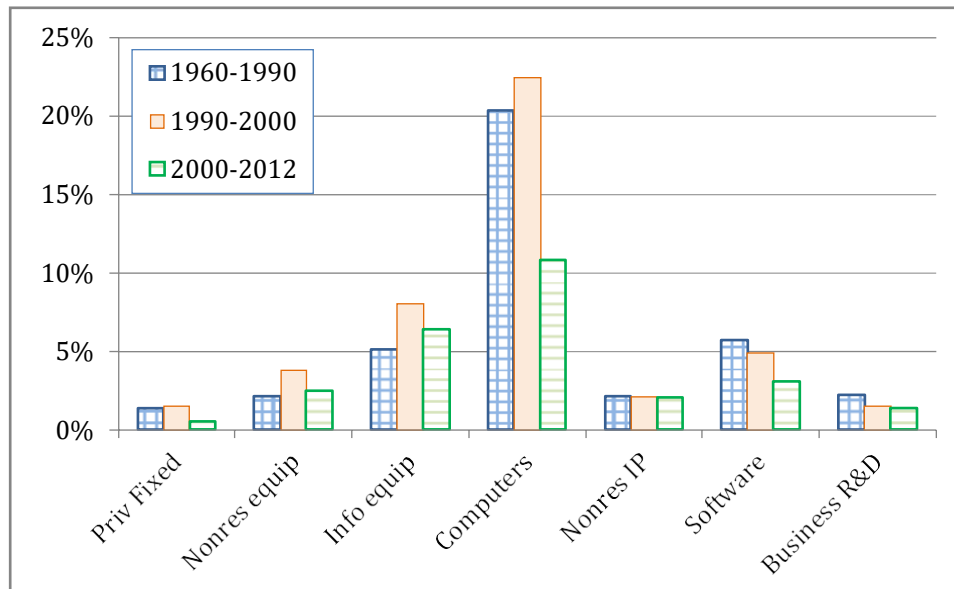
A beruházások és a beruházási javak ára a kibocsátás (GDP), a fogyasztás és a munkaerő árához viszonyítva az elmúlt fél évszázad nagy részében csökkent. Mivel az akcelerációs hipotézis szerint a tőkejavak ára folyamatosan csökken.

gyorsabban, megvizsgáljuk a tőkejavak különböző meghatározásainak árát. Az árindex kiszámításához a folyó költségű tőkeállomány és a BEA által kidolgozott tőke mennyiségi indexének arányát veszem.⁶

A 6. ábra hét fontos adatsor esetében mutatja a csökkenés mértékét. Ez a tőkeállomány árának csökkenését mutatja a munkaerő béréhez viszonyítva, mivel a növekedési modellben ez a termelési függvény fontos változója. Miközben a tőkeárak tovább csökkentek, az elmúlt évtizedben nem történt jelentős változás; sőt, mind a hat ágazat vagy ugyanolyan vagy lassabb relatív árcsökkenést mutat az elmúlt időszakban.

A gyorsulási hipotézis szempontjából a legfontosabb változó, amelyet vizsgálni kell, az összes tőkejavak árának a bérekhez viszonyított csökkenése. Ebből a célból megvizsgáljuk az összes "magán állóeszközt", amely magában foglalja az üzleti épületeket és berendezéseket, a lakóépületeket és a szellemi tulajdont. A relatív árcsökkenés itt (a 6. ábra első oszlopsoraként látható) az 1960-1990, 1990-2000 és 2000-2012 közötti időszakban évente 1,4, 1,5 és 0,5 százalék volt. Világos, hogy ezek nem csak kis mértékű csökkenések, de egyáltalán nem is gyorsulnak.

⁶A tőkekészletekre vonatkozó folyó költségű becsléseket úgy kapjuk, hogy a készletekre vonatkozó állandó dollárban kifejezett becsléseket a folyó időszak áraira alakítjuk át. A láncípusú mennyiségi indexeket a Fisher-féle mennyiségi index képletével számítják ki. Az aránynak a Fisher-indexek önreflexív tulajdonsága alapján a Fisher-indexek ideális árindexének kell lennie. Lásd BEA (2003).



Ábra A tőkeárak csökkenésének mértéke6. a munkaerő bérszínvonalához viszonyítva.

Forrás: Bureau of Economic Analysis.

4. teszt: Gyorsan növekvő tőke-kibocsátási arány?

Egy másik fontos diagnosztikai mutató a reáltőke-kiadás arányra vonatkozik. Amint az a fent vázolt növekedési modellben látható, a tőke minőségének gyors növekedése azt jelenti, hogy a tőkeállomány (hatékonysági egységekben kifejezve) egyre gyorsabban növekszik a kibocsátáshoz képest. Az emelkedés azért következik be, mert az információs tőke gyorsan növekszik, és azért is, mert az információs tőke nagyobb részt vesz ki a tőkeállományból.⁷

A 4. táblázat a reáltőke-kiadás arányának alakulását mutatja 1960 óta. A feltüntetett tőkeállományok a magántőke különböző összetevői, amelyeket a Bureau of Economic Analysis és más kormányzati ügynökségek a minőségre korrigáltak. A kibocsátás mérőszáma a bruttó üzleti termék. Az első sor azt mutatja, hogy a teljes

⁷ A 3. és 4. vizsgálat közötti kapcsolat a következő. Legyen pK = a tőkejavak ára, V = a tőke folyó áron számított értéke, K = a tőke mennyisége, pY = a kibocsátás ára, Y = a kibocsátás mennyisége és Q = a kibocsátás nominális értéke. A mennyiségeket mindkét esetben nominális értékek és árindexek hányadosaként mérjük. A 4. tesztben a reáltőke-kibocsátás aránya $K/Y = (pK/pY)/(pK/pY)$, míg az árkonok a tesztben $3pK/pY$. A különbség tehát a tőke részesedése a nemzeti kibocsátásban.

a tőke-kiadás aránya lassan csökkent ebben az időszakban, bár az utolsó alperiódusban közel állandó volt. Ha az információs tőkekomponenseket nézzük, ezek a kibocsátáshoz viszonyítva emelkedtek, de csak szerény mértékben. Mindenesetre az információs tőke hozzájárulása összességében túl kicsi volt ahhoz, hogy a tőke-kibocsátás arány növekedéséhez vezessen.

Szektor	1960-1990	1990-2000	2000-2012
Magán			-0.5%-1.2%.
állószerkezetek			0.7%0.4%06%
Berendezések			0.6%0.4%0.6%
Nem lakáscélú berendezések			6.4%5.5%3.9%
Információfeldolgozó berendezések			na21,1%6,3%
Számítógépek és perifériák Szellemi tulajdonú termékek			4.3%4.4%4.1%
Nem lakáscélú szellemi termékek Szoftver			2.0%2.1%1.8%
Kutatás és fejlesztés			18.2%10.2%3.2%
Ágazatok			2.5%0.4%1.4%

5. teszt: Az információs tőke aránya növekszik?

Egy további teszt az, hogy az információs tőkének a tőkeállomány növekvő hányadát kell képviselnie. Valójában, ahogy a gazdaság közeledik a szingularitáshoz, az információs tőke részarányának meg kell közelítenie a 100%-ot.

Az 5. táblázat az információs tőke részesedését mutatja a teljes magánvagyonból. (Ezek a magán állószerkezetek folyó áron számított nettó állománya.) Egyértelmű, hogy az információs tőke egyre fontosabb részévé válik a tőkeállománynak. A növekedés különösen erős a szellemi tulajdonú termékek

esetében. Meglepő módon a számítógépek és az információfeldolgozó berendezések részesedése csökkent az elmúlt években.

a legutóbbi időszakban. Úgy tűnik tehát, hogy ez a teszt megfelel a szingularitás nézetének, bár még hosszú út áll előttünk, amíg ezek az ágazatok uralják a befektetéseket.

Annak megállapításához, hogy a közeljövőben van-e fordulópont, az információs tőke arányát az 1960-2012 közötti időszakra vonatkozó növekedési ütemmel vetítjük előre a jövőre. Számszerű példánk azt sugallja, hogy a növekedési ütem akkor kezd felgyorsulni, amikor a tőke aránya meghaladja a jövedelem 80%-át. Az 5. táblázatban szereplő extrapolációnk azt jelzi, hogy ez a következő évszázadban nem következik be, így a szingularitás e teszt alapján legfeljebb távolinak tűnik.

Szektor	1960	1990	2012
Berendezések		17.6%	19.2%
Nem lakáscélú berendezések	%	17.3%	19.0%
Információfeldolgozó berendezések	%	17.3%	19.0%
Számítógépek és perifériák		1.8%	4.5%
Szellemi tulajdonú termékek		0.0%	0.7%
Nem lakáscélú szellemi termékek		2.8%	4.6%
Szoftver		2.8%	4.6%
Kutatás és fejlesztés		0.0%	0.7%
5. táblázat. Az információs tőke aránya a teljes tőkén belül		2.8%	4.6%
Forrás: A Bizottság: Gazdasági Elemzési Hivatal		0.0%	0.7%
		1.5%	2.8%
		3.6%	

6. teszt: Növekvő bérnövekedés?

Az utolsó teszt az, hogy a béreknek gyorsabban kellene nőniük. A bérek

gyorsulásának mértéke a helyettesítési rugalmasságtól függ, de amíg a rugalmasság nem túl nagy, a bérek az egy munkaóra jutó kibocsátás növekedési üteméhez közeli ütemben fognak nőni.

A táblázat a reáljövedelem két alternatív mérőszámának alakulását mutatja a teljes gazdaságra és a magánvállalkozói szektorra vonatkozóan. (Megjegyzendő, hogy ez nem a fogyasztói árindexszel, hanem a kibocsátási árindexszel oszt, így az eredmények eltérnek.

az általában idézettektől. Ezenkívül ez a mérőszám a béren kívüli juttatásokat is magában foglaló kompenzáció, nem pedig csak a béreket vagy a béreket és a fizetéseket). A reálbérek az új gazdaság első évtizedében (1990-2000) kissé felgyorsultak, de a növekedés az ezt követő időszakban lelassult. A reálbér-teszt tehát egyértelműen nem mutatja a szingularitás jeleit.

Reálbér-növekedés (éves átlag %/év)

Időszak	Teljes gazdaság	Magánvállalkozás
1960-1990	1.8%	2.3%
1990-2000	2.0%	2.6%
2000-2013	1.1%	1.5%

Táblázat A reáltermék-bérek növekedése6., különböző időszakok
 Forrás: Bureau of Economic Analysis és Bureau of Labor Statistics

IX. A szingularitás tesztjeinek összefoglalása

A 7. táblázat a Singularity tesztek összefoglalóját mutatja be. A hét tesztből öt negatív a Singularityre, míg kettő pozitív. A két pozitív teszt esetében azt is ki tudjuk számítani, hogy milyen messze vagyunk a szingularitás pontjától. A szingularitást úgy definiálom, mint amikor a gazdasági növekedés mértéke meghaladja az évi 20%-ot. Egyszerű extrapolációval a két pozitív teszt esetében az az időpont, amikor a gazdaság valószínűsíthetően átlépi a szingularitást, 100 év vagy annál több.

Forrás	Az eredmény y teszt	Idő, amíg szingularitás
Keresletli oldal		
Baumol-hatás a magas termelékenységű iparágak részesedésére	Negatív	x
Rugalmas oldal		
1. teszt: A termelékenység növekedésének felgyorsulása	Negatív	x
Teszt 2: A tőke növekvő részesedése	Pozitív	100 év \pm év20
3. teszt: A beruházási javak árának növekvő csökkenése	Negatív	x
4. teszt: Gyorsan növekvő tőke-kibocsátás arány	Negatív	x
5. teszt: Az információs tőke részarányának növekedése	Pozitív	>100 év
6. teszt: A bérek növekedése	Negatív	x

Táblázat A szingularitási tesztek eredményei 7. és a szingularitásig eltelt idő Forrás: Korábbi ábrák és táblázatok

X. Értelmezések és kifejtések

A fenti vizsgálatok és elmélet számos értelmezési kérdést vet fel. Megfontolom a minimális erőforrás-ráfordítások, a heterogén munkaerő, a mérési problémák, a szinguláris gazdaság társadalmi struktúrája és a gonosz ügynökökkel kapcsolatos aggályok kérdését.

a. Az alapvető fizikai törvények megsértése

Mindezzel az elemzéssel szemben azonnal az a kifogás jut eszembe, hogy a gyorsuláselmélet nem sérti-e a természet alapvető törvényeit. Minden folyamatnak minimális energiára van szüksége, és az energia korlátozott, ha túl sok van belőle. További lehetséges korlátozó erőforrások a friss és tiszta víz, az oxigén és a gépek építéséhez szükséges egzotikus ásványi anyagok. Egyesek a termodinamika második törvényére hivatkoznának, amely szerint a növekvő rendet máshol növekvő rendetlenséggel kell ellensúlyozni.

Az itt felmerülő kérdések túl mélyrehatóak ahhoz, hogy jelen tanulmányban megfelelően lehessen velük foglalkozni. Bár valóban minden termelési folyamathoz szükség van bizonyos erőforrásokra, a ráfordítások elméletileg jelentősen csökkenthetők, és potenciálisan olyan gyorsan, ahogyan a termelés növekszik. Ez szemléletesen szemléltethető a számítás esetében. Egy korai számítógép volt az ENIAC (az 1. ábrán balra fent látható). Működéséhez körülbelül kW-ra 150 volt szükség, azaz lebegőpontos műveletenként (flop) körülbelül 55 watt. Egy mai asztali számítógépnek körülbelül 75 watt van szüksége ^{10¹³} flop előállításához. Bár ez csak közelítés, ez a számítás azt mutatja, hogy a számítások energiaigénye 10 000 000 000 000 000-szeresére csökkent. Az elmúlt években az energiafelhasználás körülbelül a számítógépek fejlődésének ütemével csökkent.

Az erőforrásokkal kapcsolatban tehát a lényeg az, hogy *legalábbis elméletben* az anyaghasználat és a miniaturizálás fejlődése legyőzheti a növekedés gyorsulásának fizikai korlátait. Ahogy Richard Feynman mondta: "Rengeteg hely van az alján".

b. Heterogén munkaerő a növekedési modellben

Az információ és a termelékenység fent elemzett Simon-féle növekedési modelljének hiányossága, hogy heterogén tőkét és munkát feltételez. A Baumol-példában heterogén kimenetet veszünk figyelembe. Ebben a szakaszban megvizsgáljuk, hogy milyen érdekes következményei vannak annak, ha az elemzéshez heterogén munkaerőt adunk hozzá.

A közgazdászok általában úgy találták, hogy a szakképzett munkavállalók jobban alkalmazkodnak az információs technológia gyors változásaihoz, mint a közép-, kézi- vagy szakképzetlen munkavállalók. A folyamatot szépen összefoglalja Autor (2014):

A "rutinfeladatok" [olyanok], amelyek kimerítő szabályrendszert követnek, és ezért könnyen számítógépesíthetők. A rutinfeladatok számos középfokú képzettséget igénylő kognitív és manuális tevékenységre jellemzőek, mint például a könyvelés, az irodai munka és az ismétlődő termelési feladatok. Mivel e foglalkozások alapfeladatai pontos, jól ismert eljárásokat követnek, ezeket egyre inkább számítógépes szoftverekbe kódolják és gépek végzik. Ez az erő az irodai, adminisztratív támogató és - kisebb mértékben - a termelési és operatív foglalkoztatás jelentős csökkenéséhez vezetett... [135].

A Simon-modellt kiterjeszthetjük a heterogén munkaerőre, ha néhány poláris esetet vizsgálunk. Tegyük fel például, hogy a képzetlen munkaerő tökéletesen helyettesíti az információs tőkét, míg a másik input a képzett munkaerő. A szakképzett munkaerő a fentiekhez hasonlóan magas, de tökéletlen helyettesíthetőséggel rendelkezik a tőkével. Ezután közvetlenül alkalmazzuk a fenti elemzést. A képzetlen munkaerő határterméke és bére a tőkeárakkal arányosan csökken. Reálisabb esetben, ha a szakképzetlen munkaerőnek van rezervációs bére, mondjuk a jövedelemtámogatás miatt, a szakképzetlen munkaerő munkanélküliségi rátája egységre emelkedik, és a szakképzetlen munkaerő foglalkoztatása a nullához közelít.

Történelmi analógiaként tekintsük meg a tizenkilencedik századi emberi számológépek sorsát. Amint azt Nordhaus (2007) elmagyarázza, 1900 körül forradalom következett be az emberi számológépek alkalmazásában. Orton a számolásról szóló könyvében azt írja: "Két, három vagy négy számoszlopot egyszerre összeadni sokan herculesi feladatnak tartják, és csak a tehetséges kevesek, vagyis a matematikai csodagyerekek képesek rá". (Orton 1866, v. o.) A "villámszámítók", a számoszlopokat gyorsan összeadni tudó csodagyerekek prémiumnak számítottak.

John D. Rockefeller valóban bajnok villámszámítógép volt, mielőtt bajnok monopolista lett. A számológépek megjelenése mindezt megváltoztatta. A kvízműsoroktól eltekintve ma már nulla a kereslet a villámszámológépek iránt. Ilyen lenne a szakképzetlen munkaerő sorsa ebben az egyszerű kétmunkaidős modellben, ahogy közeledünk a szingularitáshoz.

Mi a helyzet a szakképzett munkaerővel? Az itt leírt egyszerű, két munkabevitelt igénylő modellben a szakképzett munkaerőnek ugyanaz lenne a jövője, mint az

egymunkás Simon-modellben. A nemzeti jövedelemben való részesedése a nulla felé tendálna, ahogy a tőke átveszi a gazdaság irányítását. De a

a szakképzett munkaerő teljes mértékben foglalkoztatva lenne, és a bérek gyorsan emelkedni kezdenének, amint azt az 1. ábra mutatja. A társadalmi és gazdasági polarizációnak bosszút állna.

Talán a hatások mintázata megfordulna, ahogyan azt Autor (2014) javasolja. Talán a szakképzett munkaerő munkáját helyettesítené az információs technológia, míg a szakképzetlen munkaerő lenne az egyetlen olyan csoport, amely nem lenne kitéve az információs technológia általi helyettesítésnek. Talán a betegetek orvosok helyett számítógépek diagnosztizálnák és kezelnék. A tanórákat nem doktoranduszok, hanem számítógépes oktatók és virtuális tanársegédek tartanák online. A központi bankokat Milton Friedman víziója szerint végre számítógépes szabályokkal irányítanák a tökéletlen mérlegelés helyett. A dolgozók csak bekötnék a monitorokat, bedugnák a gépeket, és gondoskodnának arról, hogy a Fed a legújabb operációs rendszerrel rendelkezzen. Mivel a képzettségi ranglétra kétirányú, a szakképzett dolgozók lemondanának a szakképzettségi diplomájukról, miközben a szakképzett munkahelyek eltűnnének, és az egész emberiség a számítógépek képzetlen tanoncaivá válna. Ekkor visszatérünk a Simon-modellhez, de ebben az esetben az egyetlen tényező a képzetlen munkaerő lenne. Meglepő módon sokkal nagyobb a munkaerő-piaci egyenlőség, mint az első példában.

c. Mérési kérdések

A gyorsítás empirikus tesztjeivel kapcsolatban az egyik aggály az, hogy a termelékenység jelentős növekedését a rossz mérés elrejtí. Hal Varian, a Google vezető közgazdásza szerint a Szilícium-völgyből származó eszközök, alkalmazások és egyéb digitális innovációk miatt a termelékenység robbanásszerű növekedése zajlik. "Nem értékeljük eléggé, ami a Szilícium-völgyben történik, mert nincs jó módszerünk a mérésre". (WSJ 2015).

Az új és továbbfejlesztett áruk és szolgáltatások hozzájárulásának mérésével kapcsolatos kérdéseket alaposan tanulmányozták, és számos kényes kérdést vetnek fel. A legfontosabb hiányosságok az új vagy gyorsan javuló áruk árának nem megfelelő méréséből adódnak. (Emlékezzünk arra, hogy a "reáltermelés" növekedése a nominális kibocsátás növekedése, csökkentve az áru árváltozásának mértékével. Ha tehát az árnövekedést túlbecsülik, mint a nem megfelelő minőségi kiigazítás esetén, akkor a reáltermelés növekedése alulbecsült lesz). További kérdések merülnek fel, ha a javak ingyenesek.

A mobiltelefonok esetében szemléltethetjük a kérdést. Kezdetben ezek egy új árucikket érintettek, így nem lehetett volna pontosan összehasonlítani a

hogyan esett a "mobiltelefon-szolgáltatás" ára. Ha a mobiltelefonokat a termékciklus késői szakaszában vezetik be, a csökkenő árakból eredő fogyasztói jólétnövekedés elmarad. A második kérdés a minőségváltozással kapcsolatos. A minőség javulását (ami egy szabványosított áru árának csökkenésével jár) nehéz mérni, mivel a mobiltelefonok tervezésében a sok csomagban lévő alkalmazással együtt gyors fejlődés következett be. Egy harmadik probléma azért merül fel, mert az okostelefonon nyújtott szolgáltatások közül soknak (például zseblámpa, térkép, időjárás-előrejelzés és hasonló) nulla az ára. A nemzeti kibocsátás elszámolásának konvenciói szerint ezeknek a szolgáltatásoknak az értéke szintén nulla, mivel az árukat piaci áron értékelik. E tényezők jelenléte áll Varian és mások azon állítása mögött, hogy a tényleges (szemben a mért) termelékenység valójában gyorsan növekszik.

Üzleti és fogyasztói felhasználás

Mit kezdünk ezekkel az állításokkal? A kérdés egy részét, amely az informatika vállalatok általi felhasználását érinti, gyorsan elintézhethetjük. Amennyiben az IT növeli a vállalatok termelékenységét, mint helytelenül mért köztes termék, akkor ez az iparág termelékenységeként jelenik meg. Ha például az ingyenes internetszolgáltatások nagymértékben megnövelnék a légitársaságok azon képességét, hogy hatékonyabban használják ki a flottájukat, akkor a légitársaságok mért termelékenységnövekedése növekedne. Tehát az informatika, amely köztes termékként vagy tőkeszolgáltatásként kerül a vállalkozásokhoz, nem vezetne alulbecsült aggregált termelékenységnövekedéshez.

Milyen arányban vannak jelen a fogyasztók és az üzleti vállalkozások az informatikában? Megnézhetjük a részletes input-output táblázatokat, hogy képet kapjunk a nagyságrendekről. A legfontosabb tizenegy informatikai ágazatot⁸ figyelembe véve a bruttó kibocsátást feloszthatjuk a fogyasztóknak és a vállalkozásoknak jutó részre. Az előbbieket a személyes fogyasztási kiadások között szerepelnek, míg az utóbbiak beruházási vagy közbenső beszerzések. Az input-output struktúrát tekintve a következők 2002, voltak 1217 milliárd dollárnyi, belföldön vásárolt informatikai termék és szolgáltatás (a GDP mintegy 11%-a). Ennek 77%-át a vállalkozások, 23%-át a fogyasztók vásárolták. A legfontosabb fogyasztói szolgáltatás a távközlés volt, ahol a fogyasztók a következő szolgáltatások mintegy felét vásárolták meg

⁸ Az ágazatok a következők voltak: Számítógépek és perifériás berendezések, Hang-, video- és kommunikációs berendezések, Félvezetők és elektronikus alkatrészek, Elektronikus műszerek, Szoftverkiadók, Kábelhálózatok és programterjesztés, Internetes kiadás és műsorszórás, Távközlés, Adatfeldolgozási szolgáltatások, Egyéb információs szolgáltatások, valamint Számítógépek

rendszerek tervezése és kapcsolódó szolgáltatások. Az adatok a www.bea.gov honlapról származnak.

a teljes kibocsátás. Ezeket a számokat figyelembe véve valószínűnek tűnik, hogy az IT termelékenységi hatásainak nagy része vagy az üzleti kibocsátásban, vagy az üzleti termelékenységben fog jelentkezni.

A fogyasztók informatikai vásárlásait figyelembe véve ezek a GDP mintegy 2,5 százalékát teszik ki. Ha ezeknek a termékeknek a termelékenységnövekedését évente 10 %-kal alulbecsülnénk (ez minden bizonnyal felső határ), akkor az összesített termelékenységet évente 0,025 %-kal becsülnénk alul. Ez aligha változtat az elmúlt évtized termelékenységének lassulásán.

A fogyasztói többlet mérése

A második kérdés a fogyasztóknak nyújtott ingyenes szolgáltatások nyújtása (a vállalkozásoknak nyújtott ingyenes szolgáltatások az utolsó szakasz hatálya alá tartoznak, és kizárhatók). Lehet, hogy az ilyen szolgáltatások nyújtásából származó fogyasztói többlet hatalmas. Ez egy ősi probléma a nemzeti jövedelemszámításban. Ha az ár nulla, akkor a fogyasztók számára a határérték nulla, és ez a szokásos értékelés. De lehet, hogy az inframarginális egységek nagy értéket képviselnek, és ezek a korábbi időszakokban nem álltak rendelkezésre.

Itt két kérdés merül fel. Először is, meg kell kérdeznünk, hogy az informatika nem mért értékének értéke hogyan viszonyul a korábbi időszakok új termékeihez és szolgáltatásaihoz. Gordon (2012, 2015) meggyőzően érvel amellett, hogy a 19th. és 20. századi találmányok nem mért értéke eltölpül az IT értéke mellett. Olyan példákat hozhatunk fel, mint a beltéri vízvezeték, az altatószerek, az elektromosság, a rádió, a gépjárművek, a világítás, a fényképezés, az antibiotikumok, vagy akár az alantas cipzár, mint példákat a hatalmas mérhetetlen fogyasztói többlettel rendelkező javakra.

Másodszor, a fogyasztói többlet figyelembevételének kérdése leküzdhetetlen mérési akadályokat vet fel. Ha ezt az utat követjük, akkor belefutunk a "nullproblémába", amely akkor merül fel, amikor a teljes hasznosságot vagy boldogságot próbáljuk mérni ahelyett, hogy az értéket határértékek segítségével mérnénk. Íme a probléma magyarázata a víz fogyasztói többletének példáján keresztül.⁹ Tegyük fel, hogy a nemzeti számlákban a vízszolgáltatások fogyasztásának teljes értékét akarjuk mérni. Ekkor integrálnunk kell a határfeleslegeket egy bizonyos "nulla" szint és a jelenlegi fogyasztás között. De mit értünk nulla alatt? A szó szoros értelmében nulla vízfogyasztást, amely esetben a fogyasztói többlet megegyezik magának az életnek az értékével, és végtelen? Vagy az a szint, amelyen a

⁹ Ez William Nordhaus: "Principles of National Accounting for Nonmarket Accounts" című

könyvből származik, in: Dale W. Jorgenson, J. Steven Landefeld és William D. Nordhaus, szerk., *A New Architecture for the U.S. National Accounts*, Chicago, University of Chicago Press, 143-160. o..2006,

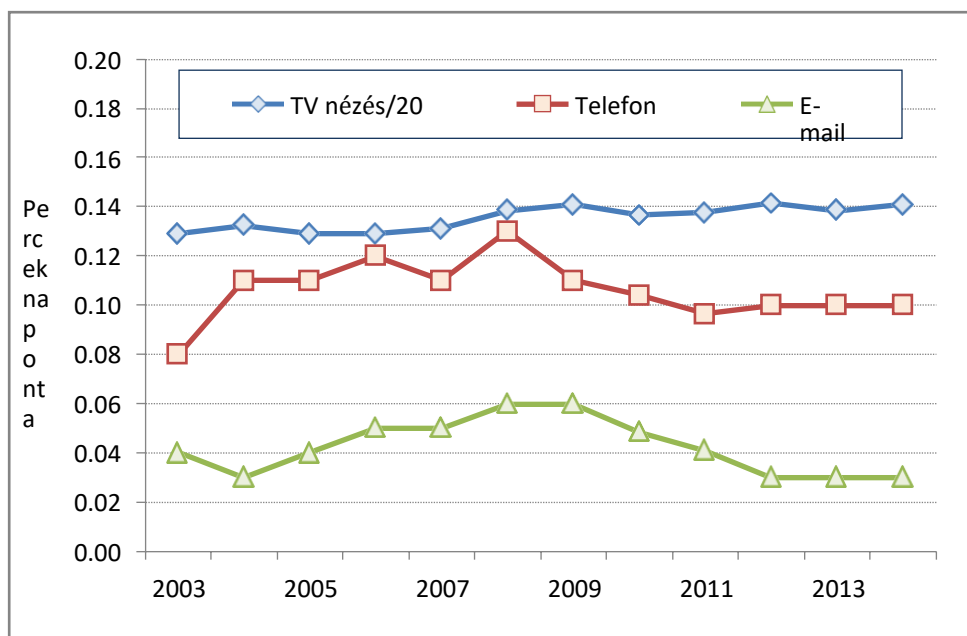
fogyasztás az iparosodás előtti időkben? Ha igen, akkor az iparosodás előtti idők az 1700-as évekre vonatkoznak, amikor az Egyesült Államokban bőséges volt a víz? Vagy arra az időre, amikor az emberek először keltek át a Bering-földhídon, amikor a jég bőséges volt, de a víz kevés? Ha túl sok területen próbáljuk meg a szükségleti cikkek teljes többletét alacsony "nullákkal" mérni, akkor kétségtelenül többszörös végtelenséggel találjuk magunkat a kritikus javak és szolgáltatások értékének többszörös végtelenségében. Ha csak néhány gondolatot is végigjárunk ezen az úton, gyorsan arra a következtetésre jutunk, hogy a kibocsátás és a jövedelem mérése céljából a legjobb, ha a szokásos megközelítésre hagyatkozunk, azaz minden ágazatban a határértékek használatára.

Időfelhasználás az ingyenes áruk és szolgáltatások kiegészítéseként

Az informatika mint nem mért kibocsátás szerepének vizsgálatának utolsó módja az információs tevékenységekre fordított idő vizsgálata (ezt a megközelítést Goolsbee és Klenow 2005-ben vezette be). Ezt a megközelítést alkalmazhatjuk a fogyasztói többlet becslésére (fenntartásaink ellenére), vagy - a mi kontextusunkban megfelelőbb - az e szolgáltatások árainak és kibocsátásának helytelen mérése által okozott hibák becslésére.

Az amerikaiak időfelhasználásáról átfogó adatok állnak rendelkezésre, amelyeket azóta gyűjtenek 2003.

Bár tartalmazza az e-mail használatot, nem tartalmazza a teljes internethasználatot. A 7. ábra a televízió (20-szorosára csökkentett), a telefon és az e-mail háztartási használatának történetét mutatja. Ez sajnos nem tartalmaz átfogó felmérést az internethasználatról. Két pont szembevetendő. Az egyik az, hogy a populáris kultúrában erősen eltúlzott elképzelés él arról, hogy az amerikaiak átlagosan mennyi időt töltenek e-mailezéssel. Itt a számadat 0,03 óra naponta, ami nagyságrendekkel kevesebb, mint a napi 3 óra tévénézés. A második szembevetendő jellemző, hogy az elmúlt évtizedben az e-mailre fordított idő valójában csökkent, míg a tévénézésre fordított idő enyhén nőtt.



ábra Az elektronikus médiahasználat ideje7. az amerikai háztartásokban Forrás: Amerikai időfelhasználási felmérés (atus.bea.gov)

Más, kevésbé átfogó adatok alapján ezek a számok valószínűleg súlyosan alábecsülik az internethasználatot. A Nielson (2015) adatai a túljelentkezéssel kiigazítva azt mutatják, hogy az emberek valamivel kevesebb mint két órát töltenek naponta az interneten, nagyjából egyenlően elosztva a számítógépek és az okostelefonok között. Íme egy szemléltető számítás. Tegyük fel, hogy egy átlagos személy naponta 1,5 órát tölt az interneten. Tegyük fel továbbá, hogy ezt az időt az adózás utáni 18 dolláros órabér határértékén értékelik, és hogy ez az idő más, ennek az értéknek a felére értékelt időt helyettesít (mondjuk tévézés vagy házimunka). Tegyük fel továbbá, hogy az internetezésre fordított idő egyharmada személyes, nem pedig üzleti vagy instrumentális célokat szolgál. Ekkor a 245 millió felnőtt népességre vetítve a teljes nem mért érték 2015-ben valamivel több mint 135 milliárd dollár, azaz a GDP 0,7%-a lenne. Ha ez a nem mért érték nulláról indulna, akkor a 1995, termelékenység növekedése ebben az időszakban évente 0,04%-kal lenne alulbecsülve. Bár ezek a számok csak feltételezések, azt jelzik, hogy más árukhoz és szolgáltatásokhoz képest a

az "alkalmazások és kütyük" nem mért értéke valószínűleg nem fogja jelentősen befolyásolni a nemzeti kibocsátás és termelékenység általános növekedését.¹⁰

d. A dolgozó osztályok eutanáziája

Ahogy a növekedés a szuperintelligens tőkével felgyorsul, a tőke megtérülési rátája és a reálkamatlábak nullára csökkennek. Ezt az eredményt J. M. Keynes *az Általános elmélet* egyik fejezetében (Keynes 1935) vizionálta.

[Lenne egy] növekedés a tőkeállományt egy olyan pontig, ahol annak [határtermék] nagyon alacsony értékre esett vissza.... Nos, [ez] a bérlők eutanáziáját jelentené, és következésképpen a tőkés kumulatív elnyomó hatalmának eutanáziáját a tőke szűkös értékének kihasználására. A kamat ma már nem jutalmazza a valódi áldozathozatalt, mint ahogyan a földbérlet sem.

Ezért a kapitalizmus bérlői aspektusát átmeneti fázisnak tekintem, amely eltűnik, ha elvégezte a dolgát. És a bérlői aspektus eltűnésével együtt sok minden más is megváltozik benne. Sőt, az általam támogatott eseményrend nagy előnye lesz, hogy a bérlő, a funkciótlan befektető eutanáziája nem lesz hirtelen, csupán fokozatos, de elhúzódó folytatása annak, amit a közelmúltban láttunk... és nem lesz szükség forradalomra.

Keynes elemzése megelőzte a termelési függvényekkel kapcsolatos úttörő munkát, amely tisztázta a helyettesítési rugalmasság kulcsszerepét a tényezőarányokban, és ennek eredményeként csak az egyik lehetséges eredményt látta a több lehetséges közül. Keynes forgatókönyve olyan növekedési pályát írt le, amelyben a munka és a tőke közötti helyettesítési rugalmasság kisebb, mint egy; a felhalmozás a rugalmatlan esetben tehát nemcsak a megtérülési rátát, hanem a tőke részesedését is nullára csökkenti.

A gyorsításos eset azonban az ellenkező eredményhez vezet, amikor a tőke aránya egységnyi lesz. Ebben az esetben tehát a dolgozó osztályok eutanáziáját látnánk abban az értelemben, hogy az összes jövedelem végül a tulajdonosokhoz kerül.

¹⁰ Goolsbee és Klenow (2005) lényegesen magasabb számokat kapnak, mivel az internetszolgáltatások nem lineáris keresleti görbét becsülik, amely sokkal nagyobb metszéspontot és magasabb infravagyoni értékeket tartalmaz. Emellett nem korrigálják az üzleti felhasználást. Ha a becslésüket korrigálják a nem fogyasztási célú felhasználásra, akkor a becslés itt körülbelül fele a lineáris becslésüknek. A Nielson becslését körülbelül egyharmaddal csökkentették, hogy tükrözze a Nielson magasabb becslését a tévénézéssel töltött időre vonatkozó ATUS becsléshez képest.

főváros. A munkások jól fizetettek lennének, de munkájuk gyümölcse révén a nemzeti termelés eltűnő részét ellenőriznék. Amíg azonban a tőke nagy részét a vállalatok birtokolják, és az emberek vagy emberi intézmények (beleértve a kormányokat is az adózás révén) birtokolják a vállalatokat, addig a tőkejövedelem közvetve az emberekhez fog áramlani. Mivel a nemzeti jövedelem egyenlő a nemzeti kibocsátással, az átlagjövedelem egyre gyorsabban fog növekedni.

Az, hogy ez miként alakul az egyéni egyenlőség vagy egyenlőtlenség szempontjából, a közgazdaságtanon túlmutat a politikára, az adó- és juttatási rendszerekre, valamint a dinasztikus megtakarítások természetére is. Egyértelmű, hogy a növekvő egyenlőtlenség Piketty-féle feltétele (hogy $r > g$) biztosan nem fog teljesülni, de ezen túlmenően kevés dolog világos. Vajon a jövedelmeket a schumpeteri osztályok - a gépeket tervező és szoftvereket író innovátorok - fogják-e felfogni? Vagy a gazdagok, akik felforgatják az intézményeket, hogy növeljék vagyonukat? Azok, akik az utolsó emberek, akik inkább kiegészítik, mint helyettesítik az információt, talán mint kertészek vagy komornyikok? Talán azok, akik az intelligens gépeket irányítják, mielőtt azok átvennék a hatalmat?

Szerencsére a dolgozó osztályok eutanáziája még messze van, és elegendő figyelmeztető jelzést fog adni, hogy ha bekövetkezik, az embereknek legyen idejük elgondolkodni egy ilyen korszak társadalmi struktúráin.

e. Autonóm ágensek a hadviselésben

A hadászat az az ágazat, amely a legtöbbet fektetett be és a legfejlettebb az információs technológia hagyományos inputok helyettesítésében (az informatikán kívül). Az autonóm és robotizált tevékenységek fejlesztésére nagyon erős ösztönzők vannak, mivel a katonai technológiák győztes-nyeremény jellegéből adódóan, és mivel a háború veszélyei miatt a nemzetek idegenkednek az életek kockáztatásától.

Az utolsó bekezdésben a kulcsszó az autonómia. Az amerikai védelmi minisztérium meghatározása szerint ezek "olyan fegyverrendszerek, amelyek aktiválásukat követően képesek kiválasztani és megtámadni a célpontokat emberi beavatkozás nélkül". Ez a meghatározás azt sugallja, hogy az ilyen rendszerek képesek felmérni a harctéri helyzetet, és előre beprogramozott szabályok és harctéri információk alapján dönteni a szükséges támadásról.

Az informatikai hadviselés néhány kulcsfontosságú fejleménye a következő. Az olyan drónok, mint a Predator, képesek célpontok azonosítására és rakéták kilövésére. A Daksh egy akkumulátorral működő, távirányítású, kerekeken guruló robot, amely képes helyreállítani és hatástalanítani

bombák. A Guardian egy kisméretű, tankszerű izraeli megfigyelő jármű, amely teljesen önállóan működik a gázai határ őrzésére. A PackBots egy sor kisméretű robot, amelyeket bombák azonosítására, veszélyes helyszíneken levegőminták gyűjtésére és robbanóanyagok kiszimatolására használnak. A SWORDS egy kis amerikai tankszerű jármű, amely jelenleg távirányítású. A Samsung SGR-A1 egy dél-koreai katonai robot őrszem, amely érzékelőkkel és géppuskával van felszerelve, önállóan képes működni, és arra tervezték, hogy helyettesítse az emberi társait a demilitarizált övezetben a dél- és észak-koreai határon. Ezek fejlettebb változatai fejlesztés alatt állnak. Elképzelhető, hogy egy szélhámos nemzet genetikailag megtervezett szuperembereket fejleszt ki, hogy a robotok mellett harcoljanak.

Bár a hadviselés automatizálása még csak gyerekcipőben jár, megvizsgálhatjuk az eddigi hatásokat. A kompenzáció aránya az amerikai védelmi kiadások összteljesítményén belül az elmúlt két évtizedben enyhén emelkedett, így ezen a teszten az akcelerációs hipotézis nem igazolódik. A közelmúltbeli háborúkban (Irakban és Afganisztánban) a harci halálos esetek száma jelentősen csökkent a korábbi háborúhoz (Vietnam és Korea) képest, és ez kétségtelenül részben a jobb információknak és az intelligens fegyvereknek köszönhető. A kiberfegyverek sikere (amennyire a nyilvános forrásokból meg tudjuk állapítani) minimális, talán egy-két évvel visszavetette Irán nukleáris programját. Tehát az informatika katonai technológiákban betöltött szerepét illetően a lényeg az, hogy nem mozdult el jelentősen az emberi munka kiváltása felé.

f. A gonosz ügynökök bonyodalma

Az eddigi viták figyelmen kívül hagytak egy, az információs technológiát kísértő fő kísértetet: az egyre erőteljesebb és veszélyesebb hackerek, a kiberbűnözés és a gonosz ügynökök jelenlétét a kibertérben. A párhuzam itt a hadviselésben az egyre erősebb fegyverek fejlesztésének játékelméleti dinamikájával mutat párhuzamot.

Bár az újítók (az újak és nyilak, a gépfegyverek, a tankok és a nukleáris fegyverek) kezdetben előnyben vannak ellenfeleikkel szemben, ez az előny átmeneti. Még a legjobban őrzött technológiai titok is lassan elterjed a világban.

Ezért azt kell feltételeznünk, hogy azok, akik kifejlesztik a szuperintelligencia motorjait, végül azt fogják tapasztalni, hogy gonosz ügynökökkel - katonai, kereskedelmi és politikai ellenfeleikkel - osztoznak rajtuk. És amint azt a Snowden-ügyben kiszivárgott információkból megtudtuk, a saját kormányaink valószínűleg élen járnak a fejlődő számítási képességek felhasználásában és a velük való esetleges visszaélésben. A következő kérdésekkel kapcsolatos

az autonóm ágensekkel folytatott fegyveres konfliktusok etikáját és jogát (amelyet az utolsó szakaszban tárgyaltunk) széles körben megvitatták (lásd például Singer 2009).

További komplikáció a következő: A szuperintelligencia fejlődése olyan új aggályokat vet fel, amelyekre korábban nem gondoltak a politikai és katonai kémkedés és fegyverek fejlesztése során. Aggódunk kell amiatt, hogy az ellenfelek listájára felkerülnek maguk a szuperintelligens gépek is. Ha komolyan vesszük Good fenti leírását a szuperintelligenciáról, akkor figyelembe kell vennünk, hogy a szuperintelligens gépek saját etikai rendszereket, törvényeket, szankciókat és kormányzást fognak kifejleszteni.

Ha figyelembe vesszük, hogy az elmúlt évezredben az erkölcsi, jogi és gazdasági rendszerek mennyit fejlődtek az emberi gondolkodás lassú tempójában, akkor azt kell hinnünk, hogy a szuperintelligens gondolkodás sokszor gyorsabban fejlődne, ha egyszer elkezdene foglalkozni azokkal a kényes kérdésekkel, amelyekkel az ember küzd. Ahogy a teológusok aggódnak amiatt, hogy egy hatalmas Isten igazságos-e a mi primitív emberi mércénk szerint, úgy kell aggódunk amiatt is, hogy a szuperintelligens gépek igazságosak lesznek-e - pontosabban, hogy igazságérzetük hasonlítani fog-e a miénkhez. Ha ingerültek lesznek az emberekkel szemben, mit fognak tenni? Úgy bánnak majd velünk a szuperintelligensek, mint a legyek a wontoni fiúkkal?

A lényeg tehát az, hogy a közelgő szingularitás nem az egyértelmű gazdasági és társadalmi javulásról szól. Ezt már John von Neumann (1955), az atomfegyverek fejlesztője is felismerte:

A hasznos és káros technikák mindenütt olyan közel vannak egymáshoz, hogy soha nem lehet elválasztani az orozslánokat a bárányoktól. Ezt mindenki tudja, aki oly fáradságosan próbálta már elválasztani a titkos, minősített tudományt vagy technológiát (katonai) a nyílt fajtától; a siker soha nem több és nem is szándékozik több lenni, mint átmeneti, talán fél évtizedig tartó. Hasonlóképpen, a hasznos és káros témákra való szétválasztás bármely technológiai szférában valószínűleg egy évtized alatt a semmibe diffundálna.

XI. Záró megjegyzések a szingularitásról

Tehát a következtetés a mai napig az, hogy "a szingularitás nincs közel". Ez a következtetés több olyan vizsgálaton alapul, amelyek a szingularitás elméletét a gazdasági növekedésemélet kontextusába helyezik. A szingularitással foglalkozó informatikai szakirodalom nagy része bizonyos ágazatok vagy folyamatok (például a fopok vagy a tárolás) növekedését vizsgálja, de a közgazdasági szemlélet ragaszkodik ahhoz, hogy a növekedést az áru vagy szolgáltatás gazdasági értékelésével kell súlyozni.

A közgazdaságtan fő felismerése a gazdasági rendszer inputjainak és outputjainak heterogenitásának hangsúlyozása. Bizonyára igaz, hogy a nyers számítások előállításának technológiai változása az elmúlt évszázadban fenomenális volt. Olyan sebességgel tudjuk feldolgozni az információt, amely több millió milliárdszor gyorsabb és olcsóbb, mint amire a tizenkilencedik század leggyorsabb villámszámológépei képesek voltak.

Tegyük fel, hogy ez a tendencia a végtelenségig folytatódik, beleértve az egyre zseniálisabb szoftverek és mesterséges intelligencia (AI) kifejlesztésének képességét is. Ahhoz, hogy a számítógépek növekvő képességei a szingularitáshoz vezessenek, az kellene, hogy a mesterséges intelligencia minden emberi tevékenységre kiterjedjen, ne csak számokat adjon össze, egyenleteket oldjon meg, sakkozzon és beszédet értelmezzen, hanem betegeket kezeljen, gyerekeknek mesét olvasson, és defektet cseréljen.

Míg a számítógépes mesterséges intelligencia számos rutinfeladatot elvégezhet, a nem rutinfeladatok kevésbé könnyen programozhatók, és idővel a gazdasági környezetnek megfelelően fejlődnek, beleértve magát a mesterséges intelligencia környezetét is. Különösen, ha a potenciális szuperintelligenciával rendelkező világot az emberek és a gépek közötti versengésnek tekintjük, akkor mindenképpen szükségünk lenne egy emberi csapatra, amely átgondolja, hogyan védjük meg az embereket a gépekkel szemben. Rutinszerűen a termelés 5%-át költjük a védelemre, és ez a szám sokkal nagyobbra nőhet, ha olyan erősebb ellenséggel állunk szemben, mint a szuperintelligens gépek. Tehát legalább egy foglalkozás megmaradna a szingularitás korszakában is.

Az, hogy más ágazatok és feladatok immunisak lennének-e a szuperintelligencia térnyerésére, nyitott kérdés. Az empirikus kérdés az információ és az emberi munka közötti helyettesíthetőség mértéke. Tekintettel mind az emberek, mind a munkák összetettségére, nem valószínű, hogy a kérdés a priori eldönthető. A fenti elemzés azt jelzi, hogy az információ és a számítógépek

dominálni fogják a

41

gazdaság csak akkor, ha az információs inputok vagy outputok a fogyasztás vagy inputok növekvő részét teszik ki. Ehhez az szükséges, hogy az információ kiadási vagy inputköltség-részesedése idővel növekedjen, ami viszont azt követeli meg, hogy a kiadások vagy inputok volumene gyorsabban növekedjen, mint ahogy a relatív árak csökkennek. Ezeket nevezhetjük tömören "helyettesítési teszteknek".

A kínálati oldalon hat, a keresleti oldalon pedig egy teszt van. Az itt javasolt empirikus tesztek közül az a következtetés vonható le, hogy a helyettesítési tesztek a hét tesztből öt esetben kudarcot vallanak, az ötből kettőnél pedig sikeresek. A tesztet sikeresen teljesítő változók (a tőke aránya az összjövedelemből és az információs tőke aránya az ösztőkéből) növekedési pályája azonban viszonylag lassú. Az elmúlt évtized vagy több évtized tendenciáit előrevetítve egy évszázadnak kellene eltelnie ahhoz, hogy ezek a változók elérjék a növekedési szingularitással kapcsolatos szintet.

A következtetés tehát az, hogy a növekedés szingularitása nincs közel. Ez a következtetés azonban csak előzetes, és az eddigi gazdasági tendenciákon alapul. Azok, akik aggódnak a közelgő szingularitás miatt, folyamatosan használhatják ezeket a tesztek, hogy megvizsgálják, hogy a trendek kedvező vagy kedvezőtlen irányba változnak-e.

Hivatkozások

Szerző, Davis (2014). "Polanyi's Paradox and the Shape of Employment Growth," Proceedings of a Conference of the Federal Reserve Bank of Kansas City, *Re-Evaluating Labor Market Dynamics*, 129-177, elérhető a <https://www.kansascityfed.org/~media/files/publicat/sympos/2014/2014autor.pdf?la=en> címen.

Barrat, James (2013). *Végső találmányunk: Mesterséges intelligencia és az emberi korszak vége*, St. Martin's Press. Kindle Edition.

Baumol, William J. és William G. Bowen (1965). "Az előadóművészetéről: gazdasági problémáik anatómiája". *The American Economic Review*, 55 (2), 495. 502.

Baumol, William J. (1967). "A kiegyensúlyozatlan növekedés makroökonómiája: The Anatomy of Urban Crisis", *The American Economic Review*, (573), 419-420.

Baumol, William J. Sue Anne Batey Blackman és Edward N. Wolff (1985). "Unbalanced Growth Revisited: Aszimptotikus stagnálás és új bizonyítékok", *The American Economic Review*, 75 (4), 806-817.

BEA (2003). U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis, Fixed Assets and Consumer Durable Goods in the United States, 1925-1999. Washington, DC:

U.S. Government Printing Office, szeptember, elérhető a <http://bea.gov/national/pdf/Fixed Assets 1925 97.pdf> oldalon.

Bostrom, Nick (2006). "Mennyi idő múlva jön a szuperintelligencia?" *Nyelvészeti és filozófiai vizsgálódások*, 5 (1): 11-30.

Brynjolfsson, Erik és Andrew McAfee (2014). *A második gépkorszak: Munka, haladás és jólét a briliáns technológiák korában*. WW Norton & Company, New York.

Elsby, Michael W. L., Bart Hobijn és Ayşegül Şahin (2013). "The Decline of the U.S. Labor Share," *Brookings Papers on Economic Activity*, Fall, 1-52.

- Good, Irving J. (1965). "Spekulációk az első ultraintelligens géppel kapcsolatban". *Advances in Computers*, (6) 31-8399,.
- Gordon, Robert J. (2012). "Vége az amerikai gazdasági növekedésnek? A megtorpanó innováció szembeáll a hat ellenszéllel", NBER Working Paper No. August.18315,
- Gordon, Robert J. (2015). "Secular Stagnation: A Supply-Side View." *American Economic Review*, 105 (5), 54-59.
- Jones, Charles I. (1995). "A gazdasági növekedés K+F-alapú modelljei", *Journal of Political Economy*, 103 (4), 759-784.
- Jones, Charles I. (1995a). "Az endogén növekedési modellek idősoros tesztjei". *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 495-525.
- Goolsbee, Austan és Peter J. Klenow (2005). "A fogyasztási cikkek értékelése a használatukra fordított idő alapján: egy alkalmazás az internetre", *American Economic Review*, (962), 108-113.
- Keynes, J. M. (1933). "Gazdasági lehetőségek unokáink számára", in *Essays in Persuasion*, W.W. Norton, New York, 358-73.
- Keynes, J. M. (1935). *A foglalkoztatás, a kamat és a pénz általános elmélete*. Macmillan, London.
- Kurzweil, Ray (2000). *A szellemi gépek kora: Amikor a számítógépek meghaladják az emberi intelligenciát*. Penguin Group, USA. Kindle Edition.
- Kurzweil, Ray (2005). *A szingularitás közel van: When Humans Transcend Biology*, Penguin Group, US. Kindle Edition.
- Malthus, T. R. (1817). *Esszé a népesség elvéről*. London: London: Johnson, ötödik kiadás.
- Meadows, Donella et al. (1972). *A növekedés határai*. Potomac, Washington, DC.
- Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows és Jørgen Randers (1992). *A határokon túl*. Post Mills, Vermont: Chelsea Green Publishing Company.
- Moravec, Hans (1988). *Mind Children*: Harvard University Press, Cambridge, MA.

Nielson (2015). Nielsen, "More Time On Internet Through Smartphones Than PCs," letöltve a <http://marketingland.com/nielsen-time-accessing-internet-smartphones-pcs-73683> oldalról.

Nordhaus, William D. (2007). "A termelékenység növekedésének két évszázada a számítástechnikában".

The Journal of Economic History, (671), 128-159.

Nordhaus, William D. (2008). "Baumol betegségei: makrogazdasági perspektíva".
The BE Journal of Macroeconomics, (81), 1- 39.

Orton, Hoy D. (1866). *Lightning Calculator and Accountant's Assistant*, elérhető a Google Books-on keresztül a

https://books.google.com/books?id=kinZAAAAMAAJ&printsec=frontcover&dq=%22lightning+calculator%22&hl=en&sa=X&ved=0CC4QuwUwAGoVChMIwcPcyMfjxwI_VRVs-Ch38Lwn3#v=onepage&q=%22lightning%20calculator%22&f=false.

Rognlie, Matthew (2015). "A nettó tőkerészesedés csökkenésének és emelkedésének megfejtése", "Deciphering the fall and rise in the net capital share",...

Brookings Papers on Economic Activity, március, megjelenés előtt.

Romer, Paul M. (1986). "Növekvő hozamok és hosszú távú növekedés".

Journal of Political Economy, 94 (5), 1002-37.

Romer, Paul M. (1990). "Endogén technológiai változás", *Journal of Political Economy*. 98 (5), S71-S102.

Samuelson, Paul A. (1957). "Bérek és kamatok: A Modern Dissection of Marxian Economic Models," *The American Economic Review*, 47 (6), 884-912.

Schmidt, Eric és Cohen, Jared (2013). *The New Digital Age: Transforming Nations, Businesses, and Our Lives*, Knopf Doubleday Publishing Group. Kindle Edition.

Simon, Herbert A. (1965). *Az automatizálás alakja a férfiak és a menedzsment számára*, Harper and Row, New York.

Singer, Peter (2009). *Wired for War: The Robotics Revolution and Conflict in the 21st Century*, Penguin, New York.

Summers, Lawrence (2014). "Low Equilibrium Real Rates, Financial Crisis, and Secular Stagnation", in Martin Neil Baily és John B. Taylor, szerk. *Across the Great Divide: New Perspectives on the Financial Crisis*, Hoover Institution Press.

Jones, Charles I. és Paul M. Romer (2010). "Az új Kaldor-tények: *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2 (1), 224-245.

Top500 (2014). *Top Supercomputers500*, online a <http://www.top500.org/oldalok>.

Ulam, Stanislaw (1958): "Tribute to John von Neumann, 1903-1957," *Bulletin of the American Mathematical Society*, 64 (3), 2. rész, 1-49.

WSJ (2015). *Wall Street Journal*, Timothy Aepfel, "Silicon Valley Doesn't Believe U.S. Productivity Is Down", július 16., elérhető csak a <http://www.wsj.com/articles/silicon-valley-doesnt-believe-u-s-productivity-is-down-1437100700> oldalon.