



LUNDS UNIVERSITET  
Ekonomihögskolan

# Artificiell intelligens och ekonomisk tillväxt

Nationalekonomiska institutionen vid Lunds Universitet  
Examensarbete – kandidatnivå NEKH01  
Vårterminen 2017  
Författare: Amez Arazu  
Handledare: Pontus Hansson

## **Sammanfattning**

Forskare talar idag om att världen befinner sig vid tröskeln till en ny industriell revolution. Framsteg inom Artificiell intelligens börjar driva ekonomin mot ett paradigmskifte vad gäller värdeskapande processer, där intelligent automation betraktas som det nya ledande konkurrensmedlet. Denna studie avser att analysera hur användningen av artificiell intelligens kan komma att påverka den ekonomiska utvecklingen. Med hjälp av en utvidgad Romer-modell, i vilken artificiell intelligens presenteras som ny produktivitetshöjande faktor, utförs simuleringar på den framtida utvecklingen i USA mellan åren 2017-2057. Sammantaget dras slutsatsen att artificiell intelligens bidrar till förhöjda nivåeffekter i BNP-per capita. Steady state-nivån inom 40 år kan fördubblas, och den faktiska BNP-nivån kan öka med 82 % vid implementeringen av artificiell intelligens.

Nyckelord: Artificiell intelligens, Romer-modellen, Ekonomisk tillväxt, USA

# Innehållsförteckning

1. Inledning .....	6
2. Artificiell intelligens .....	8
3. Tidigare forskning .....	9
4. Teori .....	11
4.1 Tillväxtteori.....	11
4.2 Romer-modellen.....	13
4.2.1 Produktionsfunktion.....	13
4.2.2 Realkapital.....	14
4.2.3 Teknologi.....	14
4.2.4 Arbetskraft.....	15
4.2.5 Steady state.....	15
4.3 Den utvidgade Romer-modellen .....	16
5. Metod och Data .....	20
5.1 Metod .....	20
5.2 Data.....	22
5.2.1 BNP per capita .....	22
5.2.2 Realkapital.....	22
5.2.3 Artificiell intelligens .....	23
5.2.4 Arbetskraft.....	25
5.2.5 Teknologi.....	25
6. Resultat.....	27
6.1 Simulering av AIs effekter i steady state .....	27
6.2 Simulering av AIs effekter på faktisk BNP.....	29
6.3 Sammanställning av genomförda simuleringar.....	30
6.4 Känslighetsanalys.....	32
7. Slutsats och diskussion.....	34
Referenslista .....	37
Appendix 1. Härledning av den utvidgade Romer-modellen.....	39
Appendix 2. Datasammanställning .....	45
A2.1 Kapitalstocken per capita 2016.....	45
A2.2 Teknologinivån 2016.....	46

A2.3 Simulering av potentiella steady state-nivåer utan AI år 2017-2057 .....	47
A2.4 Simulering av potentiella steady state-nivåer med AI år 2017-2057 .....	48
A2.5 Simulering av faktiska BNP per capita-nivåer utan AI år 2017-2057 .....	49
A2.6 Simulering av faktiska BNP per capita-nivåer med AI år 2017-2057 .....	50

## Figurförteckning

Figur 1 Potentiell BNP per capita i steady state år 2017-2057, löpande priser.....	28
Figur 2 Tabell över simulering av BNP per capita i steady state.....	28
Figur 3 Utveckling av faktisk BNP per capita år 2017-2057, löpande priser.....	29
Figur 4 Tabell över simulering av faktisk BNP per capita .....	30
Figur 5 BNP per capita med AI, samt BNP per capita i steady state med AI år 2017- 2057, löpande priser .....	31
Figur 6 Tabell över faktiskt BNP per capita med AI, samt BNP per capita i steady state med AI.....	31
Figur 7 Resultat för känslighetsanalys.....	33
Figur 8 Beräkning av kapitalstocken per capita år 2016 .....	45
Figur 9 Beräkning av den teknologiska nivån år 2016.....	46
Figur 10 Steady state utan AI .....	47
Figur 11 Steady state med AI .....	48
Figur 12 Faktisk BNP per capita utan AI .....	49
Figur 13 Faktisk BNP per capita med AI .....	50

# 1. Inledning

Forskare har under de senaste decennierna varit eniga om att teknologisk utveckling bidrar till ökad produktivitet i ekonomin genom att automatisera arbetsprocesser. Automationstekniken har dock hittills varit förprogrammerad med syftet att automatisera en specifik arbetsuppgift och ersätta manuellt arbete. Trots att detta bidrar till ökad produktivitet och effektivisering av produktionskedjan, är den oftast blind, låst till en enda aktivitet, oförmögen till att lära sig och därmed anpassa sig till eventuella förändringar i sin omgivning (Bonkenburg 2016). Med hjälp av intelligent automation förväntas artificiell intelligens (AI) överkomma hinder, som tidigare begränsat automationstekniken, genom att expandera och förstärka den mänskliga arbetskraftens intellektuella kapacitet.

Trots att dagens AI-teknik ännu är tämligen basal har tillämpningen av dessa system successivt börjat sprida sig i ekonomin. Automatiserade processer, som kräver intellektuell tillämpning, har redan idag visat sig ge ökade effektiviseringsmöjligheter i många verksamhetsområden. Med hjälp av en oöverträfflig förmåga att behandla stora datamängder återfinns AI idag främst i områden som ägnas åt datahantering. Ett tydligt vardagligt exempel på detta är börsmarknaden, där 50-70% av börshandeln utförs med hjälp av artificiell intelligens (Barrat 2013 s.37). Exempel på andra system som används är management lösningar, som automatiserar informationsbaserade aktiviteter kring ledningen av produktionsprocessen. Detta befriar anställda från uppgifter som inte bär på något förädlingsvärde likt att samla, logga och tolka information, som annars tar en produktionsövervakare flera dagar (GE Digital 2017).

Med ledning av ovanstående bakgrund är syftet med denna studie att analysera potentiella effekter på den ekonomiska utvecklingen, till följd av artificiell intelligens som ny produktivitetshöjande faktor. För att göra analysen möjlig används USA som ett åskådliggörande exempel. Studien genomförs med hjälp av tillväxtteori enligt en utvidgad modell av den klassiska Romer-modellen, där nya variabler rörande artificiell intelligens presenteras. Därefter utförs två olika simuleringar på USA över åren 2017-2057. Den första simuleringen avser att visa den potentiella utvecklingen av ekonomin i jämvikt, även kallad steady state. Framtida potentiella BNP per capita-nivåer i steady state beräknas femårsvis, med och utan artificiell intelligens som

produktivitetshöjande faktor. I den andra simuleringen uppskattas utvecklingen av faktisk BNP per capita med och utan artificiell intelligens som produktivitetshöjande faktor. Resultaten från de 2 simuleringarna sammanställs sedan för att tydligt synliggöra de tillväxtrelaterade effekterna vid implementeringen av artificiell intelligens. En känslighetsanalys av modellens variabler genomförs slutledningsvis för att evaluera träffsäkerheten i resultaten till följd av simuleringarna.

Frågan som besvaras lyder: *Vilka potentiella effekter kan implementeringen av artificiell intelligens ha på den ekonomiska utvecklingen mellan åren 2017-2057?*

Resultat från den första simuleringen visar att USAs BNP per capita i steady state nästan fördubblas till följd av implementeringen av AI under kommande 40 år, och förväntas fortsätta öka längre fram i tiden. Även den andra simuleringen uppvisar positiva effekter till följd av AI där den faktiska BNP per capita-nivån blir ca 82 % större än vad den skulle vara om AI inte kom att implementeras.

Trots lovande resultat vad gäller de beräknade BNP per capita-nivåerna framgår det i den slutledande sammanställningen att landets faktiska ekonomiska tillväxttakt beräknas vara positiv, men avtagande på grund av att den faktiska BNP-nivån närmar sig steady state-nivån med tiden.

Uppsatsen inleds med en noggrann presentation av begreppet artificiell intelligens där även en del nackdelar med AI diskuteras kort, och övergår sedan i ett avsnitt kring tidigare forskning som är relevant för uppsatsen. Därefter kommer ett avsnitt rörande den teori som studien bygger på och ger en noggrann beskrivning av både den klassiska Romer-modellen samt den utvidgade versionen av denna. Avsnitt 5 avser att noggrant beskriva den metod med vilken studiens analys genomförs, och presenterar även den data som kommer användas i analysen. Det näst sista avsnittet redogör för de resultat som beräknats med hjälp av den utvidgade Romer-modellen, och följs av uppsatsens sista avsnitt där studiens slutsatser framförs. Det sista avsnittet diskuterar även den använda modellen samt vad den framtida forskningen bör fokusera på. Datasammanställningar och noggranna härledningar återfinns i Appendix 1 samt 2.

## 2. Artificiell intelligens

Artificiell Intelligens är teorin och utvecklingen av datorsystem, som kan utföra uppgifter som annars skulle kräva mänsklig intelligens (The New Oxford American Dictionary, 3. uppl., se Barrat 2013, s. 14). Den centrala grundtanken baseras på en filosofisk teori, som menar att alla aspekter av den mänskliga intelligensen är möjlig att förstå och därmed simuleras. Syftet med AI är således att efterlikna mänskligt beteende och agerande. Det som utmärker AI-system, jämfört med tidigare teknologiska framsteg och automationsteknik, är att de besitter intelligenta egenskaper. AI-system är ursprungligt framställda av människan, men med hjälp av inmatning, eller egen insamling, av data kan de bland annat lära sig genom erfarenhet, samt komma fram till egna slutsatser (Callan 2003).

Eftersom AI syftar till att efterlikna människans beteende, behöver den bland annat kunna lära sig nya saker, komma fram till egna slutsatser, förstå komplexa innehåll, kommunicera och anpassa sig till nya förändringar.

Forskare inom området förväntar sig att några av de teknologier med intelligenta egenskaper, som spelar en avgörande roll för utvecklingen av AI-system är:

- **Maskininlärning** - Automatiserar systemets analyseringsförmåga. Innebär att ett system kan utveckla egna analytiska modeller utan mänsklig hjälp, genom att lära sig av data och på egen hand förbättra sin kunskap. Systemet lär sig, förbättras och utvecklas genom erfarenhet (Bell 2014 s. 2-3).
- **Kunskapsrepresentation**- För att ett system skall anses vara intelligent måste den ha lagrad kunskap beträffande sin omvärld, samt kunna agera och dra slutsatser efter den kunskap den besitter (Nilsson 2009 s. 199).
- **Datalingvistik** (engelska: *Natural language processing*)- Innebär förmågan att bearbeta, förstå och använda sig av naturliga språk i syfte att kunna samspela med människor (ibid s.169).



- **Datorseende-** För att kunna identifiera objekt, och aktivt uppfatta miljön runtomkring (Daugherty & Purdy 2016).

Tillämpningen av ovanstående teknologier ligger till grund för konstruktionen av enheter som kan uppfatta, förstå och agera. AI syftar till alla sorters intellektuella domäner, oavsett om dessa kräver en eller flera intelligensbaserade egenskaper. Det huvudsakliga målet med AI är att skapa rationella och intelligenta agenter, som kan utföra samma arbetsuppgifter som människan, och tillämpas i de flesta ekonomiska avseenden. Forskningen fokuserar därför på de karaktärsdrag som krävs för att ett system skall kunna bli en effektiv arbetspartner (Stone et.al. 2016).

Den mest allmänt diskuterade socio-ekonomiska konsekvensen med AI är förändringar inom arbetslivet. AI-utvecklingen förväntas bidra till omstrukturering i delar av ekonomin, som tidigare verkat immuna mot automation. Med tiden förväntas arbetskraft bli en mindre viktig faktor för produktion jämfört med att äga intellektuellt kapital (Stone et.al. 2016).

### **3. Tidigare forskning**

I en studie utförd av Accentures Paul Daugherty och Mark Purdy (2016) har man i en befintlig tillväxtmodell valt att lägga till AI som en helt ny produktionsfaktor. Studien avser att analysera de tillväxtrelaterade effekterna vid en framtida implementering av AI i 12 länder som tillsammans utgör 50 % av världens totala BNP. För att analysera effekterna görs simuleringar över förväntad ekonomisk tillväxt med och utan AI som produktionsfaktor. AI betraktas i studiens tillväxtmodell som en mellanform av arbetskraft och realkapital, och mäts främst enligt dess totala teknologiska potential att utföra samma arbetsuppgifter som människan. Med uppskattningen att AI år 2035 besitter 50 % av sin totala teknologiska potential, visar resultat från studien att den årliga ekonomiska tillväxttakten i USA antas uppgå till 4,6 % år 2035 jämfört med 2,6 % utan AI som produktionsfaktor. Länder som Sverige, Österrike, Tyskland och Nederländerna förväntas kunna fördubbla sin ekonomiska tillväxttakt samma år.

Uppskattningen kring hur mycket av sin totala potential som AI antas besitta år 2035 stämmer dock inte riktigt överens med en enkätundersökning utförd av Muller och

Bostrom (2014), där bland annat utvecklingen av AIs förmåga att efterlikna mänskligt beteende studerades. Enkäter skickades ut till över 500 experter inom artificiell intelligens, och en av frågorna som besvarades var vilket årtal respondenterna tror att AI har förmågan att efterlikna 10 %, 50 % och 90 % av mänskligt beteende. Resultaten visar att det genomsnittligt valda årtalet för 10 % efterliknelse var år 2038, 50 % efterliknelse år 2081 och 90 % efterliknelse år 2183. Det råder alltså en skillnad på nästan 30 år vad gäller uppskattningen av AIs mänskliga efterliknelse jämfört med Daugherty och Purdys uppskattning.

Ytterligare försök i att analysera de ekonomiska effekterna som uppstår genom AI utförs i en annan studie av Chen, Christensen, Gallagher, Mate, & Rafert (2016). Här studeras de globala effekterna vid tillämpning och utveckling av AI under kommande tio år. Analysen baseras på globala ekonomiska effekter från tidigare teknologiska innovationer, som också används som referenspunkt, samt en uppskattning av hur progressiv AI-utvecklingen är. Resultaten visar att de ekonomiska effekterna till följd av AI för åren 2016-2025 rör sig någonstans mellan 1,49-2,95 biljoner USD. Detta innebär enligt studien att AI år 2025 har en kumulativ ekonomisk effekt som avser 0,4 % av världens totala BNP. Viktigt att belysa är dock att resultaten är beroende av författarnas uppskattningar kring utvecklingen av AI. Det innebär därför att om AI-utvecklingen sker snabbare eller långsammare än vad som antagits, kan resultaten komma att antingen vara högre eller lägre i verkligheten.

Som tidigare nämnt i föregående avsnitt är en av de mest diskuterade socio-ekonomiska konsekvenserna av AI, huruvida denna nya teknik kommer påverka arbetsmarknaden. I en undersökning från Avenade (2017), svarade 91 % att de tror att deras arbetsstyrka kommer behöva ändras väsentligt när tillämpningen av intelligenta maskiner blir mer vanlig. 73 % svarade att deras organisation kommer behöva anställa mer högkvalificerade arbetare. Undersökningen visade även att en majoritet tror att arbetsstyrkan/organisationen kommer behöva anpassa sig till implementeringen av smart teknologi bland annat genom att skapa nya arbetsroller och omskola sin arbetsstyrka. Däremot är inte de strukturella förändringarna på en arbetsplats den största oron för en del forskare, utan hur många jobb som kan försvinna.

Arntz, Gregory & Zierahn (2016) analyserar mängden arbetsuppgifter som kan tänkas automatiseras till följd av en ökad datorisering i ekonomin. Studien visar att 9 % av alla jobb i 21 OECD länder år 2025 kommer kunna automatiseras. Gantz, Schubmehl, Wardley, Murray & Vesset (2017) visar dock att tillämpningen av AI i företag inom CRM (*engelska: Customer Relation Management*) kan komma att öka de globala vinsterna med 1,1 biljoner USD i CRM-branschen mellan åren 2017-2021, och därmed bidra till skapandet av två miljoner nya jobb. Resultat för mängden nya jobb är ett nettovärde som beaktar en uppskattning av mängden jobb som också går förlorade till följd av AI-baserad automation.

I likhet med den förstnämnda studien har denna uppsats använt sig av en redan befintlig tillväxtmodell, som sedan modifierats för att analysera de tillväxtrelaterade effekterna i ekonomin till följd av artificiell intelligens. Tillskillnad från den nämnda studien definieras AI efter dess inneboende egenskaper snarare än dess potential att utföra samma arbetsuppgifter som människan. Detta eftersom en sådan uppskattning enligt ovanstående studier har visat sig vara oberäknelig.

## 4. Teori

---

*Teoriavsnittet inleds med en övergripande förklaring av tillväxtteori som senare övergår till en kort beskrivning över två av de vanligaste tillväxtmodellerna som används idag. Även en del nackdelar med modellerna inom tillväxtteori nämns. Senare delar av avsnittet avser att noggrant presentera Romer-modellen. Slutledningsvis beskrivs den utvidgade Romer-modellen, som kommer ligga till grund för senare analys. Avsnittet grundar sig i Jones & Vollraths bok med titeln *Introduction to economic growth* från 2013 när ingen annan källa anges.*

---

### 4.1 Tillväxtteori

Tillväxtteori avser att analysera tillväxttakten, dvs. den procentuella förändringen, för bruttonationalprodukten (BNP) över en längre tidsperiod. Med BNP menas värdet av allt som producerats i ett land. Oftast väljer man, inom teorin, att analysera BNP per capita. Vidare använder man inom tillväxtteori längre tidsperioder, för att balansera ut

kortsiktiga fluktuationer i ekonomin då dessa visar sig vara obetydliga på lång sikt (Hansson 2017).

Inom tillväxtteori återfinns flertalet tillväxtmodeller. Målet med modellerna är att förklara vilka faktorer i en ekonomi som ökar/minskar tillväxten i ett land, samt vilka faktorer som bidrar till att öka/minska inkomstnivån (BNP-nivån). Modellerna används för att identifiera ekonomins potentiella jämviktsläge, så kallad steady state-nivå där alla variabler växer med en konstant årlig hastighet. Därefter används differensen mellan landets befintliga BNP-nivå och steady state-nivån för att bestämma ekonomins tillväxt. Ju lägre faktiskt BNP per capita är än steady state-värdet, desto snabbare positiv tillväxt kommer landet att uppvisa. Ju högre faktisk BNP per capita är än steady state-värdet, desto snabbare negativ tillväxt kommer landet att uppvisa.

Steady state-nivåerna skiljer sig åt mellan länder, och varje land konvergerar mot sin egen steady state. Det är därför viktigt att identifiera steady state-nivån, eftersom den visar i vilken riktning ekonomin går mot på lång sikt. Jämviktsläget tenderar att skilja sig åt mellan olika tillväxtmodeller. Detta beror främst på att de använder sig av olika faktorer som anses bidra till ekonomisk utveckling.

I mitten av 1900-talet presenterade Robert Solow den neoklassiska tillväxtmodellen. Solows grundläggande modell understryker vikten av investeringar och realkapital för att gynna en långsiktig ekonomisk tillväxt. I en senare modifikation av Solows ursprungliga tillväxtmodell presenteras en ny variabel, teknologi, som enligt modellen är exogent given, vilket innebär att teknologisk utveckling inte påverkas av inhemska krafter. Romer-modellen är en utvidgning av den neoklassiska tillväxtmodellen, som avser att skapa en djupare förståelse för var den underliggande teknologiska utvecklingen kommer ifrån.

## 4.2 Romer-modellen

*Nedan följer en noggrann beskrivning av Romer-modellen. Notera att man skiljer på versaler och gemener. Inom tillväxtteori betraktas versaler som den totala mängden av en variabel, medan gemener betecknar per capita mängden. Variabler med en prick ovanför betecknar förändringen hos variabeln. Detta är detsamma som derivatan av variabeln med avseende på tiden. Noggranna härledningar för den utvidgade Romer-modellen återfinns i Appendix 1.*

Enligt den klassiska Romer-modellen beror den teknologiska nivån i ett land på den inhemska forskningen. Den teknologiska nivån och dess utveckling beror således på andelen av total arbetskraft inom forskning och utveckling (FoU) i ekonomin. Enligt modellen antas hela befolkningen ingå i arbetskraften, därför beror arbetskraftens tillväxt på tillväxten i befolkningsmängden. Romer-modellen tar även hänsyn till produktiviteten i FoU, hur lätt eller svårt det är att komma med nya idéer ju fler det är som forskar, samt sannolikheten att komma på en ny idé ju mer avancerad teknologin i landet är.

### 4.2.1 Produktionsfunktion

Produktionsfunktionen för Romer-modellen ser ut enligt följande:

$$Y = K^\alpha (AL_y)^{1-\alpha} \quad \text{där } 0 < \alpha < 1 \quad (4.1)$$

Således visar funktion (4.1) att BNP-nivån  $Y$  är beroende av realkapital  $K$ , teknologi  $A$  och mängden arbetare av totala arbetskraften inom produktion  $L_y$ .  $\alpha$  står för andelen av totalt kapital som tillfaller realkapitalet och brukar värderas till 1/3. Eftersom man oftast är intresserad av BNP per capita-nivån i ett land, behöver funktionen skrivas om i per capita-termer. Produktionsfunktionen kan därför skrivas om enligt följande:

$$y = k^\alpha A^{1-\alpha} \left(\frac{L_y}{L}\right)^{1-\alpha} \quad (4.2)$$

## 4.2.2 Realkapital

Förändringen i realkapital skrivs enligt:

$$\dot{K} = sY - \delta K \quad (4.3)$$

Kapitalförändringen  $\dot{K}$  beror på sparkvoten  $s$ , dvs andelen av BNP  $Y$  som går till investeringar, samt realkapitalet  $K$  deprecieringstakt  $\delta$ . Deprecieringstakten beskriver hur snabbt realkapitalet slits ut, vilket enligt modellen är konstant. Sålunda beror en positiv kapitalförändring på att deprecieringstakten för befintlig realkapital understiger sparkvoten.

## 4.2.3 Teknologi

Förändring i den teknologiska nivån sker enligt ekvation (4.4):

$$\dot{A} = \theta L_A^\lambda A^\phi \quad \text{där } 0 < \lambda \leq 1 \text{ och } 0 \leq \phi < 1 \quad (4.4)$$

I Romer-modellen betraktas förändringen av den teknologiska nivån som förmågan att skapa nya innovationer och idéer. Denna beror i sin tur på produktiviteten i forskning och utvecklingssektorn (FoU)  $\theta$ , mängden arbetare som ägnar sig åt FoU  $L_A$  och befintlig teknologinivån  $A$ . Parametern  $\lambda$  är ett mått över hur lätt eller svårt det är att komma med nya idéer ju fler det är som forskar. Svårigheten med att komma på nya idéer ju fler som forskar ligger i att det finns en risk att flera forskare kommer med samma idéer. Det innebär att det finns risk för duplikat av idéer när mängden forskare ökar. Parametern  $\phi$  är ett mått över hur lätt eller svårt det är att komma på en ny idé ju mer avancerad den befintliga teknologin i landet är. Om  $\phi > 0$ , innebär det att tidigare innovationer har en positiv inverkan på framställningen av nya idéer. Om  $\phi < 0$  betyder det att tidigare innovationer gör det svårare att producera nya idéer. Skulle det vara så att  $\phi = 0$ , betyder det att tillkomsten av nya idéer är helt oberoende av tidigare innovationer.

#### 4.2.4 Arbetskraft

Enligt modellen är arbetskraften fördelad mellan två olika sektorer. Den mängd av arbetskraften som tillägnas produktionssektorn betecknas  $L_y$ , och den mängd som befinner sig inom FoU betecknas  $L_A$ . Summan av dessa ger den totala arbetskraften enligt nedanstående uttryck:

$$L_y + L_A = L \quad (4.5)$$

Vidare antas arbetskraften vara ekvivalent med befolkningens mängden och växer konstant med  $n$  procent varje år:

$$\frac{\dot{L}}{L} = n \quad (4.6)$$

#### 4.2.5 Steady state

Tillväxttakten i steady state är enligt modellen detsamma som tillväxttakten hos teknologin:

$$g_y = g_A = \frac{\lambda n}{(1-\phi)} \quad (4.7)$$

Tillväxttakten i steady state beror alltså på landets förmåga att utveckla ny teknologi, som i modellen även anses vara den underliggande drivfaktorn i ett lands ekonomiska tillväxt.

Steady state-nivån bestäms i den klassiska Romer-modellen enligt följande uttryck:

$$y^* = \left( \frac{s}{\delta+n+g_A} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left( \frac{L_y}{L} \right) \left( \frac{\theta L_A^\lambda}{g_A} \right)^{\frac{1}{1-\phi}} \quad (4.8)$$

Med hjälp av ekvation (4.8) kan man tydligt se att steady state-nivån för BNP per capita beror på sparkvoten  $s$  för att främja investeringar, mängden arbetare inom forskning och utveckling  $L_A$ , andelen av arbetskraften som befinner sig i

produktionssektorn  $\left(\frac{Ly}{L}\right)$ , hur effektiv forskning och utvecklingssektorn är  $\theta$ , hur lätt eller svårt det är att utveckla nya idéer ju fler mängden forskare är  $\lambda$ , samt hur lätt eller svårt det är att utveckla nya idéer ju mer avancerad den befintliga teknologin är  $\phi$ . I enlighet med vad som nämns i tidigare stycke framgår det att landets teknologiska nivå  $\left(\frac{\theta L_A^\lambda}{g_A}\right)^{\frac{1}{1-\phi}}$  beror på den inhemska forskningen. För att leda ekonomin i en positiv riktning krävs att landet dels har en hög sparkvot, men även en effektiv forskning och utvecklingssektor, samt att andelen av arbetskraft i forskning och utbildning är hög. För fullständiga härledningar av den klassiska Romer-modellen se kapitel 5 i Jones & Vollrath (2013).

### 4.3 Den utvidgade Romer-modellen

AI förväntas öka korporativ lönsamhet och avkastning markant genom att komplettera och förstärka människans intellektuella förmågor. Dessa effektiviseringsmöjligheter är icke-jämförbar med tidigare automationsteknik, som endast kan utföra uppgifter den är konstruerad för utan förmågan att förbättra sig själv. Ju mer en AI lär sig och ju mer kunskap den kan lagra, desto mer multifunktionell är den. Därmed bidrar AI till att öppna upp för nya möjligheter vad gäller värdeskapande processer och ekonomisk tillväxt, och passar således inte in under någon av de befintliga produktionsfaktorerna.

Detta understryker behovet för maskiners kunskapsnivå inom framtida tillväxtanalys. I den utvidgade modellen betraktas AI som en arbetskraftsförstärkning, med potential att övermanna intellektuella hinder som idag begränsar den mänskliga arbetskraften. Jag har därför valt att lägga till AI som en helt ny produktivitetshöjande faktor. Uttrycket för förändring i teknologin har utvidgats i min modell. Detta till följd av att ekonomins befintliga AI-nivå anses bidra till att utöka möjligheten för utvecklingen av nya idéer. En närmare beskrivning av nämnda förändringar av den klassiska Romer-modellen följer nedan.



Den nya produktionsfunktionen i den utvidgade Romer-modellen ser ut enligt följande:

$$Y = K^\alpha (MAL_y)^{1-\alpha} \quad (4.9)$$

Jämfört med ekvation (4.1) har den nya faktorn för artificiell intelligens  $M$  lagts till och antas enligt modellen förstärka arbetskraften. Därför placeras  $M$  i förhållande till  $L_y$  i den utvidgade modellen. Produktionsfunktionen i per capita termer ser ut enligt nedan:

$$y = k^\alpha (MA)^{1-\alpha} \left(\frac{L_y}{L}\right)^{1-\alpha} \quad (4.10)$$

Den nya produktionsfaktorn för artificiell intelligens  $M$  avser att anpassa den klassiska Romer-modellen för framtida tillväxtanalyser till följd av fortskridande utveckling inom AI. Den nya produktionsfaktorn förändras enligt följande uttryck:

$$\dot{M} = IT\beta \quad (4.11)$$

Ekvation (4.11) visar att landets artificiella intelligensnivå  $M$  beror på den generella maskininlärningen hos befintlig AI-teknik  $I$ , AIs generella kunskapsrepresentation  $T$ , samt landets förmåga att absorbera AI i ekonomin  $\beta$ . Ju högre värdet på dessa är, desto högre blir även nivån för artificiell intelligens.

Syftet med maskininlärning är att förse systemet med förmågan att tillgodogöra sig kunskap. Ju högre denna förmåga är, desto mer kunskap kan den tillgodogöra sig.  $I$  är således ett mått på hur väl AI-system ackumulerar kunskap för vidare användning. I tidigare avsnitt nämns att ett system betraktas som intelligent när den har förmågan att agera och ta beslut baserat på kunskapen den besitter. Kunskapen som AI ackumulerar via maskininlärning hjälper den med att komma fram till egna slutsatser och interagera med omvärlden på ett naturligt sätt via kunskapsrepresentation, som betecknas  $T$  i uttrycket. Eftersom maskininlärning och kunskapsrepresentation således är två grundläggande faktorer som påvisar intelligensen hos AI-system har jag valt att

lägga till dem i den utvidgade modellen. I brist på tillgänglig data uppskattas godtyckliga värden på  $I$  och  $T$  i senare analys, som växer i en årlig konstant hastighet.

$\beta$  är i modellen en parameter som antar ett konstant värde och speglar landets förmåga att tillämpa AI-teknologi i ekonomin. Värdet på denna parameter beror bland annat på landets IT-relaterade infrastruktur, som spelar en stor roll för tillämpningen av AI eftersom det visar hur stor kapacitet landet har att implementera ny avancerad teknologi. AI antas även reformera många arbetsprocesser och arbetsroller i en verksamhet, som kan leda till att arbetsstyrkan inom en organisation behöver omskolas. Utöver landets IT-relaterade infrastruktur beror därför  $\beta$  också på hur enkelt eller svårt det är för organisationer att genomföra tillräckligt stora strukturella förändringar i sin verksamhet för att tillämpa AI-teknologi.

AI antas även ha en inverkan på ekonomins möjligheter att utveckla nya idéer genom att förstärka den mänskliga arbetskraftens intellektuella förmågor. Exempel på sådan förstärkning är att AI-system kan tänkas komplettera forskarnas arbete genom att ta över tidskrävande arbetsuppgifter, som hitintills bidragit till att fördröja utvecklingen av nya innovationer. System som är kompetenta nog att extrapolera mönster i stora datamängder och komma fram till egna slutsatser, i en hastighet och med en träffsäkerhet som för människan är oslagbar, bidrar till att effektivisera arbetet avsevärt vad gäller utvecklingen av nya idéer. Därmed har jag i min utvidgade modell valt att bygga vidare på uttrycket för förändring i teknologin enligt nedan:

$$\dot{A} = \theta L_A^\lambda A^\phi M^\gamma \quad \text{där } 0 < \lambda \leq 1, 0 < \gamma \text{ och } 0 \leq \phi < 1 \quad (4.12)$$

I den nya modellen beror utvecklingen av idéer, utöver vad som tidigare nämnts, på AI-nivån i landet. Tillkomsten av en ny resurs med förmågan att på ett bättre sätt utföra vissa arbetsuppgifter som hittills krävt intellektuell kapacitet, antas effektivisera idéskapandet i en ekonomi. Parametern  $\gamma$  är konstant och syftar till att visa avkastningen för AI och anger därmed betydelsen av AI för utvecklingen av nya idéer. Enligt modellen antar  $\gamma$  ett värde större än 0. Anledningen till detta är att artificiell intelligens antas ha en positiv effekt på utvecklingen av nya idéer. Om  $\gamma < 0$  skulle en ökning av AI istället ha en negativ effekt på skapandet av nya idéer.

I den kommande analysen antas det att  $\lambda = 1$  och  $\phi = 0$ . Det innebär att utvecklingen av nya idéer således är oberoende av tidigare innovationer, och att det inte finns någon risk för duplikat av idéer. Utvecklingen av nya idéer beror således endast på mängden forskare, produktiviteten i FoU, landets AI-nivå, samt betydelsen av AI för utvecklingen av nya idéer. Till följd av dessa antaganden kan ekvation (4.12) skrivas om till:

$$\dot{A} = \theta L_A M^\gamma \quad (4.13)$$

Till följd av förändringarna enligt den utvidgade modellen kommer tillväxttakten för BNP per capita i steady state se ut enligt nedanstående ekvation (för noggrann härledning se Appendix 1):

$$g_y = g_M(1 + \gamma) + n \quad (\lambda = 1 \text{ och } \phi = 0) \quad (4.14)$$

Tillväxttakten för BNP per capita i steady state beror på tillväxttakten för artificiell intelligens, betydelsen av AI för utvecklingen av nya idéer och befolkningstillväxten. Det betyder att ekonomins förmåga att producera nya idéer inte längre ensam ligger till grund för den ekonomiska utvecklingen.

Till följd av utökningarna i ekvation (4.1) och (4.4) kommer även uttrycket för steady state-nivån vara annorlunda. Det nya uttrycket för BNP-nivån i steady state ser ut enligt följande (för noggrann härledning, se Appendix 1):

$$y^* = \left( \frac{s}{\delta + n + g_A + g_M} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \mathbf{1} - sR \left( \frac{\theta s R L M^\gamma}{g_A} \right) \left( \frac{IT\beta}{g_M} \right) \quad (4.15)$$

BNP-nivån i steady state i den utvidgade modellen beror på ytterligare faktorer än i den klassiska Romer-modellen, se ekvation (4.8). Värdena för maskininlärning  $I$ , landets förmåga att absorbera AI i ekonomin  $\beta$ , och kunskapsrepresentation  $T$  förändrar BNP per capita-nivåerna i jämvikt. Ju “smartare” teknologin är, desto mer kommer en ekonomi att kunna producera, vilket leder till ökningar i BNP per capita. I den nya modellen kommer tillväxttakten i teknologin  $g_A$  få ett högre värde, samtidigt

som tillväxttakten för AI  $g_M$  läggs till. Det innebär att kvoten  $\left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}$ , som avser realkapitalet i steady state, får ett lägre värde i den utvidgade modellen. Detta visar att tillämpningen av AI kräver större investeringar än tidigare för att behålla minst samma nivå på realkapitalet som i den klassiska modellen. Den teknologiska nivån  $\left(\frac{\theta s R L M^\gamma}{g_A}\right)$  kan anta både högre eller lägre värden jämfört med den klassiska Romer-modellen beroende på värdet i täljaren. Ett lägre värde på den teknologiska nivån är dock inte avgörande för vilken riktning ekonomin utvecklas i. Detta beror på att kvoten för landets AI-nivå  $\left(\frac{IT\beta}{g_M}\right)$  kan väga upp för reduceringar i både realkapitalet och den teknologiska nivån. Nämnade konstateranden innebär att faktorn för artificiell intelligens kan fungera både som en negativ och en positiv kraft vad gäller BNP per capita i jämvikt. Senare analys visar dock att de positiva krafterna är större än de negativa för USA. Förändring av övriga produktionsfaktorer, arbetskraft  $L$  och realkapital  $K$ , är likadan i den utvidgade modellen.

## 5. Metod och Data

---

*I följande avsnitt ges en närmare presentation för den metod och data som kommer användas för senare simuleringar. I metoden presenteras en detaljerad redogörelse för utförandet av simuleringarna. Vidare är delavsnittet för data indelat i rubriker för de produktionsfaktorer som ingår i BNP per capita beräkningarna.*

---

### 5.1 Metod

För att undersöka de potentiella tillväxtrelaterade effekterna som AI genererar kommer två simuleringar göras på USA. Simuleringarna täcker åren 2017-2057. Den första simuleringen avser att visa hur den amerikanska ekonomin utvecklas i steady state, och genomförs både med och utan artificiell intelligens som produktivitetshöjande faktor. I den första simuleringen används följande funktioner för att beräkna värden för BNP per capita i steady state:

$$(*) y^* = \left( \frac{s}{\delta+n+g_A+g_M} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} 1 - sR \left( \frac{\theta s R L M^\gamma}{g_A} \right) \left( \frac{IT\beta}{g_M} \right)$$

$$(**) y^* = \left( \frac{s}{\delta+n+g_A} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} 1 - sR \left( \frac{\theta s R L}{g_A} \right)$$

I den första simuleringen åskådliggörs därmed ekonomins utveckling i steady state till följd av implementeringen av AI, i jämförelse med ett scenario där AI inte implementeras. Resultaten av potentiella steady state-nivåer för bägge modeller används sedan för att tydligt belysa vilka effekter AI kan tänkas ha på den amerikanska ekonomin i steady state.

Enligt teorin beror riktningen i landets ekonomiska utveckling, samt dess tillväxttakt, på förhållandet mellan faktisk BNP per capita och BNP per capita i steady state. Eftersom det inte är säkert att USA befinner sig i steady state, visar den första simuleringen inte hur faktiskt BNP per capita utvecklas till följd av AI, och förklarar således inte vad som faktiskt kan tänkas hända i ekonomin. Med anledning av detta utförs en andra simulering, som avser att visa en uppskattning för utvecklingen av faktisk BNP per capita. Simuleringen utförs med och utan artificiell intelligens som produktivitetshöjande faktor för att tydligt åskådliggöra effekterna av AI. I den andra simuleringen beräknas BNP per capita årsvis för åren 2017-2057 med hjälp av följande funktioner:

$$(***) y = k^\alpha (MA)^{1-\alpha} \left( \frac{Ly}{L} \right)^{1-\alpha}$$

$$(****) y = k^\alpha A^{1-\alpha} \left( \frac{Ly}{L} \right)^{1-\alpha}$$

Resultaten från den andra simuleringen jämförs sedan för att tydligt visa vilka effekter AI kan tänkas ha på den faktiska BNP per capita-utvecklingen. Värderna från 2016 på modellernas variabler används i den andra simuleringen som utgångspunkt för att möjliggöra beräkningar av framtida värden. Notera att kvoten  $\left( \frac{Ly}{L} \right)$  är detsamma som  $I-sR$ .

Resultaten från de båda simuleringarna med AI som produktionsfaktor sammanställs sedan, för att visa huruvida den ekonomiska utvecklingen i USA påverkas positivt eller negativt till följd av AI, samt vad som kan tänkas hända med ekonomins tillväxttakt. En känslighetsanalys av använda variabler för beräkning av steady state-nivåerna genomförs slutledningsvis för att evaluera träffsäkerheten i resultaten. Känslighetsanalysen avser att visa vilken effekt de använda variablerna har på beräkningen av BNP per capita i steady state.

## **5.2 Data**

Nedan presenteras noggrant den data som används i efterföljande simuleringar. I brist på data för särskilda variabler krävs godtyckligt uppskattade värden. Avsnittet avser att redovisa data för variabler som används genom alla simuleringarna. Detta inkluderar variabler som både ingår i simuleringar med artificiell intelligens som produktionsfaktor, och utan. Datakällor som nämns nedan är allmänt kända bland forskare, och anses därför vara pålitliga. Värdet för en variabel förändras i de simuleringar som inkluderar artificiell intelligens som produktionsfaktor. Förändrade värden för denna variabel återges i avsnitt 6. Vidare återfinns tabeller över använda variablers betydelse, utgångsvärde, förändring samt källa i Appendix 2.

### **5.2.1 BNP per capita**

Data på BNP per capita  $y$  för år 2014-2016 har hämtats från The World Bank. Värdet år 2016 används sedan som utgångspunkt för framtida skattningar av faktisk BNP per capita, både med och utan AI som produktivitetshöjande faktor. De hämtade värdena på BNP per capita används även för att beräkna kapitalstocken per capita, samt den teknologiska nivån år 2016.

### **5.2.2 Realkapital**

Värdet för sparkvoten  $s$  har hämtats från Penn World Tables 9.0. Datan täcker åren 1950-2014, och avser nettoinvesteringar i realkapital som andel av BNP. Det är svårt att urskilja något särskilt mönster från datan för vilket håll sparkvoten rör sig. Av denna anledning har därför värdet på  $s$  valts att hållas konstant enligt samma

värde år 2014, vilket är 21 %. Realkapitalets deprecieringstakt  $\delta$  antas vara konstant på 0,05 och betyder att realkapitalet förslits med 5 % per år. Andelen av totalt kapital som tillfaller realkapitalet  $\alpha$  uppskattas till 1/3. I tillväxtsammanhang är dessa värden för  $\delta$  och  $\alpha$  allmänt vedertagna.

Kapitalstocken per capita  $k$  beräknas med hjälp av data från Penn World Tables 9.0. Datan avser den totala kapitalstocken. För att skatta kapitalstocken per capita divideras värdet på den totala kapitalstocken med befolkningsmängden. Eftersom datan endast sträcker sig t.o.m. 2014 har jag, med hjälp av data från The World Bank för BNP per capita, beräknat värdet för kapitalstocken per capita för år 2016. Värdet för kapitalstocken per capita uppgår enligt mina beräkningar till 171 894 USD år 2016. Därefter beräknas värdet på kapitalstocken per capita för övriga år enligt nedan.

Uttrycket för den årliga förändringen i kapitalstocken per capita är:

$$\dot{k} = sy - \delta k \quad (5.1)$$

Framtida värden för kapitalstocken per capita beräknas således enligt följande uttryck:

$$k_t = k_{t-1}(1 - \delta) + s_{t-1}y_{t-1} \quad (5.2)$$

### 5.2.3 Artificiell intelligens

Eftersom det inte finns någon data för maskininlärning  $I$ , krävs det att godtyckliga värden på variabeln uppskattas.  $I$  värderas godtyckligt till 0.5 år 2017 för USA. Värdet på  $I$  är relativt lågt och väljs av försiktighetsskäl för eventuella överskattningar. Vidare antas maskininlärning förbättras med 0,5 % per år, vilket är dess årliga tillväxttakt. Ett någorlunda lågt värde har valts även för tillväxttakten av särskilda anledningar. Bristen på data, samt att teknologin är relativt ny, gör det svårt att uppskatta utvecklingen av maskininlärning. Därför väljs ett lägre värde av försiktighet för överskattningar även här. Dock är det inte osannolikt att utvecklingen i verkligheten går snabbare (eller långsammare) än vad som uppskattas i denna analys.

Brist på data för kunskapsrepresentation  $T$  innebär, likt  $I$ , att godtyckliga värden behöver uppskattas för variabeln. Kunskapsrepresentation värderas till 0,3 år 2017. Eftersom kunskapen som maskiner besitter är beroende av hur väl systemet lär sig antas  $T$  växa i samma takt som  $I$ , dvs. 0,5 % per år. Värdet på  $T$  är lägre än värdet på  $I$  då det antas att förmågan hos AI-system att lagra kunskap, komma fram till egna slutsatser och interagera med omvärlden på ett naturligt sätt, ännu inte är lika avancerad som dess förmåga att tillgodogöra sig kunskapen.

Värdet på landets förmåga att absorbera AI i ekonomin  $\beta$  uppskattas till 0,09 år 2017, och hålls konstant för alla år som simuleringarna avser. Uppskattningen har gjorts genom att undersöka USAs IT-relaterade infrastruktur, samt förmågan hos organisationer att genomföra de strukturella förändringar i sin verksamhet som krävs för att tillämpa AI-teknologi. Med tanke på att USA kännetecknas som världsledare inom teknologi, uppvisar den IT-relaterade infrastrukturen en stark potential för USA att implementera ny avancerad teknologi. Förmågan att genomföra de strukturella förändringar som krävs för att implementera AI-system i en verksamhet antas vara högst hos landets största företag. Men till följd av stora kostnader och krav på tillräckligt stora datamängder att förse AI-systemen med antas denna förmåga vara lägre hos småföretagen i landet. Baserat på detta har ett sammanvägt värde uppskattats för  $\beta$ .

Tillväxttakten i artificiell intelligens  $g_M$  beräknas, med hjälp av sambandet i steady state (se Appendix 1), uppgå till 1 %, och är konstant för alla år som analysen avser. Detta till följd av att  $I$  och  $T$  växer med en konstant årlig takt.

Eftersom ovanstående värden är godtyckligt uppskattade är det viktigt att ha i åtanke att resultat från simuleringarna bör betraktas med någorlunda försiktighet. För att se hur stor effekt variablerna för AI har för de beräknade värdena, se känslighetsanalysen. Eventuella analyser av andra länder kräver att andra rimliga värden på  $I$ ,  $R$  och  $\beta$  samt dess årliga tillväxttakter, uppskattas. Eftersom AI utveckling är som störst i USA bör värden för övriga länder vara något lägre än i USA. Att USA är ledande inom AI behöver dock inte bestå i framtiden.



För simulering som avser utvecklingen av faktiskt BNP per capita med AI som produktivitetshöjande faktor sätts  $M = 1$  för år 2016. Därefter förändras  $M$  årligen enligt nedanstående uttryck:

$$\dot{M} = IT\beta \quad (5.3)$$

Framtida värden för  $M$  beräknas således enligt nedan:

$$M_t = M_{t-1} + (I_{t-1}T_{t-1}\beta_{t-1}) \quad (5.4)$$

#### 5.2.4 Arbetskraft

Data för beräkning av arbetskraftstillväxten  $n$  har hämtats från Penn World Tables 9.0. Arbetskraften  $L$  antas i modellen utgöras av den totala befolkningens mängd. Den hämtade datan avser därför total befolkningens mängd för åren 1950-2014. Med hjälp av datan beräknas en årlig genomsnittlig tillväxttakt för befolkningen till ca 1,13 %, som hålls konstant genom hela analysen. Med hjälp av denna tillväxttakt beräknas framtida värden av den totala arbetskraften fr.o.m. 2014.

Vidare i modellen är arbetskraften fördelad mellan produktionssektorn och forskning och utvecklingssektorn. Genom att titta på datatrender från tidigare år uppskattas andelen av arbetskraften som ägnar sig åt FoU  $sR$  till 2 %. Andelen av arbetskraften som tillägnas produktionssektorn  $I-sR$  uppgår således till 98 %. Detta till följd av att det i modellen antas att de individer som inte arbetar inom forskning och utbildning istället arbetar inom produktion. Eftersom studien avser att fokusera på vilka effekter AI har för den ekonomiska utvecklingen är det mest naturliga att låta uppskattningar för  $sR$  och  $I-sR$  hållas konstanta genom hela analysen. Det är dock bra att ha i åtanke att  $sR$  (och således  $I-sR$ ) i verkligheten rimligtvis kan öka eller minska.

#### 5.2.5 Teknologi

För att få fram värden på landets teknologiska nivå uppskattas värden för  $\theta$  och  $\gamma$  godtyckligt. Det antas att  $\theta = 0,0001$  och  $\gamma = 0,6$ . Värdet för  $\theta$  kommer förändras till följd av AI, se avsnitt 6 och Appendix 2. Värdet på  $\gamma$  är relativt högt till följd av att

AI antas påverka utvecklingen av nya idéer markant, således är avkastningen för AI stor inom FoU. Som tidigare nämnt antas det att  $\lambda = 1$  och  $\phi = 0$  i kommande analys. Detta innebär att utvecklingen av nya idéer endast beror på mängden forskare, produktiviteten i FoU, samt landets AI-nivå och dess avkastning. Detta antagande görs för att tydligt belysa den grundläggande intuitionen bakom tillväxttakten i teknologin, vilket är att den främst beror på tillväxttakten hos arbetskraften och tillväxttakten i landets AI-nivå.

Tillväxttakten i teknologin beräknas med hjälp av sambandet för steady state (Se Appendix 1), som år 2017 uppgår till ca 1,73 % i modellen med AI som produktionsfaktor. Tillväxttakten för teknologi utan AI som produktivitetshöjande faktor uppgår år 2017 till ca 1,13 %, vilket är detsamma som tillväxttakten i arbetskraften.

För att kunna analysera utvecklingen av faktiskt BNP per capita, behöver ett värde för den teknologiska nivån skattas. Detta görs genom att lösa ut  $A$  ur produktionsfunktionen för BNP per capita enligt nedan:

$$y = k^\alpha A^{1-\alpha} \left(\frac{Ly}{L}\right)^{1-\alpha}$$

$$\rightarrow A = \left(\frac{y}{k^\alpha \frac{Ly}{L}^{1-\alpha}}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (5.5)$$

Genom att använda värden på BNP per capita, realkapital per capita, samt andelen av arbetskraften i produktionssektorn för år 2016 beräknas den teknologiska nivån år 2016 uppgå till 33 905,62. Därefter beräknas den årliga förändringen för den teknologiska nivån enligt nedanstående uttryck för simuleringen med AI som produktivitetshöjande faktor ( $\lambda = 1$ ,  $\phi = 0$  och  $L_A = sRL$ ):

$$\dot{A} = \theta L_A M^\gamma \quad (5.6)$$

I simuleringen utan AI som produktivitetshöjande faktor beräknas den årliga förändringen i den teknologiska nivån enligt nedan:

$$\dot{A} = \theta L_A \quad (5.7)$$

De framtida värdena för A med AI beräknas således enligt följande:

$$A_t = A_{t-1} + (\theta_{t-1} L_{A_{t-1}} M^Y_{t-1}) \quad (5.8)$$

De framtida värdena för A utan AI beräknas enligt följande uttryck:

$$A_t = A_{t-1} + (\theta_{t-1} L_{A_{t-1}}) \quad (5.9)$$

## 6. Resultat

---

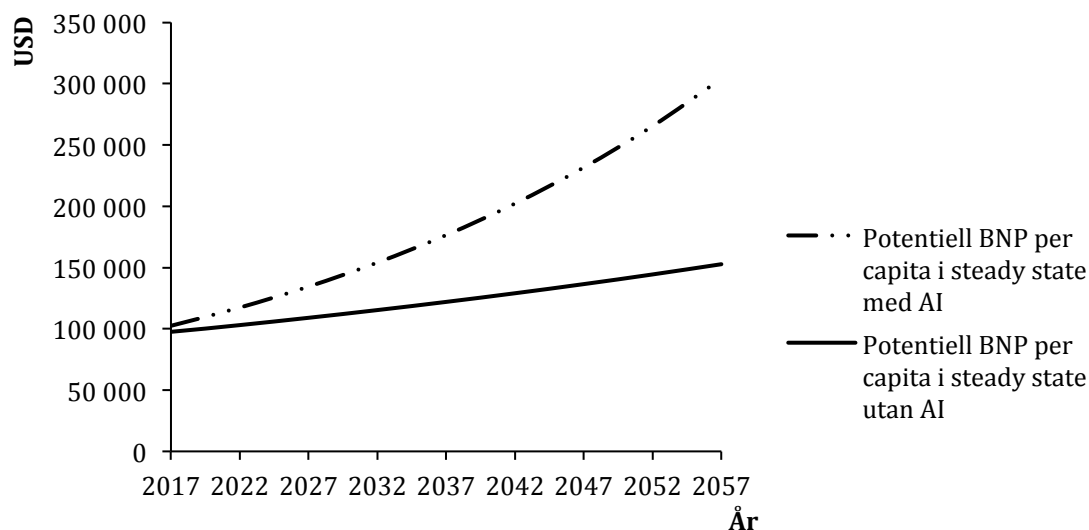
*Avsnittet avser att redovisa resultaten från de genomförda simuleringarna. Bägge simuleringar använder tidigare presenterade funktioner med och utan AI. Inledningsvis presenteras resultaten från simulering 1, som avser att visa utvecklingen i BNP per capita i steady state. Sedan följer resultat från simulering 2, som avser att visa utvecklingen av faktiskt BNP per capita. Slutledningsvis görs en sammanställning för att avgöra om den amerikanska ekonomin påverkas positivt eller negativt till följd av AI, och följs av en känslighetsanalys för använda variabler. Datasammanställning med tabeller över använda variablers betydelse, utgångsvärde, förändring, samt källa återfinns i Appendix 2.*

---

### 6.1 Simulering av AIs effekter i steady state

Simuleringen visar hur den amerikanska ekonomin utvecklas i steady state till följd av AI, i kontrast till om AI inte skulle komma att implementeras, och avser tidsperioden mellan åren 2017-2057. Som tidigare nämnt antas det att AI leder till en ökad effektivisering inom FoU. Det antas därför i analysen att produktiviteten inom FoU ( $\theta$ ) är 10 % högre till följd av AI-användningen för den tidsperiod som simuleringarna avser. Det betyder att värdet på variabeln går från 0,0001 till 0,00011 år 2017-2057 för BNP per capita med AI. Resultat presenteras på nästa sida.

**Figur 1 Potentiell BNP per capita i steady state år 2017-2057, löpande priser**



**Figur 2 Tabell över simulering av BNP per capita i steady state**

År	y* (AI) USD	y* USD	Differens	% skillnad
2017	102 421	97 407	5 015	5,1 %
2022	117 344	103 039	14 305	13,9 %
2027	134 441	108 997	25 443	23,3 %
2032	154 028	115 300	38 728	33,6 %
2037	176 470	121 967	54 503	44,7 %
2042	202 181	129 019	73 162	56,7 %
2047	231 638	136 479	95 159	69,7 %
2052	265 387	144 371	121 016	83,8 %
2057	304 053	152 719	151 334	99,1 %

Figur 1 och 2 visar på en omfattande ökning av BNP per capita-nivåer i steady state med AI som produktivitetshöjande faktor. För 2017 är dock den procentuella skillnaden mellan steady state-nivåerna inte särskilt påtaglig. Däremot genererar AI märkbara öknings i efterkommande femårsperioder. Efter 20 år är de potentiella BNP per capita-nivåerna i steady state med AI nästan 45 % högre än i jämförande scenario. Efter 40 år visar resultaten att BNP per capita i steady state nästan fördubblats till följd av implementeringen av AI.

I den första simuleringen framgår det således att användningen av AI, som produktivitetshöjande faktor, ger omfattande tillväxteffekter vad gäller den ekonomiska utvecklingen i steady state. Trenden visar även på att skillnaden i BNP per capita-nivåerna i steady fortsättningsvis kommer öka.

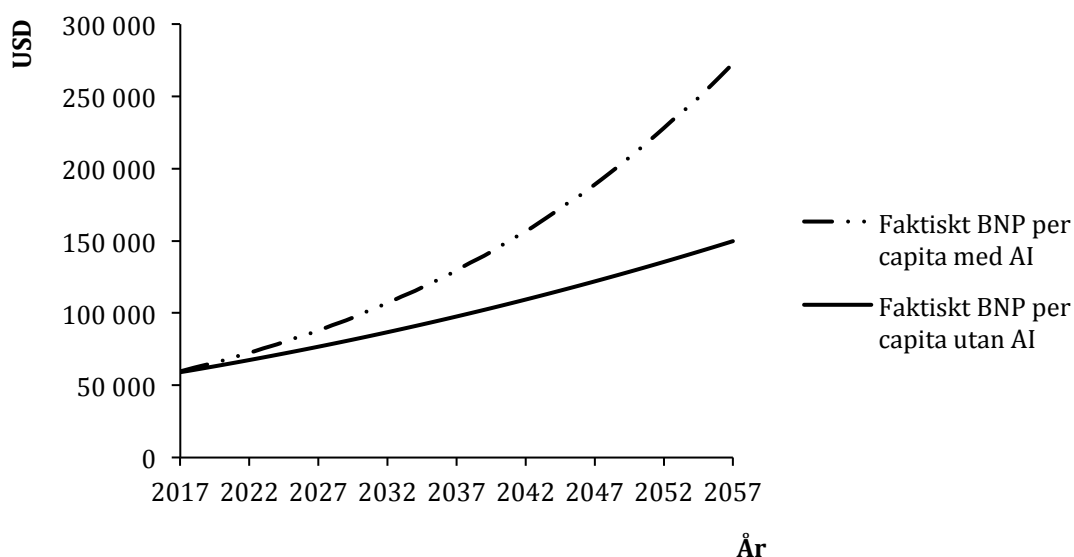
Eftersom tillväxttakten för AI, befolkningens mängden, samt värdet på  $\gamma$  hålls konstanta, kommer tillväxttakten för BNP per capita i steady state således vara densamma för alla år som simuleringen avser. Tillväxttakten för BNP per capita i steady state med AI uppgår till ca 2,73 %, och utan AI är tillväxttakten ca 1,13 %. Detta betyder att ekonomins utveckling i steady state vid implementering av AI är mer än dubbelt så hög än utan AI. I enlighet med Dougherty och Purdy (2016) beräknas alltså tillväxttakten för ekonomin i steady state att mer än fördubblas. Däremot visar resultat från den tidigare studien en tillväxttakt på 4,6 % år 2035 vid implementeringen av AI. Skillnader i de beräknade tillväxttakterna beror dels på våra olika sätt att mäta AI på, samt skillnader i de tillväxtmodeller man valt att utgå ifrån.

## 6.2 Simulering av AIs effekter på faktisk BNP

Figur 3 samt 4 uppvisar resultat från den andra simuleringen, som redovisar hur faktiskt BNP per capita utvecklas mellan åren 2017-2057.

Simulering har utförts både med och utan AI som produktivitetshöjande faktor.

**Figur 3 Utveckling av faktisk BNP per capita år 2017-2057, löpande priser**



**Figur 4 Tabell över simulering av faktisk BNP per capita**

År	y (AI) USD	y USD	Differens	% skillnad
2017	59 599	59 064	535	0,9 %
2022	72 422	67 510	4 912	7,3 %
2027	87 871	76 744	11 127	14,5 %
2032	106 921	86 786	20 135	23,2 %
2037	129 619	97 654	31 964	32,7 %
2042	156 497	109 367	47 130	43,1 %
2047	188 966	121 943	67 022	55,0 %
2052	228 084	135 408	92 675	68,4 %
2057	272 738	149 789	122 949	82,1 %

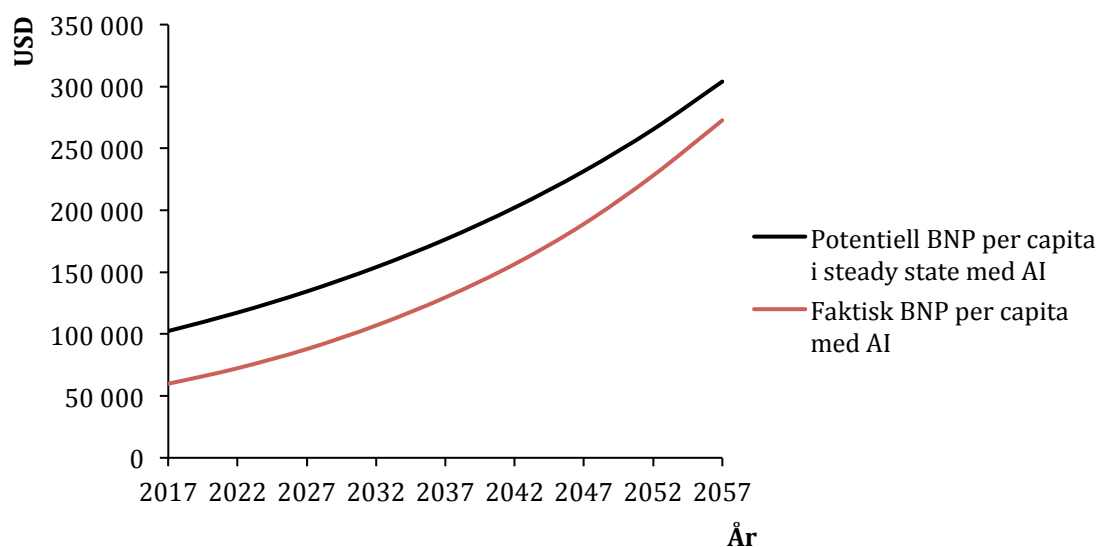
*Av utrymningsskäl inkluderar tabellen inte alla år som simuleringen avser*

Resultat från den andra simuleringen visar att även den faktiska BNP per capita-utvecklingen påverkas positivt vid implementeringen av AI. Dock är det först efter tio år som AI verkar ge en någorlunda omfattande effekt på ekonomin. BNP per capita-nivån är ca 14 % högre vid implementeringen av AI än i jämförande scenario år 2027. Innan dess är den procentuella skillnaden mellan BNP per capita-nivåerna för år 2017 och 2022 endast 0,9 % respektive 7,3 %. Efter 40 år visar resultaten att den faktiska BNP per capita-nivån till följd av AI är 82,1 % högre än om AI inte skulle implementeras. Från figur 3 framgår det tydligt att differensen mellan de faktiska BNP per capita-nivåerna med och utan AI troligtvis ökar även längre fram i tiden.

### **6.3 Sammanställning av genomförda simuleringar**

Kommande figurer redovisar en sammanställning från de två genomförda simuleringarna med AI som produktivitetshöjande faktor. Sammanställningen visar huruvida den amerikanska ekonomin påverkas positivt eller negativt vid implementering av artificiell intelligens, samt hur den ekonomiska tillväxttakten artar sig till följd av AI.

**Figur 5 Faktisk BNP per capita med AI, samt BNP per capita i steady state med AI år 2017-2057, löpande priser**



**Figur 6 Tabell över faktiskt BNP per capita med AI, samt BNP per capita i steady state med AI**

År	$y^*$ (AI) USD	$y$ (AI) USD	Differens	% skillnad
2017	102 421	59 599	42 822	71,9 %
2022	117 344	72 422	44 922	62,0 %
2027	134 441	87 871	46 569	53,0 %
2032	154 028	106 921	47 108	44,1 %
2037	176 470	129 619	46 851	36,1 %
2042	202 181	156 497	45 684	29,2 %
2047	231 638	188 966	42 672	22,6 %
2052	265 387	228 084	37 304	16,4 %
2057	304 053	272 738	31 315	11,5 %

Enligt teorin är ett lands ekonomiska tillväxt positiv när faktisk BNP per capita är lägre än BNP per capita i steady state. Figur 5 visar således att USAs ekonomiska tillväxt under kommande 40 år bör vara positiv. Däremot säger teorin också att den ekonomiska tillväxttakten blir långsammare ju närmare steady state-nivån ekonomin befinner sig. Från figur 6 ser man att den procentuella skillnaden mellan steady state-nivåerna och de faktiska BNP per capita-nivåerna minskar med åren. Detta innebär att ekonomins tillväxttakt således bör avta med tiden och eventuellt konvergera till steady state-nivån. I ett sådant scenario, när väl ekonomin befinner sig i steady state, kommer ekonomin växa längs en balanserad tillväxtbana där alla variabler växer med en årlig konstant hastighet.

Skillnaden mellan steady state-nivån och faktiskt BNP per capita är som störst år 2017, då den är 71,9 %. Det betyder att tillväxttakten i ekonomin således bör vara som högst år 2017. Ju längre fram i tiden man kollar, desto mindre blir den procentuella skillnaden. Det betyder att tillväxttakten, enligt teorin, bör avta allteftersom och bör vara som lägst år 2057 då den procentuella skillnaden endast är 11,5 %.

## **6.4 Känslighetsanalys**

En känslighetsanalys genomförs för att urskilja den använda modellens känsligaste variabler, vars värden spelar en avgörande roll vid beräkningen av BNP-nivåerna i steady state. Eftersom en stor del av de använda variablerna är godtyckligt uppskattade, är det av stor vikt att genomföra en känslighetsanalys för att uppmärksamma läsaren om vilka variabler som mest påverkar resultatet. Känslighetsanalysen avser endast variabler för de beräknade steady state-nivåerna enligt modellen med AI som produktivitetshöjande faktor.

Analysen genomförs på godtyckligt uppskattade variabler, och avser att visa hur de potentiella BNP-nivåerna i steady state år 2057 påverkas. Undersökningen utförs genom att öka värdet på varje variabel en och en med 20 %. Sedan studeras förändringen hos den potentiella BNP per capita-nivån. Det ursprungliga värdet för BNP per capita i steady state år 2057, jämförs med resultatet för det nya värdet som uppstår till följd av ökningen hos den enskilda variabeln. Ju större den procentuella skillnaden är mellan BNP per capita-nivåerna, desto känsligare är variabeln i fråga för förändringar, och desto större effekt har den på beräkningen av BNP per capita i steady state. Figur 7 visar resultat från känslighetsanalysen.



**Figur 7 Resultat för känslighetsanalys**

Variabel	Ursprungligt värde år 2057	Nytt värde år 2057	% Förändring i steady state år 2057
<b>s</b>	0,21	0,252	9,5 %
<b>δ</b>	0,05	0,06	-5,2 %
<b>n</b>	0,011306	0,0135672	-13,7 %
<b>α</b>	0,3	0,4	15,5 %
<b>sR</b>	0,02	0,024	19,5 %
<b>γ</b>	0,6	0,72	1,1 %
<b>I</b>	0,5	0,6	33,9 %
<b>R</b>	0,3	0,36	33,9 %
<b>β</b>	0,09	0,108	33,9 %
<b>θ</b>	0,00011	0,000132	20,0 %

Resultat från känslighetsanalysen visar att de variabler som har positiv effekt på BNP per capita beräkningar i steady state är  $I$ ,  $R$ ,  $\beta$ ,  $\theta$ ,  $s$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$  samt  $sR$ , där variablerna  $I$ ,  $R$  och  $\beta$  har den största positiva effekten på BNP och är mest känsliga. En ökning på 20 % för variablerna som ingår i uttrycket för landets AI-nivå,  $I$ ,  $R$  och  $\beta$ , genererar ökade BNP-nivåer med 33,9 % vardera. Variabler som ingår i uttrycket för den teknologiska nivån,  $\theta$  och  $sR$ , genererar ökning i BNP per capita på 20 % respektive 19,5 % vid en ökning på 20 % av deras ursprungsvärde. Till följd av att  $sR$  har ökat i känslighetsanalysen har även  $I$ - $sR$  minskat lika mycket.

Mindre känsliga variabler är bland annat sparkvoten  $s$ , vars ökning på 20 % resulterar i att BNP per capita i steady state ökar med 9,5 %. Även andelen av totalt kapital som tillfaller realkapitalet har en mindre effekt på BNP per capita i steady state. När  $\alpha$  ökar med 20 %, bidrar det till en ökning i BNP per capita i steady state med 15,5 %. Minst effekt visar  $\gamma$ , vars ökning på 20 % endast resulterar i en ökning för BNP per capita i steady state med 1,1 % och är därmed minst känslig.

Variabler med negativ effekt på de beräknade steady state-nivåerna är befolkningstillväxten  $n$  och realkapitalets deprecieringstakt  $\delta$ . En ökad tillväxttakt för befolkningen med 20 % bidrar till minskningar i BNP per capita i steady state med -13,7 %. Om realkapitalet förslits 20 % snabbare än vad som antagits i analysen, resulterar detta i en minskning för BNP per capita i steady state med -5,2 %, vilket visar på att  $\delta$  är en av de minst känsliga variablerna.

En känslighetsanalys har även genomförts för simuleringar som avser den långsiktiga tillväxten i faktisk BNP per capita. Dock visar resultaten endast ringa avvikelser, och leder inte till att de mest känsliga samt de minst känsliga variablerna enligt figur 7 behöver ersättas.

Med hjälp av känslighetsanalysen går det även att konstatera vilka variabler som, enligt modellen, bör vara av störst intresse för att generera en ökad tillväxt. Analysen visar att variablerna som ingår i uttrycket för landets AI-nivå har störst positiv effekt på BNP per capita i steady state. Det betyder att ju mer avancerad systemens maskininlärning och kunskapsrepresentation är, samt ju mer välanpassad landet är för att absorbera AI-teknologi i ekonomin, desto högre blir BNP per capita steady state. Samtidigt visar resultaten på att en ökad produktivitet i FoU, samt en ökad andel av mängden forskare också genererar någorlunda ökning i BNP. Känslighetsanalysen visar dessutom att en långsammare befolkningstillväxt även skulle gynna ekonomins utveckling i steady state.

## **7. Slutsats och diskussion**

Syftet med denna uppsats har varit att besvara frågan: *Vilka potentiella effekter kan implementeringen av artificiell intelligens ha på den ekonomiska utvecklingen mellan åren 2017-2057?* För att besvara frågan har USA använts som ett åskådliggörande exempel vars framtida ekonomiska tillväxt, till följd av implementeringen av AI, simuleras med hjälp av en utvidgad version av den klassiska Romer-modellen.

System som förstärker människans intellektuella kapacitet visar sig ge direkt synliga effekter på den ekonomiska utvecklingen under kommande 40 årsperiod. Resultat från den genomförda analysen visar att USAs BNP per capita-nivå i steady state nästan blir dubbelt så hög som i jämförande scenario år 2057, samt att den faktiska BNP per capita ökar med över 80 % samma år. Slutsatsen kan därför dras att intelligent automation bidrar till omfattande effektiviseringsmöjligheter.

Trots att effekterna på BNP-nivåerna är lovande, uppvisar sammanställningen för de genomförda simuleringarna att tillväxttakten i ekonomin är positiv, men avtagande.

Detta till följd av att den faktiska BNP per capita-nivån med tiden successivt närmar sig steady state-nivån. Även om BNP-nivåerna ökat avsevärt innebär det enligt teorin att USA bör uppvisa avtagande (men fortfarande positiv) ekonomisk tillväxttakt mellan åren 2017-2057. Trenden visar att den faktiska BNP-utvecklingen förr eller senare bör gå samman med steady state-nivån.

Om den amerikanska ekonomin i framtiden skulle komma att befinna sig i steady state, hade satsningar som görs för att avancera landets AI-teknologi genererat en nivåeffekt, där BNP per capita i steady state ökar. Däremot, till följd av att variablerna antas växa i en konstant takt, växer landets AI-nivå, och således BNP per capita, konstant i steady state (se appendix 1). Det innebär att satsningar på AI endast genererar en kortsiktig ökad tillväxttakt i övergångsperioden från ett steady state till en annan. På lång sikt kommer ekonomins tillväxttakt däremot successivt återgå till dess konstanta takt i steady state.

Min modell kan därför tänkas vara ett första steg i att analysera de ekonomiska effekterna som AI genererar. Likt Romer-modellens utbyggnad av den grundläggande Solow-modellen, kan senare generationer komma att bygga vidare på min modell för att även inkludera faktorer som ligger bakom tillväxttakten för artificiell intelligens. I min modell antas det även att arbetskraften utgörs av den totala befolkningens mängd. I verkligheten stämmer inte detta antagande. En rimligare mätning för arbetskraften hade därför varit att använda andelen av befolkningen som är i arbetsför ålder, alternativt finna data på antalet anställda i landet.

Vidare är artificiell intelligens ett mycket svårt begrepp att definiera och det råder oenighet bland många AI-forskare vad gäller en exakt begreppsförklaring. I min utvidgade modell har jag valt att betrakta AI-system enligt deras intellektuella kapacitet. Den utvidgade modellen bygger därför på två av dem intellektuella egenskaper, som av forskare antas spela en avgörande roll för AI-utvecklingen. Nackdelen är att den totala potential som jag tror att AI kommer ha på ekonomin inte riktigt fångas in eftersom AI inte bara överkommer intellektuella hinder som tidigare begränsat människan, utan även fysiska hinder i form av t.ex. robotlösningar. Samtidigt finns det ingen data att hämta för maskininlärning eller kunskapsrepresentation. Eftersom faktorn för AI visat sig spela en relativt stor roll för

beräkningar av BNP-nivåerna, är analysens utfall i stora drag beroende av de antaganden som jag gjort vad gäller variablernas värde. Studiens autenticitet kan därmed ifrågasättas till följd av mina godtyckliga uppskattningar.

Värt att nämna är även att skillnader i resultat kan uppstå mellan olika tillväxtmodeller, vilket framgår i en jämförelse med mina resultat och Daugherty och Purdy (2016). Detta beror på att olika tillväxtmodeller använder sig av olika beståndsdelar som främst anses bidra till ekonomisk utveckling. Beroende på tillväxtmodell, beräknas tillväxttakten och BNP-nivåerna med hjälp av olika variabler och kan således skilja sig åt från modell till modell vad gäller exakta siffror. Det innebär att om faktorn för AI i min modell kom att användas i en annan tillväxtmodell är det möjligt att resultaten hade skiljt sig åt. Resultaten från denna uppsats är därför inte obetingade.

Eftersom AI-teknologi oroar många vad gäller mängden jobb som möjligtvis kan automatiseras, fokuserar mycket av dagens forskning kring AI på förändringar inom arbetsmarknaden och mängden jobb som kan gå förlorade. Dock har jag svårt att tänka mig att detta skulle vara ett avgörande problem i framtiden. Dels tror jag att AI främst kommer ersätta särskilda arbetsuppgifter snarare än arbeten i den närmsta framtiden, samtidigt tror jag även att AI leder till att nya marknader och därmed jobb skapas. Det är däremot svårare att tänka sig vilka nya jobb, arbetsroller och marknader som kan komma att skapas till följd av AI, än att föreställa sig vilka befintliga jobb som idag kan tänkas gå förlorade. Jag tror emellertid att implementeringen av AI kommer ske gradvis och att förändringar inom arbetslivet kommer ske utan att människor medvetet tänker på det.

Jag önskar därför att den framtida forskningen istället fokuserar mer på hur faktorn för artificiell intelligens skall integreras och standardiseras i befintliga tillväxtmodeller. Eftersom AI idag inte är standard inom nationalekonomiska analyser, men antas i framtiden bidra till omfattande ekonomiska effekter, anser jag att artificiell intelligens kommer bli alltmer viktigare att beakta inom framtida tillväxtanalyser.

## Referenslista

Avenade (2017). *Smart technologies are delivering benefits to the enterprise- is your business one of them?* United States of America: Avenade Inc.

[https://www.avanade.com/~/\\_media/asset/point-of-view/smart-technologies-delivering-benefits-pov.pdf](https://www.avanade.com/~/_media/asset/point-of-view/smart-technologies-delivering-benefits-pov.pdf)

Arntz. M., Gregory. T., & Zierahn. U. (2016). *The Risk of Automation for Jobs in OECD countries: A Comparative Analysis*. OECD Social, Employment and Migration Working Papers (Rapport 189). Paris: OECD Publishing.

Barrat. J. (2013). *Our final invention: Artificial Intelligence and the End of the Human Era*. United States of America: Thomas Dunne Books

Bell. J. (2014). *Machine learning: Hands-on for Developers and Technical Professionals*.

United States of America, Indianapolis: John Wiley & Sons, Inc.

Bonkenburg.T. (2016). *Robotics in Logistics: A DPDHL perspective on implications and use cases for the logistics industry*. Tyskland: DHL Customer Solutions & Innovation.

[http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about\\_us/logistics\\_insights/dhl\\_trend\\_report\\_robotics.pdf](http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_trend_report_robotics.pdf)

Callan. R. (2003). *Artificial Intelligence*. Hampshire, England: Palgrave Macmillan

Chen. N., Christensen. L., Gallagher. K., Mate. R., & Rafert. G. (2016). *Global Economic Impacts Associated with Artificial Intelligence*.

Gantz. F. J., Schubmehl. D., Wardley. M., Murray. G., & Vesset. D. (2017). *A Trillion-Dollar Boost: The Economic Impact of AI on Customer Relationship Management*. United States of America: International Data Corporation (IDC)

GE Digital (2017). *Plant Applications 7.0 from GE Digital: Maximize operations management, improve production performance, and drive product quality*.

United States of America: General Electrics

<https://www.ge.com/digital/sites/default/files/plant-applications-from-ge-digital-datasheet.pdf>

Hansson, P. (2017). *Kompletterande kompendium: Ekonomisk tillväxt*.

Lund: Lunds universitet, Nationalekonomiska Institutionen

Jones, C.I. & Vollrath, D. (2013) *Introduction to economic growth*. 3. Uppl. United States of America: W. W. Norton & Company

Muller. V. C. & Bostrom. N. (2014). *Future Progress in Artificial Intelligence: A Survey of Expert Opinion*. I Muller. v. C. (red) *Fundamental Issues of Artificial Intelligence*. Berlin: Springer

Nilsson. J. N. (2009). *The quest for artificial intelligence: A history of ideas and achievements*. Cambridge, England: Cambridge University Press.

Penn World Tables 9.0 (2015). *The Next Generation of the Penn World Table*.

<http://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/> [2017-07-04]

Purdy. M. & Daugherty. P. (2016). *Why artificial intelligence is the future of growth*.

United States of America: Accenture

[https://www.accenture.com/lv-en/\\_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf](https://www.accenture.com/lv-en/_acnmedia/PDF-33/Accenture-Why-AI-is-the-Future-of-Growth.pdf)

Stone.P. et. al. (2016). *Artificial intelligence and life in 2030: One hundred year study on artificial intelligence*. United States of America: Stanford University

[https://ai100.stanford.edu/sites/default/files/ai100report10032016fnl\\_singles.pdf](https://ai100.stanford.edu/sites/default/files/ai100report10032016fnl_singles.pdf)

The World Bank (2017). *World Development Indicators: GDP per capita (current US dollars)*

<http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&type=metadata&series=N.Y.GDP.PCAP.CD> [2017-07-04]

## Appendix 1. Härledning av den utvidgade Romer-modellen

Produktionsfunktion:

$$Y = K^\alpha (MAL_y)^{1-\alpha} \quad (\text{A:1})$$

Förändring i realkapital:

$$\dot{K} = sY - \delta K \quad (\text{A:2})$$

Förändring i den teknologiska nivån:

$$\dot{A} = \theta L_A^\lambda A^\phi M^\gamma \quad (\text{A:3})$$

Förändring i artificiell intelligensnivå:

$$\dot{M} = IT\beta \quad (\text{A:4})$$

### Härledning av $y$ och $g_y$

BNP per capita ges av följande funktion:

$$y = \frac{Y}{L} = \frac{K^\alpha (MAL_y)^{1-\alpha}}{L^\alpha L^{1-\alpha}} = k^\alpha (MA)^{1-\alpha} \left(\frac{L_y}{L}\right)^{1-\alpha} \quad (\text{A:5})$$

För att få fram tillväxttakten i BNP per capita börjar man med att logaritmera BNP per capita funktionen:

$$\ln y = \alpha \ln k + (1 - \alpha) \ln(MA) + (1 - \alpha) \left(\frac{L_y}{L}\right) \quad (\text{A:6})$$

Sedan deriveras den logaritmerade funktionen med avseende på tid enligt följande:

$$\frac{\partial \ln y}{\partial t} = \alpha \frac{\partial \ln k}{\partial t} + (1 - \alpha) \frac{\partial \ln(MA)}{\partial t} + (1 - \alpha) \frac{\partial \ln(\frac{L_y}{L})}{\partial t} \quad (\text{A:7})$$

Ekvation (A:7) kan skrivas om till:

$$g_y = \alpha g_k + (1 - \alpha)(g_M + g_A + g_{\frac{L_y}{L}}) \quad (\text{A:8})$$

Eftersom andelen av arbetskraften som ingår i produktionssektorn  $(\frac{L_y}{L})$  enligt modellen är konstant i steady state, betyder det att tillväxttakten för denna andel är noll. Därför kan tillväxttakten för BNP per capita i steady state skrivas enligt följande:

$$g_y = \alpha g_k + (1 - \alpha)(g_M + g_A) \quad (\text{A:9})$$

### Härledning av $g_k$

Genom att dividera förändringen i realkapital (A:2) med realkapitalnivån erhålls tillväxttakten i realkapital enligt:

$$g_k = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{sY - \delta K}{K} = s \frac{Y}{K} - \delta \quad (\text{A:10})$$

I steady state är tillväxttakten i realkapital  $g_k$  konstant. Det betyder att även  $\frac{Y}{K}$  måste vara konstant. I steady state måste därför BNP och realkapitalet växa i samma takt så att  $g_y = g_k$

Genom att använda att  $g_y = g_k$  i steady state, leder detta till att tillväxttakten för BNP per capita i steady state ser ut enligt nedan:

$$g_y = (g_M + g_A) \quad (\text{A:11})$$



## Härledning av $g_A$ och $A$

Genom att dividera förändringen i teknologin (A:3) med den teknologiska nivån erhålls tillväxttakten i teknologin enligt:

$$g_A = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\theta L_A^\lambda A^\phi M^\gamma}{A} = \frac{\theta L_A^\lambda M^\gamma}{A^{1-\phi}} \quad (\text{A:12})$$

Tillväxttakten för teknologin är konstant i steady state. Det betyder att tillväxttakten i  $g_A$  är 0. Tillväxttakten i  $g_A$  kan härledas genom att logaritmera ekvation (A:11) och derivera denna med avseende på tid enligt nedan:

$$\frac{\partial \ln g_A}{\partial t} = \frac{\partial \ln \theta}{\partial t} + \lambda \frac{\partial \ln L_A}{\partial t} + \gamma \frac{\partial \ln M}{\partial t} - (1 - \phi) \frac{\partial \ln A}{\partial t} = 0 \quad (\text{A:13})$$

Eftersom  $\theta$  är konstant betyder det att den inte har någon tillväxttakt över tiden. Vidare är tillväxttakten för mängden arbetar inom forskning  $L_A$  samma som tillväxttakten i hela arbetskraften  $n$ . Således kan ekvation (A:13) skrivas om enligt nedan:

$$g_{g_A} = \lambda n + \gamma g_M - (1 - \phi) g_A = 0$$

$$\rightarrow g_A = \frac{\lambda n + \gamma g_M}{(1 - \phi)} \quad (\text{A:14})$$

I analysen antas det att  $\lambda = 1$  och  $\phi = 0$ . Därför kan ekvation (A:14) skrivas om till nedanstående uttryck:

$$g_A = n + \gamma g_M \quad (\text{A:15})$$

Med hjälp av ekvation (A:12) kan man även ta fram den teknologiska nivån i steady state genom att lösa ut  $A$  ur ekvationen enligt nedan ( $\lambda = 1$  och  $\phi = 0$ ):

$$g_A = \frac{\theta L_A M^\gamma}{A}$$

$$\rightarrow A = \frac{\theta L_A M^Y}{g_A} \quad (\text{A:16})$$

### Härledning av $g_M$ och $M$

Genom att dividera förändringen i AI (A:4) med AI-nivån erhålls tillväxttakten i artificiell intelligens enligt:

$$g_M = \frac{\dot{M}}{M} = \frac{IT\beta}{M} \quad (\text{A:17})$$

Tillväxttakten för AI-nivån är konstant i steady state. Det betyder att tillväxttakten i  $g_M$  är 0, och kan härledas genom att logaritmera ekvation (A:16) och derivera denna med avseende på tid enligt nedan:

$$\frac{\partial \ln g_M}{\partial t} = \frac{\partial \ln I}{\partial t} + \frac{\partial \ln R}{\partial t} + \frac{\partial \ln \beta}{\partial t} - \frac{\partial \ln M}{\partial t} = 0 \quad (\text{A:18})$$

Eftersom  $\beta$  är en parameter som antar ett konstant värde, innebär det att den inte förändras över tiden. Ekvation (A:17) kan således skrivas om till:

$$g_{g_M} = g_I + g_R - g_M = 0 \quad (\text{A:19})$$

Tillväxttakten i AI-nivån i steady state blir således:

$$g_M = g_I + g_R \quad (\text{A:20})$$

Genom att använda ekvation (A:17) är det möjligt att härleda den maskinella intelligensnivån i steady state:

$$g_M = \frac{IT\beta}{M}$$

$$\rightarrow M = \frac{IT\beta}{g_M} \quad (\text{A:21})$$

## Härledning av $g_y$

Tillväxttakten för BNP i steady state kan nu skrivas om till:

$$g_y = (g_M + g_A) = g_M + (n + \gamma g_M)$$

$$\rightarrow g_y = g_M(1 + \gamma) + n \quad (\text{A:22})$$

Ekvation (A:22) visar att tillväxttakten för BNP per capita i steady state beror på tillväxttakten i artificiell intelligens, betydelsen av den befintliga AI-nivån för utvecklingen av nya idéer, samt arbetskraftens tillväxttakt.

## Steady state

För att beräkna steady state-nivån beräknas först BNP per capita, teknologinivå och artificiell intelligensnivå:

$$\tilde{y} = \frac{y}{LAM} = \frac{K^\alpha (MALy)^{1-\alpha}}{(LAM)^\alpha (LAM)^{1-\alpha}} = \tilde{k}^\alpha \left(\frac{Ly}{L}\right)^{1-\alpha} \quad (\text{A:23})$$

Kapitalförändringen per capita, teknologinivå, och artificiell intelligensnivå i steady state är noll och härleds enligt nedan:

$$\dot{\tilde{k}} = \frac{\dot{K}}{LAM} = \frac{K}{LAM} \left[ \frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{L}}{L} - \frac{\dot{A}}{A} - \frac{\dot{M}}{M} \right] = 0$$

$$\rightarrow \tilde{k} \left( s \frac{Y}{K} - \delta - n - g_A - g_M \right) = 0$$

$$\rightarrow \tilde{k} \left( s \frac{\left(\frac{Y}{LAM}\right)}{\left(\frac{K}{LAM}\right)} - (\delta + n + g_A + g_M) \right) = 0$$

$$\rightarrow s\tilde{y} - (\delta + n + g_A + g_M)\tilde{k} = 0$$

$$\rightarrow s\tilde{k}^\alpha \left(\frac{Ly}{L}\right)^{1-\alpha} - (\delta + n + g_A + g_M)\tilde{k} = 0 \quad (\text{A:24})$$

Med hjälp av ovanstående resultat är det möjligt att lösa ut realkapital per capita, teknologinivå och artificiell intelligensnivå  $\tilde{k}$  i steady state:

$$\tilde{k}^* = \left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{Ly}{L}\right) \quad (\text{A:25})$$

Detta betyder att BNP per capita, teknologinivå och artificiell intelligensnivå blir:

$$\tilde{y}^* = \left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{Ly}{L}\right) \quad (\text{A:26})$$

BNP per capita i steady state blir således:

$$y^* = \tilde{y}AM$$

$$\rightarrow y^* = \left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{Ly}{L}\right) AM$$

$$\rightarrow y^* = \left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \left(\frac{Ly}{L}\right) \left(\frac{\theta L_A M^\gamma}{g_A}\right) \left(\frac{IT\beta}{g_M}\right) \quad (\text{A:27})$$

Genom att beteckna  $\left(\frac{Ly}{L}\right)$  som  $1-sR$ , där  $sR$  är andelen av arbetskraften inom forskning och utveckling, och  $L_A$  som  $sRL$  kan ekvation (A:27) skrivas om till:

$$y^* = \left(\frac{s}{\delta+n+g_A+g_M}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} 1 - sR \left(\frac{\theta sRLM^\gamma}{g_A}\right) \left(\frac{IT\beta}{g_M}\right) \quad (\text{A:28})$$

Det antas att  $sR=0,02$  och  $1-sR=0,98$

## Appendix 2. Datasammanställning

Beräkning av kapitalstocken per capita samt den världsteknologiska nivån redovisas t.o.m. 2016. De beräknade värdena används sedan som utgångspunkt för att beräkna framtida värden av faktiskt BNP per capita fr.o.m. 2017 med och utan AI.

### A2.1 Kapitalstocken per capita 2016

Värden för kapitalstocken per capita beräknas enligt följande uttryck:

$$k_t = k_{t-1}(1 - \delta) + s_{t-1}y_{t-1}$$

**Figur 8 Beräkning av kapitalstocken per capita år 2016**

År	Sparkvot $s$ (% av BNP, Penn World Tables 9.0 2014)	BNP per capita $y$ USD (The World Bank)	Investering per capita $sy$ USD	Depreciering $\delta$	Kapitalstock per capita $k$ USD (Penn World Tables 9.0 2014)
<b>2014</b>	0,21	54 599	11 347	0,05*	165 441
<b>2015</b>	0,21*	56 207	11 803	0,05*	168 516
<b>2016</b>	0,21*	57 467	12 068	0,05*	171 894

Värden märkta med \* är egna uppskattningar

## A2.2 Teknologinivån 2016

Den teknologiska nivån år 2016 beräknas enligt följande uttryck:

$$A = \left( \frac{y}{k^\alpha \frac{L_y}{L}^{1-\alpha}} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

**Figur 9 Beräkning av den teknologiska nivån år 2016**

Variabel	Förklaring	Värde 2016	Källa
<b>y</b>	BNP per capita	5,7467*10 <sup>4</sup>	The World Bank
<b>k</b>	kapitalstock per capita	1,71894*10 <sup>5</sup>	Beräknat värde
$\frac{L_y}{L}$	Andelen av arbetskraft inom produktion	0,98	Egen uppskattning
<b>α</b>	Andelen av totalt kapital som tillfaller realkapitalet	1/3	Egen uppskattning
<b>A</b>	Teknologiska nivån	3,390562*10 <sup>4</sup>	Resultat

## A2.3 Simulering av potentiella steady state-nivåer utan AI år 2017-2057

Figur 10 Steady state utan AI

Variabel	Förklaring	Värde 2017	Femårsvis förändring	Källa
$s$	Sparkvot	0,21	-	Penn World Tables 9-0
$\delta$	Realkapitalets deprecieringsstakt	0,05	-	Uppskattat värde
$n$	Befolkningstillväxt	0,011306	-	Beräknat värde enligt data från Penn World Tables 9.0
$\alpha$	Andelen av totalt kapital som tillfaller realkapitalet	1/3	-	Uppskattat värde
$sR$	Andel av arbetskraft inom FoU	0,02	-	Uppskattat värde
$\theta$	Produktivitet i FoU	0,00010	-	Uppskattat värde
$L$	Total arbetskraft (befolkningsmängd)	$3,30406937 \cdot 10^8$	$L_t = L_{t-5} \cdot (1+n)^5$	Beräknat värde enligt data från Penn World Tables 9.0
$g_A$	Tillväxttakt i teknologin	0,011306	-	Beräknat värde enligt teorin

## A2.4 Simulering av potentiella steady state-nivåer med AI år 2017-2057

Figur 11 Steady state med AI

Variabel	Förklaring	Värde 2017	Femårsvis förändring	Källa
$g_A$	Tillväxttakt i teknologin	0,017306	-	Beräknat värde enligt teorin
$\theta$	Produktivitet i FoU	0,00011	-	Uppskattat värde
$I$	Maskininläring	0,5	$I_t = I_{t-5} * 1,005^5$	Uppskattat värde
$T$	Kunskapsrepresentation	0,3	$T_t = T_{t-5} * 1,005^5$	Uppskattat värde
$\beta$	Länders förmåga att absorbera AI i ekonomin	0,09	-	Uppskattat värde
$M$	AI-nivå	1,35	Beräknas enligt: $M_t = \frac{I_t T_t \beta}{g_M}$	Beräknat värde enligt teorin
$\gamma$	Betydelsen av AI inom FoU	0,6	-	Uppskattat värde
$g_M$	Tillväxttakt i AI	0,01	-	Beräknat värde enligt teorin



## A2.5 Simulering av faktiska BNP per capita-nivåer utan AI år 2017-2057

Uttryck för BNP per capita utan AI:

$$y = k^\alpha A^{1-\alpha} \left(\frac{L_y}{L}\right)^{1-\alpha}$$

De framtida värdena för A utan AI beräknas enligt följande uttryck:

$$A_t = A_{t-1} + (\theta_{t-1} L_{A_{t-1}})$$

**Figur 12 Faktisk BNP per capita utan AI**

Variabel	Förklaring	Värde 2017	Årlig förändring	Källa
<i>k</i>	Kapitalstock per capita	1,7536704*10 <sup>5</sup>	$\dot{k} = sy - \delta k$	Beräknat värde
<i>A</i>	Teknologinivå	3,455905*10 <sup>4</sup>	$\dot{A} = \theta L_A$	Beräknat värde

## A2.6 Simulering av faktiska BNP per capita-nivåer med AI år 2017-2057

Uttryck för BNP per capita med AI:

$$y = k^\alpha (MA)^{1-\alpha} \left(\frac{L_y}{L}\right)^{1-\alpha}$$

De framtida värdena för A med AI beräknas enligt följande uttryck:

$$A_t = A_{t-1} + (\theta_{t-1} L_{A_{t-1}} M^{\gamma_{t-1}})$$

Framtida värden för M beräknas enligt nedan:

$$M_t = M_{t-1} + (I_{t-1} T_{t-1} \beta_{t-1})$$

**Figur 13 Faktisk BNP per capita med AI**

Variabel	Förklaring	Värde 2017	Årlig förändring	Källa
<b>A</b>	Teknologinivå	3,463687*10 <sup>4</sup>	$\dot{A} = \theta L_A M^\gamma$	Beräknat värde
<b>M</b>	AI-nivå	1,35	$\dot{M} = IT\beta$	Beräknat värde