Kansainvälisen kaupan integraatio, koulutusryhmittäiset palkkaerot ja kitkatyöttömyys: schumpeterilainen näkökulma

Kansantaloustieteen pro gradu -tutkielma

Helsingin yliopisto

15.9.2003

Elias Einiö

HELSINGIN YLIOPISTO – HELSINGFORS UNIVERSITET – UNIVERSITY OF HELSINKI	
Tiedekunta/Osasto - Fakultet/Sektion - Faculty	Laitos - Institution - Department
Valtiotieteellinen tiedekunta	Kansantaloustieteen laitos
Tekijä - Författare - Author	
Einiö, Elias	
Työn nimi - Arbetets titel - Title	
Kansainvälisen kaupan integraatio, koulutusryhmittäiset palkkaerot ja kitkatyöttömyys: schumpeterilainen näkökulma	
Oppiaine - Läroämne - Subject	
Kansantaloustiede	

Työn laji - Arbetets art - Level	Aika - Datum - Month and year	Sivumäärä - Sidoantal- Number of pages
Pro gradu	15.9.2003	70+31

Tiivistelmä - Referat - Abstract

Tutkielmassa tarkastellaan, miten kahden teollisuusmaan välisen kaupan kustannusten lasku vaikuttaa tuotannon allokoitumiseen lopputuotetuotannon ja tuotekehityksen välillä. Keskeisenä kysymyksenä on tuotannon uudelleenallokoitumisen vaikutukset kouluttamattoman ja koulutetun työvoiman kysyntään ja tarjontaan, suhteellisiin palkkoihin ja kouluttamattoman työvoiman kitkatyöttömyyteen. Tarkastelun viitekehyksenä on schumpeterilainen laatutikapuumalli. Mallissa toimialan lopputuotemarkkinoita hallitsee laatujohtaja, joka on patentoinut kehittämänsä korkealaatuisimman tuotteen ja joka hinnoittelee laatuedun turvin kilpailijansa ulos markkinoilta. Laatujohtajana ansaitut monopolivoitot kannustavat yrityksiä tuotekehitykseen, jota lisäämällä todennäköisyys keksiä seuraavan sukupolven laadukkaampi tuote kasvaa.

Tullimaksun lasku vähentää ulkomaankaupan kustannuksia ja kasvattaa laatujohtajan voittomarginaalia, jolloin tuotekehityksen odotettu voitto kasvaa. Tämä lisää yritysten kannustinta tehdä tuotekehitys-investointeja, jonka seurauksena resursseja siirtyy lopputuotannosta tuotekehitykseen. Kun tuotekehityksessä käytetään panoksena suhteellisesti runsaammin koulutettua työvoimaa, tuotekehityksen osuuden kasvu lisää koulutetun ja vähentää kouluttamattoman työvoiman suhteellista kysyntää. Tämä kasvattaa koulutettujen suhteellista palkkaa. Tullimaksun laskun kokonaisvaikutuksena kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden välinen palkkaero kasvaa.

Tuotekehitysinvestointien lisääntyessä uusi tuote keksitään entistä nopeammin ja tuotteiden elinkaari lyhenee. Tämä lisää irtisanomisten tiheyttä. Tällöin kitkatyöttömyys lisääntyy, kun irtisanottu työntekijä ei löydä uutta työpaikkaa välittömästi.

Työssä käytetyt matemaattiset mallit ovat dynaamisia yleisen tasapainon malleja. Kuluttajien kysyntä mallinnetaan dynastisen perheen intertemporaalisena kulutusvalintana. Lopputuotteiden kysyntä-tarjonta-kehikko mallinnetaan laatutikapuu-mallina (Grossman ja Helpman, 1991, luku 4). Työn keskeisimmät lähteet ovat Dinopolouksen ja Segerstromin (1999b) ja Senerin (2001) artikkelit.

Avainsanat – Nyckelord - Keywords

Kansainvälinen kauppa, taloudellinen integraatio, teknologinen kehitys, tuotekehitys, työttömyys, palkkaerot.

Säilytyspaikka - Förvaringsställe - Where deposited

Muita tietoja - Övriga uppgifter - Additional information

Sisällys

Muuttujaluettelo

c	- kulutusmeno henkeä kohden
D	- elinikä
H	- koulutetun työvoiman määrä
I	- tuotekehityspalveluiden määrä/ tuotekehitysintensiteetti
L	- kouluttamattoman työvoiman määrä
N	- väestön koko
n	- väestön kasvuvauhti
p	- kuluttajahinta
Q	- lopputuotteen tuotanto
q	- hyödykkeen kysyntä
r	- markkinakorko
S	- innovaation suhteellinen hinta
T	- koulutusjakson pituus
U	- työttömien kouluttautumattomien työntekijöiden määrä
u	- kouluttautumattomien työntekijöiden työttömyysaste
W	- perheen nykyhetkeen diskontattu elinikäinen tulokertymä
w_H	- kouluttautuneen henkilön palkka
w_L	- kouluttautumattoman henkilön palkka
X	- tuotekehityksen vaikeus
y	- työpaikkojen kohtaannon kesto
Z	- perheen nykyhetkeen diskontattu arvopapereiden arvo

β	- syntyvyysaste
δ	- kuolleisuusaste
γ	- kouluttautuneiden työntekijöiden palkkajakauman leveyttä kuvaava parametri
ϑ	- dynastisen perheen hyöty
φ	- perheen jäsenen hyöty
λ	- laatuparametri

Π - tuotekehityksen diskontattu odotettu voitto

π - laatujohtajan voittovirta lopputuotemarkkinoilla

Θ - rekrytointiaste

θ - kyvykkyysindeksi

θ_0 - kriittinen kyvykkyystaso

ρ - kuluttajan subjektiivinen diskonttokorko

τ - arvonlisätullimaksu

ϖ - työpaikan löytymisaste

Ω - toimialojen määrä

ω - toimialaindeksi

Yläindeksit

* - Ulkomaan markkina

Alaindeksit

i - yritys i

l - laatujohtaja

1 Johdanto

Maiden välisen kaupan lisääntyminen viimeisen vuosisadan aikana on herättänyt laajaa kansantaloustieteellistä keskustelua. Kaupan lisääntymisen yleisenä syynä pidetään maailmantalouden integraation syventymistä. Ilmiöön viitataan myös talouden globalisaationa, jolla tarkoitetaan tavaroiden ja palveluiden tuotannon, jakelun ja markkinoinnin lisääntyvää kansainvälistymistä (Harris, 1993). Talouden globalisaatioon kytketään myös mm. pääoman, työvoiman ja tiedon liikkumisen helpottuminen sekä institutionaalisten toimintatapojen, kuten talouden toimintaympäristöön vaikuttavien säännösten, yhtenäistyminen.

Taloustieteilijöiden yhtenä erityisenä kiinnostuksen kohteena on ollut kaupan lisääntymisen yhteys kansainväliseen ja kansalliseen tulonjakoon. Kiinnostus on lähtöisin 1980-luvun kehityksestä Yhdysvalloissa ja OECD-maissa. Tuolloin Yhdysvalloissa tuloerot kasvoivat jyrkästi ja sama ilmeni OECD-maissa hiukan heikompana (Uusitalo, 2002, s. 69).

Tieteenalalla ei ole laajaa konsensusta kansainvälisen kaupan lisääntymiseen kytkeytyvistä ilmiöistä. Hajanaisuus ilmenee monina erilaisina näkökulmina, teoreettisina malleina ja selitysyrityksinä tutkimusalueen kirjallisuudessa. Tässä tutkielmassa ei pyritä selittämään kansainvälisen kaupan syitä ja seurauksia kokonaisuudessaan, vaan rajoitutaan schumpeterilaisen kasvuteorian lähtökohdakseen ottavaan teoreettiseen lähestymistapaan, joka kytkee yhteen tuotemarkkinaintegraation ja kansalliset koulutusryhmien väliset palkkaerot. Lähestymistapa on erityisen kiinnostava siitä syystä, että se tarjoaa mahdollisuuksia jäsentää ja arvioida teollisuusmaiden välisen taloudellisen integraation vaikutuksia koulutusryhmien välisiin tuloeroihin.

Tutkielmassa keskitytään tuotemarkkinoiden integraation seurauksena alentuviin ulkomaankaupan kustannuksiin. Ulkomaankaupan kustannusten alentumisen syinä pidetään yleisesti kolmea tekijää: (i) kaupan esteiden vähentyminen tullimaksujen pienentyessä tai muunlaisten tuontirajoitusten (kuten tuontikiintiöiden) poistuessa, (ii) taloudellisen toimintaympäristön yhdenmukaistuminen ja (iii) kuljetus- ja kommunikaatiokustannusten alentuminen. Näistä kaksi ensimmäistä kytkeytyvät usein vahvasti poliittisen päätöksenteon piirissä oleviin integraatioprosesseihin, kun taas jälkimmäinen on seurausta kuljetus- ja kommunikaatioteknologian kehittymisestä. Viimeisten vuosikymmenien aikana kaupan esteiden ja kuljetus- ja kommunikaatiokustannusten lasku on selkeästi havaittavissa. Keskimääräiset tullimaksut teollisuusmaiden[1] välisessä teollisuustuotteiden kaupassa olivat vuonna 1931 32 prosenttia ja vuoteen 1987 mennessä ne olivat laskeneet 7 prosenttiin (World bank, 1991). Vastaavina vuosina keskimääräiset tullimaksut kaikille hyödykkeille laskivat 23 prosentista 7 prosenttiin. Kuljetus- ja kommunikaatiokustannukset ovat laskeneet koko viime vuosisadan ajan. Esimerkiksi vuosina 1940-80 laivaus- ja satamamaksut ja keskimääräinen lentomatkan hinta kuljetun matkan suhteen putosivat viidennekseen. Samaan aikaan kolmen minuutin puhelu New Yorkin ja Lontoon välillä pieneni alle viideskymmenesosaan (World Bank, 1995). Toimintaympäristön yhdenmukaistumista on hyvin vaikea mitata, mutta sen relevanssi ulkomaankaupan kustannuksille lienee kiistämättä merkittävä. Toimintaympäristön yhdenmukaistuminen vähentää eri maiden markkinoilla toimimiseen tarvittavan informaation määrää ja laskee siten yritysten ulkomaankauppaan liittyviä kustannuksia. Kommunikaatiokustannusten lasku ja toimintaympä-

[1] Laskelmassa mukana olevat maat ovat Itävalta, Belgia, Tanska, Ranska, Saksa, Italia, Hollanti, Espanja, Ruotsi, Sveitsi, Iso-Britannia ja Yhdysvallat.

ristön yhdenmukaistuminen parantavat informaation saatavuutta ja se voi osaltaan vaikuttaa yritysten vientipäätöksiin.

Esimerkkinä tuotemarkkinaintegraatiosta mainittakoon Euroopan maiden syventyvät yhteismarkkinat. Euroopan unionin puitteissa muodostettiin Toisen maailmansodan jälkeen tulliliitto, joka laajeni vuosisadan loppua kohden, ja jonka myötä jäsenmaiden välisen tavaroiden ja palveluiden kaupan esteitä poistui. Euroopan talouden integraatio saa uuden sysäyksen tulevina vuosina itäisen Euroopan maiden liittyessä tulliliittoon ja samalla yhdenmukaistaessa talouden toimintaympäristöä vanhojen jäsenmaiden kanssa.

Tutkielman rakenne on seuraava. Luvussa 2 tarkastellaan kahden teollisuusmaan välisen tullimaksun laskun vaikutusta kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden välisiin palkkaeroihin. Tarkastelu keskittyy talouteen, jossa harjoitetaan kahden tyyppistä tuotantotoimintaa: lopputuotantoa ja tuotekehitystä. Molemmassa tuotantotoiminnassa käytetään panoksena koulutettua ja kouluttamatonta työvoimaa. Palkat määräytyvät täydellisen kilpailun työmarkkinoilla ja taloudessa vallitsee täystyöllisyys. Luvussa 3 tarkastellaan tilannetta, jossa kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoilla esiintyy kitkatyöttömyyttä. Kitkatyöttömyyttä syntyy, kun irtisanotut työntekijät ja uuden työpaikan avanneet työnantajat eivät löydä heti toisiaan. Luvun 3 tarkastelussa tuotantorakenne poikkeaa luvusta 2 siten, että lopputuotannossa käytetään ainoastaan kouluttamatonta ja tuotekehityksessä ainoastaan koulutettua työvoimaa. Luvussa 4 kootaan yhteenvedoksi tutkielman keskeiset teemat ja päätelmät.

2 Kansainvälinen kauppa ja palkat täystyöllisyysmallissa

Tuloerojen kasvun selittäminen kansainvälisen kaupan lisääntymisellä 1980-luvulla on tyrmätty laajan tutkijajoukon keskuudessa, sillä tuontihinnat ovat pysyneet samaan aikaan tuloerojen kasvaessa suhteellisen vakaina.[2] Johtopäätös seuraa siitä, että havaittuja taloudellisia ilmiöitä tulkitaan perinteisen Stolper-Samuelson-mekanismin (SS-mekanismi) kehikossa. SS-mekanismin mukaan tuotannontekijöiden hinnat muuttuvat ulkomaankaupan vapautuessa siitä syystä, että kotimaiset hyödykkeiden hinnat muuttuvat. Kaupan esteiden poistumisen seurauksena muuttuvat kotimaiset hinnat aiheuttavat tuotannon siirtymistä sektorilta toiselle, jolloin työvoiman on siirryttävä mukana. Mikäli sektoreiden tuotannontekijäintensiteetit poikkeavat toisistaan muuttuu samalla tuotannontekijöiden kysyntä.

Tässä luvussa esitellään SS-mekanismille vaihtoehtoinen schumpeterilainen mekanismi, jossa tuotekehityspalveluiden tuotannolla on keskeinen rooli. Tarkastelu poikkeaa SS-mekanismista siten, että siinä innovaatioiden suhteellinen hinta lopputuotantoon nähden kytkeytyy tuotannontekijähintoihin. Keskeisenä tarkastelun kohteena on ulkomaankaupan kustannusten

[2] Ks. esim. Lawrence ja Salughter (1993).

laskun vaikutus kansantalouden resurssien allokoitumiseen lopputuotannon ja tuotekehityksen välillä. Tarkoituksena on analysoida tämän uudelleenallokoitumisen vaikutuksia kouluttamattoman ja koulutetun työvoiman suhteellisiin palkkoihin.

Tarkasteltavassa teoreettisessa mallissa talous muodostuu suuresta määrästä toimialoja, joissa kussakin on suuri määrä yrityksiä.[3] Yritykset pyrkivät kehittämään tuotekehitysyksiköissään toimialan sen hetkistä laadukkainta tuotetta korkealaatuisemman tuotteen. Tuotekehityksessä tehtävä keksintö parantaa tuotteen laatua eli kyseessä on niin sanottu vertikaalinen innovaatio.[4] Vertikaalisesta innovaatiosta voidaan käyttää esimerkkeinä 1980-luvun loppupuolella uuden sukupolven levysoittimina lanseerattuja cd-soittimia, jotka syrjäyttivät vanhan teknologian vinyylisoittimet, sekä samoihin aikoihin lanseerattuja langattomia matkapuhelimia, jotka syrjäyttivät osittain perinteisiä lankapuhelimia. Esimerkki vähemmän mullistavasta vertikaalisesta innovaatiosta on lisäominaisuuksien, kuten kameran ja kuvanlähetyspalveluiden, kehittäminen matkapuhelimiin.

Tuotekehitysyksikköjen voidaan ajatella kilpailevan keskenään tuotekehityskilvassa, joka päättyy kun jossakin yrityksessä onnistutaan keksimään uusi tuote. Kullakin toimialalla on tällöin yksi yritys, joka on keksinyt muita yrityksiä korkealaatuisemman tuotteen. Tätä yritystä kutsutaan jatkossa toimialan laatujohtajaksi. Laatujohtajan tekemä innovaatio lisää tuotteen arvoa laatuyksiköissä mitattuna. Lisäksi tarkasteltavassa tilanteessa laatujohtaja kykenee tuottamaan uuden tuotteen samoin tuotantokustannuksin kuin edellisen sukupolven tuotteen. Laatujohtaja on patentoinut tuotteensa ja ansaitsee laatuetunsa ansiosta monopolivoittoja. Laatujohtajana ansaittava monopolivoitto toimii toimialan yrityksille kannustimena kehittää seuraavan sukupolven tuote. Uuden tuotteen kehittävä yritys syrjäyttää sen hetkisen laatujohtajan ja ansaitsee monopolivoittoja, kunnes toimialalla tehdään seuraava innovaatio. Mitä kor-

---

[3] Toimialajaon voidaan ajatellaan olevan sellainen, että kukin toimiala tuottaa yhtä hyödykettä, kuten esim. cd-soittimia, maastopyöriä, hammasharjoja tms. Toimialajako esim. telekommunikaatioon, paperiteollisuuteen, metalliteollisuuteen jne. on tarkastelun kannalta liian karkea.

[4] Uusi keksintö voi olla myös kokonaan uusi tuote (horisontaalinen innovaatio) tai sen avulla voidaan kehittää tuotantoprosessia kustannustehokkaammaksi. Tässä tarkastelu rajoitetaan kuitenkin vain vertikaaliseen innovaatiooon.

keampi voitto tuotekehityksen onnistumisesta ansaitaan, sitä enemmän resursseja yritykset ovat halukkaita investoimaan tuotekehitykseen.

Tarkasteltavassa teoreettisessa mallissa konstruoituu Joseph Schumpeterin ”luovan tuhon” käsitettä vastaava talouden mekanismi, joka on tyypillinen laatutikapuumalleille. Kun kilpailevan yritys ”luo” uuden laadukkaamman tuotteen, se ”tuhoaa” aikaisemman sukupolven tuotetta tuottaneen laatujohtajan. Schumpeterin käsitys kapitalistisesta taloudesta poikkesi aikalaisten painotuksista, jotka kuuluttivat täydellisen kilpailun markkinoita lähtökohtanaan pitävien tutkimusten etujen puolesta (Oakley 1990, s.37). Schumpeterin työssä kapitalistisen talouden keskeinen kehityksen ja liikkeen lähde on innovaatio. Hänen mukaansa voittoja kustannus- tai laatuedun turvin keräävä monopoli ei ole niinkään haitta hyvinvoinnille ja kehitykselle. Schumpeterin ajattelussa monopoliaseman saavuttaminen markkinoille tulon esteiden syntymisen myötä varmistaa, että kannustin uuden keksimiselle on turvattu.

Ulkomaankaupan kustannukset kytkeytyvät lopputuotannon ja tuotekehityksen väliseen resurssien allokaatioon tuotekehityksestä ansaittujen voittojen kautta. Tarkasteltavassa kahden maan tapauksessa toimialat ovat identtisiä molemmissa maissa ja maiden yritykset kilpailevat laatujohtajan asemasta. Laadukkaimman tuotteen kehittänyt laatujohtaja hallitsee markkinoita molemmissa maissa. Ulkomaille vietävistä tuotteista se joutuu kuitenkin maksamaan arvonperusteisen tullimaksun, joka on ulkomaankaupasta koituva lisäkustannus. Kotimaassa myydyistä tuotteista vastaavaa lisäkustannusta ei koidu. Ulkomaankaupan kustannusten lasku tullimaksun laskun muodossa kasvattaa laatujohtajana ansaittuja kokonaisvoittoja (ulkomailta ansaitun voiton kasvaessa) ja lisää siten tuotekehityksen kannattavuutta. Näin tullimaksun lasku muodostaa kannustimen resurssien siirtämiselle lopputuotannosta tuotekehitykseen.

Kuinka edellä kuvattu ulkomaankaupan kustannusten laskusta seuraava resurssien siirtyminen lopputuotannosta tuotekehitykseen vaikuttaa työmarkkinoilla? Vastaus riippuu siitä, kuinka runsaasti lopputuotannossa ja tuotekehityksessä käytetään eri koulutusryhmien työntekijöitä. Oletetaan yksinkertainen tilanne, jossa on kaksi koulutusryhmää, kouluttamattomat ja koulutetut. Mikäli lopputuotannossa ja tuotekehityksessä käytetään suhteellisesti yhtä paljon koulutettua ja kouluttamatonta työvoimaa, ei tuotannon siirtyminen muuta työntekijäryhmiin kohdistuvaa suhteellista kysyntää. Mutta mikäli tuotekehityksessä käytetään lopputuotantoon verrattuna suhteellisesti runsaammin koulutettua kuin kouluttamatonta työvoimaa, joka on hyvin realistinen oletus, resurssien siirtyminen tuotekehitykseen kasvattaa koulutetun työvoiman suhteellista kysyntää.

Kansainvälisen kaupan, teknologisen kehityksen ja koulutusryhmittäiset pakkaerot yhteen kytkeviä teoreettisia artikkeleita on muutamia (Ekholm ja Knarvik, 2001). Tutkielmassa käsiteltävät Dinopolouksen ja Segerstromin (1999b) ja Senerin (2001) mallit edustavat tutkimusalueen dynaamisia yleisen tasapainon malleja. Vastaavia endogeenisen teknologisen kehityksen malleja edustavat myös Acemoglu (1999) ja Thoening ja Verdier (2000). Acemoglun mallissa koulutettujen tarjonnan lisääntyminen aiheuttaa osaamisen suhteen vinoutunutta (skill-biased) teknologista kehitystä. Tällöin koulutettujen tarjonnan lisäys lisää myös heidän kysyntää. Mikäli tarjonnan vaikutus kysyntään vinoutuneen teknologisen kehityksen välityksellä on hyvin voimakasta, siitä voi aiheutua jopa koulutettujen palkkojen nousua. Kaupan vapautuminen lisää koulutusintensiivisten hyödykkeiden hintaa, jolloin innovaatioista tulee tuottoisampia. Koulutusintensiivisten hyödykkeiden hinta laskee kuitenkin entiselle tasolleen niiden tarjonnan kasvaessa. Tällöin suhteellisten hintojen muutosten välityksellä vaikuttava kaupan vapautuminen ei lopulta ilmenekään suhteellisten tuontihintojen muutoksena, mutta suhteelliset palkkaerot kasvavat.

Ekholm ja Knarvik (2001) tarkastelevat tilannetta, jossa yritykset ovat heterogeenisia teknologian suhteen. Taloudessa on matalan teknologian perinteisiä yrityksiä, joilla on matalat kiinteät kustannukset ja korkeat vaihtelevat kustannukset, ja korkean teknologian moderneja yrityksiä, joilla on korkeat kiinteät kustannukset ja matalat vaihtelevat kustannukset. Modernien yritysten tuotannon oletetaan olevan koulutusintensiivisempää kuin perinteisten yritysten. Ulkomaankaupan kustannusten laskun seurauksena modernien yritysten kannattavuus kasvaa, jolloin niiden osuus taloudessa lisääntyy. Tällöin koulutettujen suhteellinen kysyntä kasvaa ja palkkaerot kasvavat. Samalla talous siirtyy korkeammalle teknologiatasolle.

Wood (1994, s. 159-61) pitää yhtenä kaupan vapautumisen ja koulutettujen suhteellisen kysynnän kasvun selittäjänä puolustavaa innovaatiota (defensive innovation). Sillä tarkoitetaan kehittyneiden maiden yritysten pyrkimystä selviytyä vähemmän kehittyneiden maiden kasvaneen tuontikilpailun paineessa matalan koulutusintensiivisyyden aloilla kehittämällä tuotantomenetelmiä, jotka säästävät kouluttamattoman työvoiman tarvetta. Tällöin kouluttamattoman työvoiman kysyntä laskee ja koulutetun työvoiman suhteellinen kysyntä kasvaa.

Dinopolous ym. (2002) mallissa toimialojen sisäisen (intra-industry) kaupan lisääntyminen aiheuttaa koulutettujen suhteellisen palkan kasvua. Tämä on seurausta osaamisen suhteen vinoutuneesta teknologisesta kehityksestä. Mekanismin taustalla on chamberlinilainen monopolistinen kilpailu, joka kytkee yrityksen tuotannon tuotannontekijähintoihin. Tämä poikkeaa Stolper-Samuelson-mekanismista, joka kytkee hyödykkeiden hinnat tuotannontekijähintoihin.

Glazer ja Ranjan (2003) päätyvät puolestaan kaupan vapautumisen palkkaeroja lisäävään vaikutukseen mallissa, jossa koulutettujen preferenssit ovat painottuneet koulutusintensiivisiin hyödykkeisiin.

2.1 Mallin kuvaus

Tutkimusongelman jäsentämisen ja analysoimisen lähtökohtana käytän Dinopolouksen ja Segerstromin (jäljempänä D&S) (1999b) teoreettista mallia, joka kytkee yhteen ulkomaankaupan kustannusten laskun ja maiden sisäisten koulutusryhmittäisten palkkaerojen kasvun. Mallissa tarkastellaan kahta rakenteellisesti symmetristä maata, joissa yritykset tekevät aktiivisesti tuotekehitystä. Näin ollen se kuvaa kehittyneiden teollisuusmaiden välisen kaupan integraatiota. Tämän luvun tarkastelussa kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden oletetaan olevan täysin joustavat ja niillä vallitsee täystyöllisyys. Luvussa 3 tarkastellaan tilannetta, jossa täystyöllisyysoletuksesta on luovuttu osittain.

Olen muuttanut D&S:n (1999b) mallia siltä osin, että lopputuotemarkkinoilla yritykset kilpailevat Bertrand-hintakilpailuasetelmassa Cournot-määräkilpailuasetelman sijasta. Muutos on tehty, jotta luvun 3 mallin kilpailuasetelma vastaisi tämän luvun kilpailuasetelmaa. Lisäksi käytetty toimialajako on diskreetti jatkuvan sijasta.

2.1.1 Kuluttajan käyttäytyminen ja kouluttautumispäätös

Taloudessa oletetaan olevan jatkumo kotitalouksia, joiden jäsenet tarjoavat työvoimaansa yrityssektorille palkkaa vastaan.[5] Kotitaloudet eroavat toisistaan kyvykkyystasoiltaan ja ne on indeksoitu kyvykkyysindeksin $\theta \in [0,1]$ mukaan. Kotitaloudet voidaan asettaa järjestykseen niiden jäsenten kyvykkyyden perusteella ja saman kotitalouden jäsenillä kyvykkyystason oletetaan olevan sama. Kuhunkin kotitalouteen siis liitetään indeksiluku väliltä $[0,1]$ siten, että pienin luku viittaa alhaisimman ja suurin korkeimman kyvykkyystason omaavaan kotitalouteen. Kyvykkyyden ja osaamisen välillä on tarkoituksenmukaista tehdä käsitteellinen ero. Jatkossa kyvykkyys viittaa kykyyn omaksua uutta tietoa ja käyttää sitä hyödyksi työpaikalla toteutuvassa tuotannossa ja osaaminen viittaa kertyvään tietotaitoon, joka saadaan koulutuksen kautta. Kyvykkyyden ajatellaan siis olevan synnynnäinen ominaisuus ja osaamisen olevan henkilölle kertynyttä henkistä pääomaa.

Kukin kotitalous mallinnetaan dynastisena perheenä (dynastic family). Dynastinen perhe maksimoi ”dynastian” eli omansa ja kaikkien tulevien sukupolvien yhteenlaskettua kokonaishyötyä. Näin ratkaisunsa tekevä kotitalous huomioi nykyhetken kulutuspäätöksessään sen vaikutuksen dynastian elinikäiseen varallisuuteen, joka muodostuu yhteenlasketuista palkkatuloista ja yritysten osakkeisiin sidotusta varallisuudesta. Dynastian elinikäinen varallisuus muodostaa dynastisen perheen yli ajan kulkevan budjettirajoitteen.

Dynastisen perheen koon oletetaan kasvavan eksogeenista vauhtia $n = \beta - \delta > 0$, jossa β on syntyvyysaste ja δ kuolinaste. Kunkin perheenjäsenen oletetaan elävän eksogeenisesti määräytyvän ajan $D > 0$. Kun hetkellä $t = 0$ väestön koko on N_0 henkilöä, niin hetkellä t sen koko on $N(t) = N_0 e^{nt}$ henkilöä. Lisäksi vakiopituisen eliniän seurauksena syntyvien henkilöiden määrän hetkellä t on oltava yhtä suuri kuin kuolleiden henkilöiden määrän het-

[5] Kotitalouksien mallintaminen jatkumona voidaan tulkita siten, että kotitalouksia on (ylinumeroituvasti) ääretön määrä, joka approksimoi todellisuudessa äärellistä määrää kotitalouksia.

kellä $t+D$ eli $\beta N_0 e^{nt} = \delta N_0 e^{n(t+D)}$. Edellä määritellyistä yhtälöistä saadaan ratkaistua β ja δ väestön kasvuvauhdin n ja elinajan D funktioina.[6]

Seuraavassa esitetään mallin kuluttajan päätöstä koskeva osa. Luvussa 2.1.1.1 johdetaan hyödykkeiden kysyntä ja kulutuksen muutos yli ajan. Tulokset saadaan dynastisen perheen dynaamisen optimointiongelman ratkaisusta. Luvussa 2.1.1.2 esitetään henkilöiden kouluttautumispäätöksen kannalta kriittinen kyvykkyystaso. Lopuksi luvussa 2.1.1.3 ratkaistaan kouluttamattoman ja koulutetun työvoiman tarjonnat.

2.1.1.1 Optimaalinen kulutusura

Dynastisen perheen optimointiongelmana on valita kullakin ajan hetkellä t sellainen kulutusmenojen $c_\theta(t)$ taso, joka maksimoi dynastian diskontatun elinikäisen hyödyn hetkestä t eteenpäin. Päätöksenteon rajoitteena on perheen yli ajan kulkeva budjettirajoite. Kyvykkyystason θ omaava perhe optimoi dynastian elinikäistä kokonaishyötyfunktiota

(2.1) $$\vartheta_\theta \equiv \int_0^\infty e^{ns} N_0 \, e^{-\rho s} \log \varphi_\theta(s) \, ds .$$

Integraalin sisällä oleva ensimmäinen termi $e^{ns} N_0$ on perheen koko hetkellä $t = s$ ja toinen termi $e^{-\rho s} \log \varphi_\theta(s)$ on hetkeen $t = 0$ diskontattu yksittäisen jäsenen logaritminen hyöty hetkellä $t = s$. Parametri ρ on subjektiivinen diskonttokorko, jota käytetään diskonttotekijänä muunnettaessa tulevaisuuden hyöty nykyhetkeen. Mitä suurempi ρ on, sitä vähemmän kuluttaja arvostaa myöhemmän ajankohdan kulutuksesta saatua hyötyä suhteessa aikaisemman ajankohdan kulutuksesta saatuun hyötyyn. Tästä syystä subjektiivisen diskonttokoron sanotaan kuvaavan kuluttajan kärsimättömyyttä. Yhtälön (2.1) integroitava lauseke muodostuu kotitalouden yksittäisen jäsenen hyödyn ja kotitalouden koon tulosta ja se kertoo kullakin hetkellä

---

6 Yhtälö $\beta N_0 e^{nt} = \delta N_0 e^{nt} e^{nD}$ saadaan jakamalla $N_0 e^{nt}$:llä muotoon $\beta = \delta e^{nD}$. Toisaalta $n = \beta - \delta$. Yhdistämällä edelliset yhtälöt saadaan $n = \delta\left(e^{nD} - 1\right) \Leftrightarrow \delta = n / \left(e^{nD} - 1\right)$ ja $\beta = n e^{nD} / \left(e^{nD} - 1\right)$.

$t = s$ kotitalouden saaman hetkellisen kokonaishyödyn diskontattuna hetkeen $t = 0$. Tämä hetkellinen hyötyfunktio integroidaan yli aikaperiodin $[0, \infty)$, jolloin saadaan hetkittäisten hyötyjen summa jatkuvassa ja äärettömässä päätöksentekohorisontissa[7].

Kotitalouden yksittäisen jäsenen hyötyfunktion oletetaan olevan muotoa[8]

(2.2) $$\varphi_\theta(t) \equiv \prod_{\omega=1}^{\Omega} \left[\sum_j \lambda^j q_\theta(j, \omega, t) \right]^{\frac{1}{\Omega}} \qquad \Leftrightarrow$$

$$\log \varphi_\theta(t) \equiv \frac{1}{\Omega} \sum_{\omega=1}^{\Omega} \log \sum_j \lambda^j q_\theta(j, \omega, t)$$

jossa $q_\theta(j, \omega, t)$ on toimialalla ω j-kertaa laatuparannetun tuotteen kulutettu määrä tuoteyksiköissä hetkellä t ja Ω on toimialojen määrä. Parametri θ indeksoi kulutetun määrän kyvykkyystason mukaan. Parametri $\lambda > 1$ kuvaa kunkin laatuparannuksen suuruutta. Sen *j*:nnes potenssi λ^j kuvaa *j*-kertaa parannetun tuotteen yhdestä yksiköstä saatavaa tuotepalveluiden (product services) määrää, kun tuotelinjan ensimmäisen tuotteen yhdestä yksiköstä saatava tuotepalveluiden määrä on yksi.

Lisäksi on oltava voimassa yhtälö

(2.3) $$c_\theta(t) \equiv \sum_\omega \sum_j p(j, \omega, t) q_\theta(j, \omega, t),$$

---

[7] Päätöksentekohorisontin äärettömyys on tulkittavissa siten, että dynastinen perhe ajattelee dynastian olevan ikuinen tai se ei tiedä milloin dynastia sammuu.

[8] D&S:n (1999b) artikkelissa käytetään jälkimmäisen yhtälön ensimmäisen summaoperaattorin sijasta integraalia. Toimialojen indeksointi on luontevaa tehdä diskreetisti ja tästä johtuen olen valinnut selkeyden vuoksi summaoperaattorin, jonka käyttö tässä yhteydessä ei muuta mallin analyysin tuloksia. Segerstromin ym. (1990) artikkelissa tätä hyötyfunktiomuotoa kutsutaan "täydellisten substituuttien Cobb-Douglas" ("Cobb-Douglas with perfect substitutes") hyötyfunktioksi. Kyseisessä artikkelissa tulotermien potenssit ovat yksi. Tässä painonan käytetään $1/\Omega$, jolloin potenssien summa on yksi.

jossa $p(j,\omega,t)$ on j-kertaa parannetun tuotteen hinta toimialalla ω hetkellä t. Yhtälön (2.3) mukaan kulutusmenon henkeä kohden $c_\theta(t)$:n on oltava yhtä suuri kuin kulutettujen lopputuotteiden yhteenlaskettu arvo henkeä kohden hetkellä t. Yhtälö voidaan tulkita kotitalouden yksittäisen jäsenen hetkelliseksi budjettirajoitteeksi, jossa kulutuksen hetkellinen arvo $c_\theta(t)$ määräytyy kotitalouden elinikäisen hyödyn maksimointiongelman ratkaisuna saatavasta optimaalisesta tulojen allokaatiosta yli ajan.

Dynastisen perheen kulutuspäätöksen ratkaisu voidaan jakaa kahteen osaan. Ensinnäkin kotitalouden jäsenet ottavat joka hetki annettuna sen hetkiseen kulutukseen käytettävissä olevan rahasumman $c_\theta(t)$, hyödykkeiden hinnat $p(j,\omega,t)$ ja kyseiseen hetkeen mennessä tehtyjen innovaatioiden määrän *j*. Näiden perusteella he maksimoivat yhtälössä (2.2) määritellyn hyötynsä rajoitteena yhtälö (2.3). Hyötyfunktiossa toimialojen sisällä eri laatutason tuotteet ovat toistensa täydellisiä substituutteja, kun tuotteen kulutusmäärän yksikkönä käytetään tuoteyksikköjen sijasta tuotepalveluiden määrää. Eri tuotantoalojen tuotteiden kulutuksen summilla on hyötyfunktiossa sama paino $1/\Omega$ ja niiden välinen substituutiojousto on yksi. Tästä seuraa, että kotitaloudet jakavat kulutusmenonsa tasaisesti kullekin tuotantoalalle ja ostavat ainoastaan kunkin tuotantoalan sen laatutason $\tilde{j}$ tuotetta, jonka hinta-laatu-suhde on alhaisin (ks. Grossman ja Helpman, 1991, s. 87-88). Jatkossa oletetaan, että mikäli kahden toimialalla tuotetun tuotteen hinta-laatu-suhteet ovat yhtä suuret, kuluttaja valitsee aina korkealaatuisemman tuotteen. Tällöin tuotelinjan ensimmäisen tuotteen hinnan ollessa yksi voi saman tuotantolinjan *j*-kertaa parannetun tuotteen hinta $p(j,\omega,t)$ olla enintään λ^j, jotta kuluttaja vielä valitsisi sen. Yksittäisen kotitalouden jäsenen hetkellisen kulutusmenon allokaatio-ongelman ratkaisuna saadaan kunkin tuotantoalan ω tuotteen yksikköjoustava staattinen kysyntäfunktio[9]

$$\text{(2.4)} \qquad q(j,\omega,t) = \begin{cases} \dfrac{c(t)}{p(j,\omega,t)\Omega} & \text{, kun } j = \tilde{j} \\ 0 & \text{, muulloin.} \end{cases}$$

[9] Ks. liite 1.

Dynastisen perheen kulutuspäätöksen ratkaisun toisessa vaiheessa on ratkaistava optimaalinen kulutusmenon $c_\theta(t)$ allokaatio eri hetkien välillä. Ongelmana on valita sellainen kulutuksen $c_\theta(t)$ taso jokaisella päätöshetkellä t, joka maksimoi yhtälön (2.1) rajoitteena yli ajan kulkeva budjettirajoite

(2.5) $$W_\theta(t) + Z_\theta(t) = \int_t^\infty e^{ns} N_0 e^{-[R(s)-R(t)]} c_\theta(s)\, ds\,.$$

Yhtälön (2.5) vasemmalla puolella on perheen elinikäinen tulokertymä hetkestä t eteenpäin, joka on palkkatulon $W(t)$ ja perheen omistuksessa olevien arvopapereiden arvon $Z(t)$ summa yli ajan hetkestä t eteenpäin, diskontattuna hetkeen t. Yhtälön oikea puoli on perheen kulutusmenojen diskontattu arvo hetkestä t eteenpäin, jossa integraalin sisällä olevat termit ovat perheen koko ja hetkeen t diskontattu kulutus hetkellä $t = s$. $R(t) \equiv \int_0^t r(s) ds$ on diskonttotekijänä käytettävä kumulatiivinen markkinakorko aikavälillä $[0, t]$.

Liitteessä 1 johdetaan formaalisti dynastisen perheen kulutuspäätöksen ratkaisu, joka saadaan maksimoimalla dynastisen perheen diskontattu hyöty rajoitteena yli ajan kulkeva budjettirajoite ja käyttämällä yhtälön (2.4) staattista kysyntäfunktiota. Ratkaisuksi saadaan dynastisen perheen elinikäisen kokonaishyödyn maksimoivan kulutusuran ominaisuus

(2.6) $$\frac{\dot{c}(t)}{c(t)} = r(t) - \rho\,.$$

Yhtälön (2.6) perusteella vakiokulutusura on optimaalinen ratkaisu silloin, kun markkinakorko $r(t)$ on yhtä suuri kuin subjektiivinen diskonttokorko ρ. Mikäli markkinakorko $r(t)$ on suurempi kuin kuluttajan subjektiivinen diskonttokorko ρ, kasvaa kulutus hetkellä t, koska kuluttaja saa säästämällä päätöshetkenä ja kuluttamalla vasta tulevaisuudessa parhaimman hyödyn. Subjektiivista diskonttokorkoa matalampi markkinakorko saa kuluttajan ottamaan lainaa nykyhetkenä ja kuluttamaan vähemmän tulevaisuudessa.

2.1.1.2 Kouluttautumispäätös tasapainouralla

D&S:n (1999b) mallin kouluttautumispäätös perustuu Ronald Findlayn ja Henryk Kierzkowskin (1987) sekä Ian Borsookin (1987) artikkeleihin. Kukin kotitalouden jäsen tuntee oman kyvykkyystasonsa θ ja yrityksillä oletetaan olevan vapaasti saatavilla tieto kunkin työntekijäksi hakevan henkilön kyvykkyystasosta ja koulutuksesta. Henkilöt voivat vapaasti valita kouluttautuvatko he vaiko eivät. Riippumatta omasta kyvykkyystasosta kukin henkilö voi tehdä työtä, johon ei tarvitse koulutusta, ja ansaita palkkaa w_L koko elinikänsä D ajan. Kouluttautumattomana ansaittu palkka on siis riippumaton kyvykkyystasosta.

Toisena vaihtoehtona on kouluttautua jaksolla, jonka pituus on $T < D$, ja jonka aikana henkilö ei ansaitse palkkaa. Koulutettu henkilö kyvykkyystasolla θ ansaitsee ajalla $D - T > 0$ palkan w_H tehokasta työyksikköä kohden. Koulutetun työvoiman tehokkuuden mittana käytetään termiä $(\theta - \gamma)$, joka on kyvykkyysindeksi θ normeerattuna parametrilla γ. Koulutetun henkilön kyvykkyystasolla θ saama palkka aikayksikköä kohden on tällöin $(\theta - \gamma)w_H$. Parametri γ kertoo sen kyvykkyystason, jolla koulutettu henkilö ei ansaitse palkkaa ollenkaan eli hänen tuottavuutensa koulutuksen läpikäymisestä huolimatta on koulutusta vaativissa tehtävissä nolla. Henkilön tuottavuuden koulutettuna voidaan siis ajatella alkavan vasta silloin kun kyvykkyystaso on suurempi kuin γ. Tämä voidaan tulkita siten, että työvoimasta osuus γ on aina kouluttamattomana riippumatta siitä, kuinka pitkän ajan koulutus kestää ja kuinka suuri suhteellinen palkka w_H / w_L on, koska kyseinen osuus työvoimasta ei kykene omaksumaan koulutusta vaativiin tehtäviin tarvittavaa tieto-taitoa. Parametrin γ asettaminen nollaksi ei muuta mallin tuloksia, mutta se on käyttökelpoinen mallin simuloinnin yhteydessä.[10]

Tällainen mallinnustapa pitää sisällään implisiittisen oletuksen siitä, että koulutuksen myötä henkilö saa tietyt määrän tieto-taitoa suorittaakseen tehtäviä, joihin vaaditaan koulutus. Kyvykkyystaso vaikuttaa kouluttautuneen henkilön työn rajatuottavuuteen ja se on siis tulkittavissa kyvyksi käyttää hyödykseen opittuja taitoja työtehtävissä. Kyvykkyystaso ei kuitenkaan vaikuta koulutukseen kuluvan ajan pituuteen T, joka on mallin eksogeeninen muuttuja.

---

[10] Parametrin γ valinnalla voidaan vaikuttaa koulutettujen osuuteen ja asettaa se mallia simuloitaessa halutulle tasolle.

Kouluttautumispäätös tehdään dynastisen perheen elinikäisen diskontatun tulon maksimoimiseksi. Tämä on yhtäpitävää yksittäisen perheen jäsenen elinikäisen tulon maksimoimisen kanssa, sillä kullakin perheen jäsenellä on sama kyvykkyystaso. Henkilö kouluttautuu, jos hänen diskontattu elinikäinen tulonsa on kouluttautuneena suurempi kuin kouluttautumattomana eli jos ja vain jos

$$\int_{t}^{t+D} e^{-\rho(s-t)} w_L(s)\,ds < \int_{t+T}^{t+D} e^{-\rho(s-t)} (\theta-\gamma)\; w_H(s)\,ds\,. \tag{2.7}$$

Epäyhtälön (2.7) vasemman puoleinen lauseke on diskontattu elinikäinen tulo hetkellä t syntyneelle henkilölle, jos hän päättää olla kouluttautumatta. Epäyhtälön oikean puoleinen lauseke on vastaavasti hänen elinikäinen tulonsa, jos hän päättää kouluttautua. Kouluttautuneen henkilön elinikäistä palkkaa laskettaessa on otettava huomioon koulutukseen käytettävä T:n pituinen ajanjakso, jolloin henkilö ei ansaitse palkkatuloja. Tällöin hetkellä t syntynyt henkilö on käynyt koulutuksen hetkeen $t+T$ mennessä, jolloin hän alkaa ansaita kyvykkyytensä mukaista koulutetun henkilön palkkaa. Henkilön, jolle epäyhtälö (2.7) on kääntäen voimassa, ei kannata kouluttautua. Kun epäyhtälö (2.7) asetetaan yhtä suureksi, määrittää saatu yhtälö implisiittisesti kyvykkyystason θ_0, jolla henkilö on indifferentti kouluttautumisen suhteen. Tämä kyvykkyystaso voidaan ratkaista tasapainouralla, jolla palkat w_L ja w_H sekä kulutus c_θ ovat vakioita ajan suhteen. Kun kulutus c_θ on vakio niin $r(t)=\rho$ jokaisena hetkenä t yhtälön (2.6) perusteella. Liitteessä 2 johdetaan tasapainouran kriittisen kyvykkyystason θ_0 lauseke

$$\theta_0 = \left(\frac{1-e^{-\rho D}}{e^{-\rho T}-e^{-\rho D}}\right)\frac{w_L}{w_H}+\gamma = \sigma\frac{w_L}{w_H}+\gamma\,, \tag{2.8}$$

jossa σ riippuu ainoastaan mallin eksogeenisista muuttujista ja ainoa θ_0:aan vaikuttava endogeeninen muuttuja on suhteellinen palkka w_H/w_L. Koska tasapainouralla $\sigma>1$ ja $(\theta_0-\gamma)<1$, yhtälöstä (2.8) seuraa, että $(\theta_0-\gamma)w_H > w_L$. Koulutetun henkilön tehokkuusyksikköä kohden saama palkka on siis tasapainouralla korkeampi kuin kouluttamattoman henkilön palkka. Kriittinen kyvykkyystaso θ_0 pienenee koulutettujen työntekijöiden suhteellisen palkan noustessa, sillä $\partial\theta_0 / \partial(w_H / w_L) = -\sigma(w_H / w_L)^{-2} < 0$. Tämä johtuu siitä, että koulutettujen työntekijöiden suhteellisen palkan nousu lisää niiden henkilöiden osuutta taloudessa, joille kouluttautuminen on kannattavaa. Lisäksi yhtälö (2.8) vahvistaa edellä esitetyn intuitiivisen tulkinnan parametrille γ, jonka valinta vaikuttaa suoraan kriittiseen kyvykkyystasoon.

2.1.1.3 Koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman tarjonta

Kuluttajan päätöstä koskevan osion päätteeksi johdetaan koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman tarjonta, joka kytkeytyy kuluttajan kouluttautumispäätökseen. Kotitaloudet jakautuvat kyvykkyystason perusteella tasaisesti välille $[0,1]$. Tällöin kriittinen kyvykkyystaso θ_0 kertoo niiden kotitalouksien suhteellisen osuuden kaikista kotitalouksista, joilla $\theta \leq \theta_0$. Nämä kotitaloudet ovat niitä, joiden jäsenten ei kannata kouluttautua. Koska kotitalouksien oletetaan olevan henkilömääriltään yhtä suuria, on kriittinen kyvykkyystaso θ_0 samalla myös kouluttautumattomien henkilöiden suhteellinen osuus koko väestöstä. Tästä seuraa suoraan kouluttautumattoman työvoiman tarjonta

(2.9) $$L(t) = \theta_0 N(t).$$

Kouluttautuneen työvoiman tarjonnan johtaminen ei onnistu yhtä suoraviivaisesti, sillä sen yhteydessä on otettava huomioon koulutukseen kuluva aika *T*. Osuus $(1-\theta_0)$ kertoo koulutetun työvoiman ja koulutuksessa olevien henkilöiden suhteellisen määrän (kaikki henkilöt kyvykkyystasolla $\theta_0 < \theta$). Tässä väestönosassa ovat koulutettua työvoimaa hetkellä *t* ne henkilöt, jotka ovat syntyneet aikavälillä $[t-D, t-T]$ ja heidän määränsä on

(2.10) $$\int_{t-D}^{t-T} \beta(1-\theta_0)N(s)ds = (1-\theta_0)\left(\frac{e^{n(D-T)}-1}{e^{nD}-1}\right) N(t) = (1-\theta_0)\phi\ N(t),$$

joka vastaa koulutetun työvoiman tarjontaa henkilömäärissä. Edellinen tulos johdetaan liitteessä 3. Kotitalouksien yhtä suuresta koosta ja niiden (tasaisesta) jatkumosta seuraa, että koko talouden tasolla myös kyvykkyys on jakautunut tasaisesti välille [0,1]. Tällöin koulutuksen saaneiden henkilöiden keskimääräinen kyvykkyystaso on kouluttautuneiden alhaisimman ja korkeimman tehokkuustason aritmeettinen keskiarvo $((\theta_0 - \gamma) + (1-\gamma))/2$, jolloin kouluttautuneen työvoiman tarjonta tehokkuusyksiköissä mitattuna on

$$H(t) = \left(\frac{\theta_0 + 1 - 2\gamma}{2}\right)(1-\theta_0)\phi N(t). \tag{2.11}$$

Kuten aiemmin todettiin, kouluttautuneen työvoiman suhteellisen palkan w_H / w_L nousu pienentää kriittistä kyvykkyystasoa θ_0. Tästä ja yhtälöistä (2.9) ja (2.11) seuraa, että kouluttautuneen työvoiman suhteellisen palkan w_H / w_L nousu vähentää θ_0:n laskun kautta kouluttamattoman työvoiman tarjontaa ja lisää kouluttautuneen työvoiman tarjontaa, jolloin kouluttautuneen työvoiman suhteellinen runsaus $H(t)/L(t)$ kasvaa. Lisäksi koska θ_0 on tasapainouralla vakio ajan suhteen, kunkin maan tuotannontekijöiden tarjonta kasvaa tasapainouralla samaa vauhtia kuin väestö:

$$\frac{\dot{H}(t)}{H(t)} = \frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = \frac{\dot{N}(t)}{N(t)} = n.$$

Yhteenveto luvussa 2.1.1 saaduista kuluttajan valintaan liittyvistä tuloksista on seuraava. Luvussa 2.1.1.1 johdettiin kulutuksen optimaalinen ura (yhtälö (2.6)) dynastisen perheen hyödynmaksimointiongelmasta. Sen mukaan kulutus kasvaa markkinakoron ja kuluttajan subjektiivisen diskonttokoron erotuksen suuruista vauhtia. Vakiokulutusuralla $r(t) = \rho$. Luvussa 2.1.1.2 johdettiin kouluttautumispäätöksen kriittinen kyvykkyystaso (yhtälö (2.8)), joka on kasvava kouluttautuneen työvoiman suhteellisen palkan suhteen. Luvussa 2.1.1.3 johdettiin koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman tarjonnat (yhtälöt (2.9) ja (2.11)), joista ensimmäinen on kasvava ja jälkimmäinen laskeva kouluttautuneen työvoiman suhteellisen palkan suhteen.

2.1.2 Yritysten voiton maksimointi ja tuotekehityskilvat

Seuraavassa tarkastellaan yrityksen lopputuotteiden ja tuotekehityspalveluiden tuotantopäätöstä. Molemmissa maissa oletetaan olevan suuri määrä toimialoja indeksoituna indeksillä $\omega \in \{1,...,\Omega\}$. Kutsuttakoon näitä kahta maata jatkossa "Kotimaaksi" ja "Ulkomaaksi". Yritykset tuottavat lopputuotteita, joiden laatu riippuu niihin kohdistuneiden laatua parantavien innovaatioiden määrästä *j*. Kukin onnistunut innovaatio parantaa tuotteen laadun λ-kertaiseksi.[11] Mallissa tuotteiden laatuparannus on vertikaalista eli kullakin tuotantoalalla kehittyy samasta tuotteesta yhä laadukkaampia versioita. Tuotantoalojen määrä ei lisäänny eli mallissa ei tapahdu horisontaalista innovaatiota. Yritykset kilpailevat kunkin tuotantoalan sisällä tuotekehityskilvoissa uuden laadukkaamman tuotteen keksimisestä. Tuotekehityskilvan voittaja on uuden laadukkaamman tuotteen ensimmäisenä keksivä yritys, joka saa haltuunsa patentin. Patentti on voimassa kunnes kilpaileva yritys keksii uuden laadukkaamman tuotteen ja siirtyy toimialan laatujohtajaksi. Laatujohtaja ansaitsee monopolivoittoja, sillä se tuottaa samoilla tuotantokustannuksilla kuin kilpailijat korkealaatuisempaa tuotetta. Ulkomaille vietävistä tuotteista peritään arvonperusteinen tullimaksu.

Yritykset rahoittavat tuotekehitysinvestointinsa laskemalla liikkeelle osakkeita kansainvälisillä arvopaperimarkkinoilla. Osakkeiden tuottona maksetaan monopolivoittoa, jota yritys ansaitsee laatujohtajana. Tuotekehityskilvassa menestymättömän yrityksen osakkeelle jaettava tuotto on nolla.

Yritykset käyttävät lopputuotteiden tuotannossa panoksina sekä kouluttautumatonta että kouluttautunutta työvoimaa. Yrityksillä on lopputuotteiden tuotannossa vakioiset skaalatuotot.

---

[11] Innovaatio voidaan vaihtoehtoisesti mallintaa tuotantoprosessin parantumisena, jolloin tuotantoprosessi kehittyy astetta tehokkaammaksi innovaation myötä. Tällöin innovaation tehneellä yrityksellä on muita yrityksiä alhaisemmat tuotantokustannukset laadultaan saman hyödykkeen tuotannossa. Tämän mallin kehikossa laadun ja prosessin parantaminen ovat käänteisiä. Tuotantoprosessia parantanut yritys voi vallata markkinat alihinnoittelemalla kilpailijansa ulos markkinoilta Bertrand-hintakilpailuasetelmassa. (Ks. Grossman ja Helpman, 1991, alaviite sivulla 87.)

Tuotantoprosessin ei oleteta kehittyvän, jolloin tuotantofunktio ei muutu ajan kuluessa. Lisäksi kaikilla tuotantoaloilla ja laatutasoilla tuotantofunktion oletetaan olevan sama. Vakioisten skaalatuottojen tuotantofunktion tilanteessa yksikkökustannusfunktio on vakio tuotannon tason suhteen. Kustannusfunktio voidaan tällöin esittää muodossa

$$(2.12) \qquad A(w_L, w_H)Q_i,$$

jossa $A(w_L, w_H)$ on tuotannon tasosta riippumaton yksikkökustannusfunktio argumentteinaan panoshinnat ja Q_i on yrityksen i tuotannon määrä. Funktio $A(w_L, w_H)$ on panoshintojen suhteen kasvava ja konkaavi funktio. Yksikkökustannusfunktio $A(w_L, w_H)$ kertoo optimaalisella panoskombinaatiolla toteutettavan tuotannon rajakustannuksen annetuilla tuotannontekijähinnoilla. Se on sama kaikilla tuotannon tasoilla ja toimialoilla ja se asetetaan yhdeksi[12] (numeraire*)*:

$$(2.13) \qquad A(w_L, w_H) = 1.$$

2.1.2.1 Ulkomaankauppa, lopputuotemarkkinoiden tasapaino ja laatujohtajan voitot

Tarkastellaan nyt tilannetta, jossa molempien maiden hallitukset asettavat τ suuruisen arvonlisäluonteisen tuontitullin kaikille hyödykkeille. Tämä tuontitulli on ainoa käytettävissä oleva ulkomaankauppapoliittinen instrumentti ja tullimaksusta saatavat voitot jaetaan maan kansalaisille tasaisesti könttäsummana. Yritykset ottavat tullimaksun annettuna maksimoidessaan voittojaan. Yritykset eivät siis odota tuotannon määrän ja hintojen vaikuttavan tullimaksun tasoon. Kahden maan muodostamassa taloudessa on kullakin toimialalla yksi laatujohtaja jokaisella hetkellä, joko Kotimaassa tai Ulkomaassa.

---

12 Kaikki mallin muuttujien arvot jaetaan kullakin hetkellä t rajakustannuksella $A(w_L(t), w_H(t))$. Rajakustannuksen arvo hetkellä t voidaan tulkita vakioksi. Tämä vakiolla jakaminen on lineaarinen muunnosta, eikä vaikuta analyysin tuloksiin.

D&S:n (1999b) mallissa lopputuotemarkkinoilla yritysten välillä vallitsee Cournot-määräkilpailu, jossa laatujohtaja ei aja laatuseuraajaa kokonaan ulos markkinoilta. Cournot-kilpailun käyttäminen on perusteltua siitä syystä, että todellisuudessa monella toimialalla ei ole ainoastaan yhtä yritystä (laatujohtajaa), vaan myös laatuseuraajia, jotka tuottavat matalalaatuisempia tuotteita. Jatkossa tarkastellaan kuitenkin Bertrand-kilpailuasetelmaa, sillä se on yhtäpitävä luvun 3 kitkatyöttömyysmallin tarkastelun kanssa. Kun kuluttajien hetkellinen kysyntä noudattaa yhtälön (2.4) staattista kysyntäfunktiota, on Bertrand-hintakilpailussa johtavalle yritykselle kannattavinta ajaa kilpailijansa kokonaan ulos markkinoilta rajahinnoittelemalla tuotteensa. Tällöin johtava yritys on toimialan ainoa lopputuotteiden tuottaja. Kilpailuasetelman muuttaminen Bertrand-hintakilpailuksi yksinkertaistaa D&S:n (1999b) mallin analyyttistä rakennetta, mutta ei vaikuta mallin keskeisiin tuloksiin.

Laatujohtajan kokonaisvoitto voidaan jakaa voittoon Ulkomaan ja Kotimaan markkinoilla. Kokonaisvoitto on näillä osamarkkinoilla saatujen voittojen summa. Laatuseuraajat tuottavat Ulkomaassa ja Kotimaassa täydellisesti kilpailevilla markkinoilla ja asettavat hintansa rajakustannusten suuruiseksi eli yhdeksi. Laatujohtajan tuote on laatuseuraajien tuotetta λ-kertaa laadukkaampi, jolloin laatujohtajan asettaessa Kotimaan markkinoilla hinnaksi $p_l = \lambda$, sen laatusopeutettu hinta p_l/λ on laatuseuraajien hinnan suuruinen eli yksi. Kun kuluttaja valitsee tässä tapauksessa aina laatujohtajan korkealaatuisemman tuotteen, seuraajayritykset joutuvat ulos markkinoilta. Laatujohtajan tuotteen kysyntä on tällöin markkinoiden kokonaiskysynnän suuruinen. Kun Kotimaan kulutus henkilöä kohden on $c(t)$, kokonaiskulutus hetkellä t on $c(t)N(t)$, jolloin laatujohtajan tuotteen kokonaiskysyntä Kotimaan markkinoilla on yhtälön (2.4) mukaan $c(t)N(t)/(\lambda\Omega)$. Laatujohtajan voitoksi saadaan voittomarginaalin ja kokonaiskysynnän tulo

$$\pi_l(t) = (\lambda - 1)\frac{c(t)N(t)}{\lambda\Omega},$$

jossa $(\lambda - 1)$ on rajatuoton ja rajakustannuksen erotuksen muodostama voittomarginaali.

Maiden symmetrisyydestä johtuen niiden kokonaiskulutusten arvot ovat yhtä suuret kullakin hetkellä. Ulkomaan markkinoilla kotimaisen yrityksen voitto poikkeaa Kotimaan markkinoista siltä osin, että sen on maksettava viemistään hyödykkeistä arvonlisätullimaksu τ. Koska ulkomaiset laatuseuraajat asettavat kotimaisten laatuseuraajien tavoin tuotteensa hinnan yhdeksi, voi laatujohtaja periä ulkomaisilta kuluttajilta enimmillään λ:n suuruisen hinnan. Tästä hinnasta laatujohtaja joutuu maksamaan tullimaksun τ, jolloin sille tullimaksun jälkeen jäävä tulo tuotetta kohden on $\lambda/(1+\tau)$. Laatujohtajan voittomarginaali Ulkomaan markkinoilla on siis $(\lambda/(1+\tau)-1)$. Laatujohtajan tuotteen kokonaiskysyntä saadaan samoin kuten Kotimaan tapauksessa ja se on $c(t)N(t)/(\lambda\Omega)$. Laatujohtajan voitto Ulkomaan markkinoilla on tällöin

$$\pi_l^*(t)=\left[\frac{\lambda}{1+\tau}-1\right]\frac{c(t)N(t)}{\lambda\Omega}.$$

Kun tullimaksulle on voimassa $0\leq\tau<\lambda-1$ ovat laatujohtajan voitot positiiviset Ulkomaan markkinoilla. Kyseisessä välissä oleva tullimaksu ei vie laatujohtajalta koko voittomarginaalia eli se ei estä tuontia. Jatkossa oletetaan, että tullimaksu on kyseisellä välillä. Laatujohtajan kokonaiskysyntä Ulkomaan markkinoilla ei riipu tullimaksun tasosta ja siten myöskään Ulkomaan myyntiin tarvittavan tuotannon vaatima työvoiman määrä Kotimaassa ei riipu tullista. Tällaista tullimaksua kutsutaan voittoja pienentäväksi tullimaksuksi (rent-extracting tariff). Sen vaikutuksesta Kotimaan työllisyys ei muutu ja ainoastaan laatujohtajan voittoja siirtyy vieraan maan julkiselle sektorille. Jatkon kannalta on syytä huomioida, että tullimaksun lasku lisää laatujohtajan voittoja ja parantaa samalla tuotekehitykseen tehtyjen investointien kannattavuutta (sillä tuotekehityksen avulla saavutetaan laatujohtajuus ja mahdollisuus ansaita kyseisiä voittoja).

Yhteenvetona edellisestä analyysistä saadaan laatujohtajan kansainvälisillä markkinoilla ansaitsema kokonaisvoittovirta π_l^G, joka on osamarkkinoiden voittojen summa

$$\pi_l^G = \pi_l + \pi_l^* = \frac{c(t)N(t)}{\lambda\Omega}K(\tau), \tag{2.14}$$

jossa $K(\tau) = (\lambda - 1) + [(\lambda - 1 - \tau)/(1 + \tau)]$ on Kotimaan ja Ulkomaan markkinoiden voittomarginaalien summa. $K(\tau)$ on laskeva tullimaksun τ suhteen, jonka seurauksena π_l^G kasvaa tullimaksun laskiessa.

2.1.2.2 Tuotekehityskilvat

Tässä luvussa tarkastellaan tuotekehityskilpoja, joissa yritykset kilpailevat laatujohtajan monopoliasemasta pyrkimällä kehittämään uusia korkealaatuisempia tuotteita. Tuotekehitystä tekevät yritykset tuottavat tuotekehityspalveluita käyttämällä panoksina koulutettua ja kouluttamatonta työvoimaa. Tuotettujen tuotekehityspalveluiden voidaan ajatella olevan välipanoksia innovaatioiden tuotannossa. Tuotekehityspalvelutuotannon taso vaikuttaa yrityksen todennäköisyyteen tehdä innovaatio. Tuotekehitysprosessin spesifioidaan siten, että k :n innovaation syntymiseen kuluva aika noudattaa stokastista Poisson-prosessia, jonka intensiteetin määrittää yrityksen tuottamien tuotekehityspalveluiden määrä. Tällöin yhden innovaation syntymiseen kuluva aika η noudattaa eksponenttijakaumaa ja sen tiheysfunktio on muotoa $P_1(\eta) = \zeta e^{-\zeta\eta}$, jossa ζ on eksponenttijakauman parametri.[13]

Tuotekehityskilpoihin on vapaa pääsy ja kaikilla tuotekehityskilpoihin osallistuvilla yrityksillä on sama tuotekehitysteknologia eli jokainen yritys tekee samalla panoskombinaatiolla yhtä tehokasta tuotekehitystä ja keksii yhtä suurella todennäköisyydellä uuden tuotteen. Mitä suuremman määrän tuotekehityspalveluita yritys tuottaa hetkellä t, sitä todennäköisemmin se

---

[13] Vastaavasti k :n innovaation syntymiseen kuluva aika noudattaa tiheysfunktiota

$$P_k(\eta) = \frac{e^{-\zeta\eta}(\zeta\eta)^k}{k!},$$

joka on Poisson-jakauma parametrilla ζ . Mallin analyyttisen käsittelyn kannalta ollaan kuitenkin kiinnostuneita vain tilanteesta, jossa $k = 1$, sillä innovaation syntyessä tuotekehityskilpa alkaa aina alusta. Toisaalta $k = j$ innovaation syntymiseen kuluvan ajan jakauman määritteleminen on kiinnostavaa, sillä se kertoo todennäköisyyden sille, että tuote on *j*:nnellä laatuportaalla hetkestä $t = 0$ laskien.

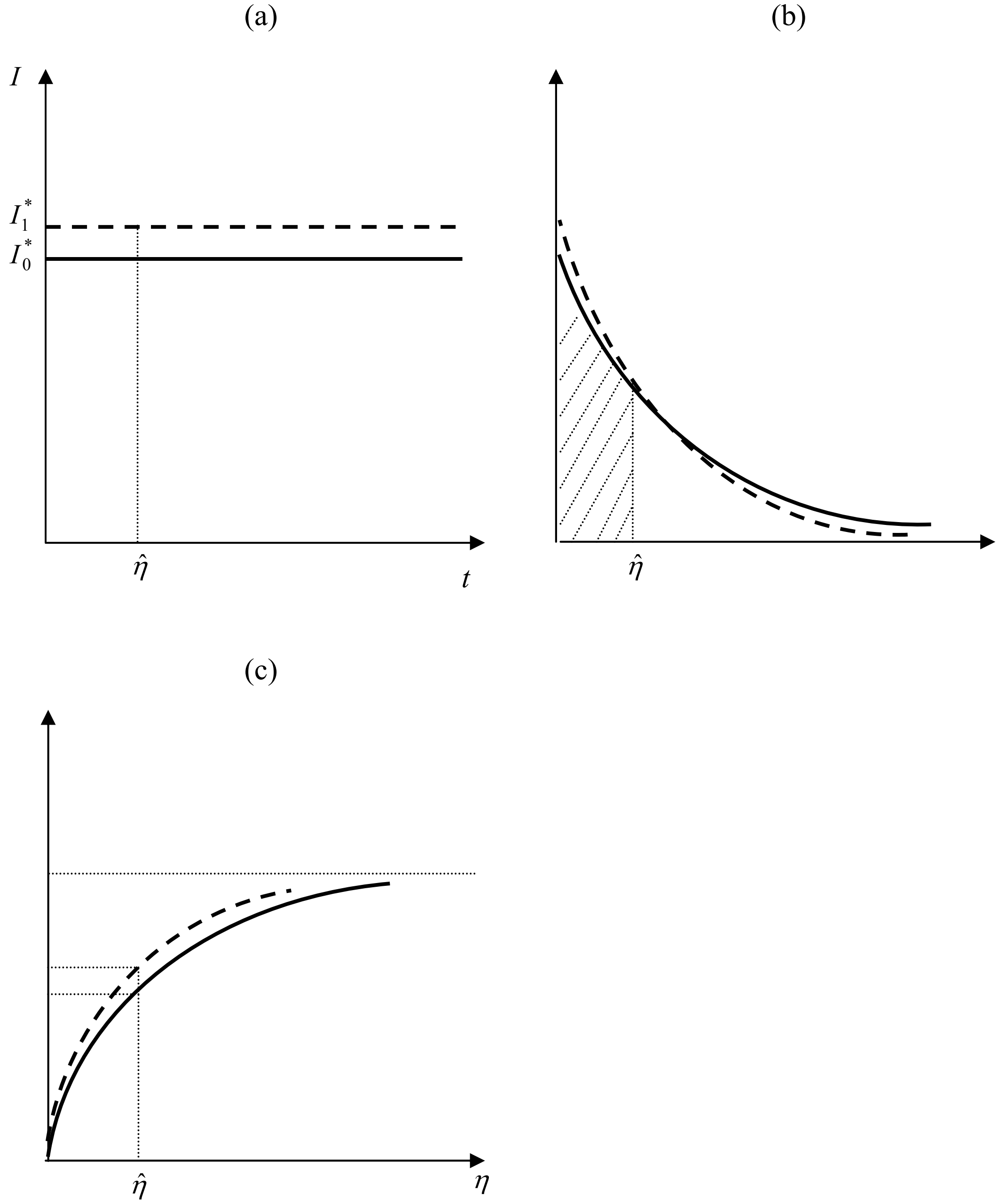
keksii uuden laadukkaamman tuotteen. Tuotettavien tuotekehityspalveluiden määrän $I_i(\omega, t)$ oletetaan olevan lineaarinen uuden tuotteen keksimisen hetkellisen todennäköisyyden suhteen ja sen yksikkö vallitaan siten, että se vastaa kyseistä todennäköisyyttä. Tuotettavien tuotekehityspalveluiden. Kuviot 2.1a-c havainnollistavat tuotekehityspalveluiden tuotetun määrän ja innovaation tekemiseen kuluvan ajan yhteyttä. Yrityksen lisätessä tuottamiensa tuotekehityspalveluiden määrä (tuotekehitysintensiteettiä) I_0:sta I_1:teen hetkellinen todennäköisyys tehdä innovaatio kasvaa (Kuvio 2.1a). Samalla innovaation keksimiseen kuluvaa aikaa kuvaavan satunnaismuuttujan η_i eksponentiaalisen tiheysfunktion kuvaaja jyrkkenee ja todennäköisyys innovaation syntymiselle hetkellä $\hat{\eta}_i$ kasvaa todennäköisyysmassan siirtyessä vasemmalle (Kuvio 2.1b). Tuotekehitysintensiteetin kasvu näkyy satunnaismuuttujan η_i kertymäfunktion jyrkkenemisenä, jolloin ajassa $\hat{\eta}_i$ tehdään innovaatio todennäköisemmin kuin ennen tuotekehitysintensiteetin nostoa (Kuvio 2.1c).

Yrityksen i tuotekehityspalvelutuotannon kustannusvirtafunktio hetkellä t oletetaan olevan

(2.15) $$[B(w_L, w_H)X(\omega, t)]I_i(\omega, t),$$

jossa $B(w_L, w_H)$ on tuotekehityspalveluiden vakioisten skaalatuottojen tuotantofunktiosta johdettu yksikkökustannusfunktio ja $X(\omega, t)$ on funktio, joka kuvaa tuotekehityksen vaikeutumista ajan suhteen. Tuotekehityspalveluiden tuotannossa pätee vakioiset skaalatuotot, jolloin rajakustannus $B(w_L, w_H)\ X(\omega, t)$ ei riipu tuotannon tasosta. Tuotekehityksen oletetaan vaikeutuvan ajan myötä, eli funktio $X(\omega, t)$ kasvaa ajan t suhteen. Tällöin myös tuotekehityspalvelutuotannon rajakustannus $B(w_L, w_H)X(\omega, t)$ on kasvava funktio ajan t suhteen.

D&S:n (1999b) artikkelin oletus tuotekehityksen vaikeutumisesta ajan kuluessa poistaa mallista tuotekehityksen kasvavat skaalatuotot, jonka seurauksena talous kasvaisi räjähtäen. He määrittelevät funktion $X(t)$ kahdella vaihtoehtoisella tavalla. Ensimmäisessä tuotekehityksen vaikeuden oletetaan lisääntyvän markkinoiden koon kasvun myötä. Tämä johtuu siitä, että mitä



Kuvio 2.1.a-c. Tuotekehitysintensiteetin yhteys innovaatioon kuluvaan aikaan η. (a) Tuotekehitysintensiteetti hetkellä t. (b) Tiheysfunktio satunnaismuuttujalle η. (c) Kertymäfunktio satunnaismuuttujalle η.

enemmän markkinoilla on kuluttajia sitä kalliimpaa on uuden tuotteen lanseeraaminen. Tällä periaatteella muodostettu nk. PEG-malli[14] on muotoa

[14] PEG viittaa englannin kielen sanoihin “permanent effects on growth”.

(2.16) $$X(t)=kN(t),$$

jossa $k>0$ on vakio. Yhtälön (2.16) mukaan $X(t)$ ja $N(t)$ kasvavat samaa vauhtia ja tuote-.kehityksen vaikeus henkeä kohden on vakio $x=k$. Toinen tuotekehityksen vaikeutumisen määritelmä perustuu siihen, että helpoimmin tehtävät keksinnöt keksitään ensimmäisenä. Tämän seurauksena seuraavaksi tehtävät keksinnöt vievät aina enemmän resursseja. Tuotekehityksen vaikeutuminen on siis historian aikana tehtyjen tuotekehitysinvestointien funktio. Tällä periaatteella muodostettu nk. TEG-malli[15] on muotoa

(2.17) $$\frac{\dot{X}}{X}=\mu\left(I(t)+I^*(t)\right).$$

Mallin tasapainon olemassaolon kannalta funktion $X(t)$ kasvu ajansuhteen on välttämätöntä.

Yrityksen *i* uuden tuotteen keksimisen hetkellisen todennäköisyyden[16] $I_i(\omega,t)$ oletetaan olevan riippumaton muista toimialan yrityksistä, muista toimialoista ja ajasta. Riippumattomuudesta seuraa, että toimialan ω hetkellinen uuden tuotteen keksimisen todennäköisyys Kotimaassa on toimialan yritysten hetkellisten todennäköisyyksien summa $I(\omega,t)=\sum_i I_i(\omega,t)$ ja vastaavasti Ulkomaan samalle toimialalle $I^*(\omega,t)=\sum_i I_i^*(\omega,t)$. Kansainvälisellä tasolla innovaatioiden syntyminen kullakin toimialalla noudattaa Poisson-prosessia, jonka intensiteetti vastaa toimialan kansainvälistä tuotekehityspalvelutuotannon määrää

---

15 TEG viittaa englannin kielen sanoihin "temporary effects on growth".

16 $I_i(\omega,t)$ on Dinopolouksessa ja Segerstromissa (1999a) muotoa

$$I_i(\omega,t)=\frac{Al_i(\omega,t)^{\alpha}\,h_i(\omega,t)^{1-\alpha}}{X(\omega,t)},$$

jossa $h_i(\omega,t)$ ja $l_i(\omega,t)$ ovat yrityksen *i* tuotekehitystyöhön palkkaama koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman määrä, $A>0$ ja $\alpha>0$ ovat eksogeenisia teknologiaparametrejä ja $X(\omega,t)$ on tuotekehityksen vaikeutumista ajan myötä kuvaava funktio, jonka kukin yritys ottaa annettuna.

$I(\omega,t)+I^{*}(\omega,t)$. Tuotekehitysinvestointien taso vastaa näin ollen globaalia teknologisen kehityksen astetta toimialalla.

Koska innovaatioiden synty noudattaa yritystasolla stokastista Poisson-prosessia, noudattaa toimialatasolla innovaatioiden välistä aikaa kuvaava satunnaismuuttuja eksponenttijakaumaa parametrilla $I+I^{*}$. Maiden symmetrisyydestä seuraa, että $I+I^{*}=2I$. Innovaatioiden välinen aika on toisaalta se aika, jona laatujohtajaksi päässyt yritys ansaitsee monopolivoittoja. Innovaation tehneen yrityksen odotettu voitto on tällöin

(2.18a) $$\Pi(t)=\int_{0}^{\infty}2Ie^{-2I\eta}\left(\int_{0}^{\eta}e^{-\rho s}e^{ns}\pi_{l}^{G}(t)ds\right)d\eta .$$

Yhtälössä (2.18a) sisimmäinen integraalilauseke on laatujohtajan diskontattu kumulatiivinen voitto laatujohtajuuden keston η aikana. Tekijä $e^{-\rho s}$ diskonttaa voitot laatujohtajuuden alkamishetkeen[17] ja tekijä e^{ns} huomioi voittojen kasvun eksogeenisen väestön kasvun seurauksena. Kyseinen lauseke integroituu muotoon $\left(1-e^{-(\rho-n)\eta}\right)\left(\pi_{l}^{G}(t)/(\rho-n)\right)$, jossa ainoa satunnainen muuttuja on η.[18] Yhtälön (2.18a) ulompi integraalilauseke on laatujohtajan diskontatun kumulatiivisen voiton odotusarvo, kun innovaation tehnyt yritys aloittaa laadukkaamman tuotteen lopputuotannon välittömästi tuotekehityksen onnistuessa. Termi $2Ie^{-2I\eta}$ on eksponenttijakauman tiheysfunktio parametrilla $2I$. Saattamalla yhtälön (2.18a) integrointi loppuun, saadaan laatujohtajan odotettu diskontattu voitto muotoon[19]

(2.18b) $$\Pi(t)=\frac{\pi_{l}^{G}(t)}{2I+\rho-n}.$$

---

[17] Diskonttauksessa käytetään subjektiivista diskonttokorkoa, joka on tasapainouralla yhtä suuri kuin markkinakorko.

[18] Ks. liite 4.

[19] Ks. liite 4.

Yhtälössä (2.18b) laatujohtajan hetkellinen voitto on diskontattu tasapainouralla markkinakoron kanssa yhtä suurella subjektiivisella diskonttokorolla ja voittojen epävarmuutta kuvaavalla todennäköisyydellä $2I$ (todennäköisyys menettää laatujohtajan asema, eli nk. luova tuho vaikutus), josta on vähennetty laatujohtajan varman tuottoasteen osuus n, joka seuraa markkinoiden koon kasvusta.

Kun yrityksen todennäköisyys onnistua innovaatiossa ja saavuttaa laatujohtajuus marginaalisen lyhyellä aikavälillä dt on $I_i(\omega,t)dt$, sen tuotekehityspalvelusta saama odotettu tuotto on $\Pi(\omega,t)I_i(\omega,t)dt$. Toisaalta tuotekehityspalveluiden tuottamisen kustannus ko. aikavälillä on $B(w_L,w_H)X(\omega,t)I_i(\omega,t)dt$. Tyypillinen tuotekehityskilpaan osallistuva yritys siis maksimoi tuotekehityksen odotettua diskontattua voittoa

(2.19) $$\Pi(\omega,t)I_i dt - [B(w_L,w_H)X(\omega,t)]I_i(\omega,t)dt.$$

Koska toimialojen oletetaan olevan tuotekehityspalveluiden tuotannon suhteen symmetrisiä, voidaan termi ω jättää pois notaatiosta. Tuotekehityskilpoihin on vapaa pääsy, jolloin niihin osallistuvien yritysten tuotekehityspalveluiden tuotannon odotettu voitto on nolla. Asettamalla yhtälö (2.19) nollaksi saadaan ratkaistua tuotekehityspalvelutuotannon voitonmaksimoinnin ehdoksi

(2.20) $$\frac{\Pi(t)}{X(t)} = B(w_L,w_H).$$

Tasapainouralla laatujohtajan diskontattu voitto $\Pi(t)$ kasvaa ajan suhteen markkinoiden koon kasvaessa. Samalla $X(t)$ kasvaa, kun tuotekehitys vaikeutuu. Suhdeluku $S(t) \equiv \Pi(t)/X(t)$ kertoo innovaation arvon suhteessa sen tuottamisen vaikeuteen. Se kuvaa yhden tuotekehityspalveluyksikön tuottaman odotetun innovaatioyksikön suhteellista hintaa. Nollavoittoehdon mukaan tuotekehityspalvelun rajatuotto $S(t)$ on yhtä suuri kuin rajakustannus $B(w_L,w_H)$.

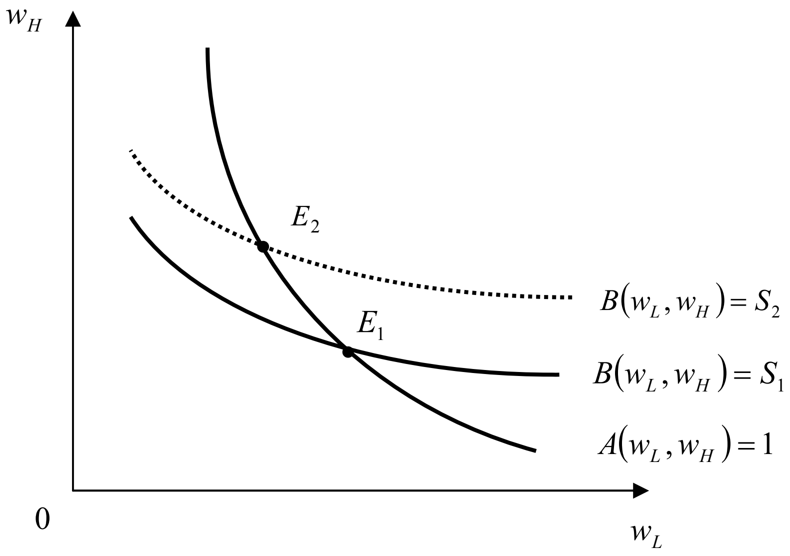
Yritysten kannustin lisätä tuotekehitysinvestointien tasoa lisääntyy innovaation suhteellisen hinnan noustessa. Mitä suuremman arvon $S(t)$ saa, sitä arvokkaampia innovaatiot ovat ja sitä suurempi panostus niitä tuottavaan tuotekehityspalveluiden tuotantoon on yritykselle optimaalista. Toisaalta yhtälön (2.20) mukaan innovaation suhteellinen hinta $S(\omega,t)$ riippuu tuotekehityspalvelutuotannon yksikkökustannuksesta $B(w_L, w_H)$ ja sen kautta koulutetun työvoiman suhteellisesta palkasta w_H / w_L. Kansainvälisen kaupan integraation vaikutuksilla innovaation hintaan ja tuotannontekijähinnoilla on tätä kautta yhteys. Innovaation hinnan muutosten vaikutusten suunnan tuotannontekijähintoihin määrittelee loppu- ja tuotekehityspalvelutuotannon panosintensiteetit.

Väite 2.1. Edellyttäen että tuotannontekijäintensiteetit eivät vaihdu, kun tuotekehityspalveluiden tuotannossa käytetään panoksena intensiivisesti koulutettua työvoimaa suhteessa lopputuotteiden tuotantoon ($B_H / B_L > A_H / A_L$), innovaation suhteellisen hinnan S nousu kasvattaa koulutetun työvoiman palkkaa w_H ja laskee kouluttautumattoman työvoiman palkkaa w_L.

Todistus: Ks. Liite 5.

Innovaation arvon nousu aiheuttaa tuotantoresurssien siirtymistä lopputuotannosta tuotekehityspalvelutuotantoon, kunnes tuotantoalojen tuotannontekijöiden rajatuottavuuksien suhteet ovat yhtä suuret. Jos tuotekehityspalvelutuotannossa käytetään suhteellisesti intensiivisemmin koulutettua työvoimaa, aiheuttaa tuotannon osittainen siirtyminen tuotekehityspalvelutuotantoon koulutetun työvoiman kysynnän kasvua, jolloin heidän palkkojen voidaan odottaa nousevan. Samalla kouluttamattoman työvoiman kysyntä laskee, joka aiheuttaa heidän palkkansa laskua.

Kuvio 2.2 esittää tasapainopalkat edellä esitetyssä kehikossa. Yksikkökustannusfunktioiden $A(w_L, w_H)$ ja $B(w_L, w_H)$ konkaaviudesta seuraa, että yhtälöiden (2.13) ja (2.20) määrittämät funktioiden $A(w_L, w_H)$ ja $B(w_L, w_H)$ tasokäyrät arvoilla 1 ja S ovat konvekseja (w_L, w_H)-koordinaatistossa. Kun suhteellinen panosintensiivisyys ei muutu käänteiseksi



Lähde: Dinopolous ja Segerstrom (1999b).

Kuvio 2.2. Tasapainopalkat ja innovaation suhteellinen hinta, kun tuotekehityksessä käytetään intensiivisesti koulutettua työvoimaa.

tuotantotason tai tuotannontekijähintojen muuttuessa (absence of factor intensity reversals), käyrä $B(w_L, w_H) = S$ on aina loivempi kuin käyrä $A(w_L, w_H) = 1$.[20]

Innovaation suhteellisen hinnan nousu S_1:stä S_2:teen lisää koulutetun työvoiman suhteellista kysyntää ja siirryttäessä alkuperäisestä palkkatasapainosta E_1 uuteen palkkatasapainoon E_2 koulutetun työvoiman suhteellinen palkka w_H / w_L nousee, kun koulutetun työvoiman palkka kasvaa ja kouluttamattoman työvoiman palkka laskee.

D&S (1999b) kutsuvat edellä esitettyä innovaation suhteellisen hinnan ja suhteellisten palkkojen välistä yhteyttä schumpeterilaiseksi versioksi Stolper-Samuelson-mekanismista (SSS-mekanismiksi). Kansainvälisen talouden integraatio kytkeytyy suhteellisiin palkkoihin SSS-mekanismin kautta siten, että tullimaksun alentuminen aiheuttaa nousupaineita innovaation suhteellisessa hinnassa kasvattaessaan laatujohtajien odotettua voittovirtaa.

[20] Tämä johtuu edellä oletetusta koulutetun työvoiman suhteellisesta intensiivisyydestä tuotekehityspalveluiden tuotannossa, $B_H / B_L > A_H / A_L$. Ks. väitteen 2.1 todistus liitteessä 5.

Mallin tasapainouran täsmälliseksi tarkastelemiseksi on vielä johdettava työmarkkinoiden tasapainoehdot. Tällöin analyysissä tulee huomioitua se, että suhteellisen palkan nousu lisää kriittisen kyvykkyystason laskun kautta koulutetun työvoiman tarjontaa.

2.1.3 Tuotannontekijämarkkinoiden tasapaino

Tarkasteltavassa tilanteessa kouluttautumattomat ja kouluttautuneet työntekijät ovat ainoat tuotannontekijät. Mallissa vallitsee tuotannontekijämarkkinoiden tasapaino, kun molempien työntekijätyyppien työmarkkinat ovat tasapainossa. Tuotannontekijöiden kysynnän johtamiseksi on tiedettävä, kuinka monta yksikköä kumpaakin työntekijätyyppiä yritykset käyttävät lopputuotteiden ja tuotekehityspalveluiden tuotannossa. Tuotannontekijätarve saadaan derivoimalla yhtälöissä (2.12) ja (2.15) määritellyt kustannusfunktiot tuotannontekijähintojen suhteen (Shepardin lemma[21]). Derivoimalla lopputuotannon kustannusfunktion yhtälö (2.12) palkkojen suhteen saadaan lopputuotannon Q tuottamiseen tarvittaviksi kouluttamattoman ja koulutetun työvoiman määriksi

$$\frac{\partial}{\partial w_L}\left(A(w_L, w_H)Q\right) = \frac{\partial A(w_L, w_H)}{\partial w_L} \cdot Q \qquad \text{ja}$$

$$\frac{\partial}{\partial w_H}\left(A(w_L, w_H)Q\right) = \frac{\partial A(w_L, w_H)}{\partial w_H} \cdot Q .$$

Vakioisten skaalatuottojen tapauksessa yrityksen yksikkökustannus on riippumaton tuotannontasosta. Yhden lopputuoteyksikön tuottamiseen tarvittavat määrät kouluttamatonta ja koulutettua työvoimaa saadaan jakamalla lopputuotannon Q tuottamiseksi tarvittavat panosmäärät Q:lla:

---

[21] Shepardin lemman mukaan kustannusfunktion ensimmäinen derivaatta tuotannontekijän hinnan suhteen on kyseisen tuotannontekijän tarve annetun tuotannon tuottamiseksi optimaalisella panosuhteella. Ks. esim. Gravelle ja Reese (1992, s.203-204).

$$\frac{\partial A(w_L, w_H)}{\partial w_L} \equiv A_L(w_L, w_H) \quad \text{ja} \quad \frac{\partial A(w_L, w_H)}{\partial w_H} \equiv A_H(w_L, w_H).$$

Yhden tuotekehityspalveluyksikön tuottamiseen tarvittavat määrät tuotannontekijöitä saadaan ratkaistua vastaavalla tavalla ja ne ovat

$$\frac{\partial [B(w_L, w_H)X(t)]}{\partial w_L} = \frac{\partial B(w_L, w_H)}{\partial w_L} X(t) \equiv B_L(w_L, w_H)X(t) \qquad \text{ja}$$

$$\frac{\partial [B(w_L, w_H)X(t)]}{\partial w_H} = \frac{\partial B(w_L, w_H)}{\partial w_H} X(t) \equiv B_H(w_L, w_H)X(t).$$

Kun yhden yksikön tuottamiseen tarvittavat panosmäärät tunnetaan, voidaan helposti ratkaista kokonaistuotantoa vastaavat panoskysynnät. Yhden maan tietyn toimialan markkinoilla kysyntä on suuruudeltaan $c(t)N(t)/(\lambda\Omega)$, jolloin laatujohtajan tuotteeseen kohdistuva kokonaiskysyntä sen hallitsemilla kaksilla markkinoilla on yhteensä $2c(t)N(t)/(\lambda\Omega)$. Kun maiden oletetaan olevan symmetrisiä ja toimialoja olevan suuri määrä[22] Ω, kokonaiskysyntä on $\Omega \cdot 2c(t)N(t)/(\lambda\Omega)$. Kun lisäksi molemmissa maissa on aina puolilla toimialoista kotimainen laatujohtaja ja puolilla ulkomainen laatujohtaja, yhden maan kaikkien laatujohtajien kohtaaman kokonaiskysynnän laskemiseksi globaalien markkinoiden kokonaiskysyntä on kerrottava vielä puolella. Käyttämällä edellä johdettuja yhden lopputuoteyksikön tuottamiseksi tarvittavia panosmääriä yhden maan kaikkien laatujohtajien kohtaaman kysynnän suuruisen lopputuotannon tuottamiseen tarvittavaksi kouluttamattomien työntekijöiden määräksi saadaan $A_L(w_L, w_H)c(t)N(t)/\lambda$ ja koulutettujen työntekijöiden määräksi $A_H(w_L, w_H)c(t)N(t)/\lambda$.

22 Suurten lukujen laki on voimassa toimialojen määrän lähestyessä ääretöntä. D&S:n (1999b) artikkelissa toimialat mallinnetaan jatkumona, jonka mitta on yksi. Tällöin symmetristen toimialojen yhteinen kokonaiskysyntä saadaan kertomalla yksittäisen toimialan kysyntä yhdellä.

Vastaavasti tuotekehityspalveluiden tuottamisen panostarve koko maan tuotekehityspalvelutuotannon volyymille ΩI on kouluttamattomien osalta $B_L(w_L, w_H)X\Omega I$ ja koulutettujen osalta $B_H(w_L, w_H)X\Omega I$. Kunkin tuotannontekijäryhmän kokonaiskysyntä on sitä loppu- ja tuotekehitystuotantoon tarvittavien määrien summa. Työntekijäryhmien panostarjonnat on määritelty jo aikaisemmin kappaleessa 2.1.1.3 (yhtälöt (2.9) ja (2.11)). Asettamalla kysynnät ja tarjonnat yhtä suuriksi ja jakamalla väestön määrällä $N(t)$, saadaan kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehtojen yhtälöiksi

(2.21) $$\theta_0 = A_L(w_L, w_H)\frac{c(t)}{\lambda} + B_L(w_L, w_H)x(t)\Omega I \qquad \text{ja}$$

(2.22) $$\frac{\theta_0 + 1 - 2\gamma}{2}(1-\theta_0)\phi = A_H(w_L, w_H)\frac{c(t)}{\lambda} + B_H(w_L, w_H)x(t)\Omega I\,,$$

joissa $x(t) = X(t)/N(t)$. Kun väitteen 2.1 oletukset ovat voimassa, tuotekehitysintensiteetin I kasvu suhteessa lopputuotantoon $c(t)N(t)/\lambda$ lisää koulutetun työvoiman kysyntää (yhtälön (2.22) oikeata puolta) enemmän kuin kouluttamattoman työvoiman kysyntää (yhtälön (2.21) oikeata puolta). Kaupan vapautuminen aiheuttaa tuotannon siirtymistä lopputuotannosta tuotekehityspalvelutuotantoon, josta seuraa koulutetun työvoiman suhteellisen kysynnän lisääntyminen. Tuotannontekijöiden tarjonnan ollessa joustamatonta[23], koulutetun työvoiman kasvanut suhteellinen kysyntä kasvattaa heidän tuotantopanoksestaan maksettua korvausta tavanomaista kysyntä-mekanismia vastaavalla tavalla. Mallissa tuotannontekijöiden tarjonta riippuu kuitenkin henkilöiden kouluttautumispäätöksestä ja koulutetun työvoiman tarjonta lisääntyy koulutettujen suhteellisen palkan kasvaessa. Seuraavassa kappaleessa osoitetaan, että mallilla on yksiselitteinen tasapaino ja että tuotekehityspalvelutuotannon kasvu aiheuttaa koulutetun työ-

[23] Tuotannontekijöiden tarjonta on joustamatonta kun θ_0 asetetaan vakioksi. Tällöin palkkojen suhteelliset muutokset eivät vaikuta kouluttautuvien osuuteen taloudessa. Kyseinen tilanne voi syntyä esimerkiksi silloin, kun opiskelupaikkojen tarjonta ei määräydy markkinamekanismin mukaan, vaan on hallituksen asettamana vakio. Toisaalta hallitus voi seurata työmarkkinoiden kysynnän koulutusintensiteettiä ja pyrkiä sovittamaan koulutuspolitiikkansa sen mukaisesti.

voiman suhteellisen palkan nousua silloinkin, kun tuotannontekijöiden tarjonta joustaa suhteellisten palkkojen muuttuessa.

2.1.4 Mallin tasapainon olemassaolo ja ominaisuudet

Tässä kappaleessa osoitetaan, että mallin yhtälöiden muodostamalla yhtälöryhmällä on olemassa yksiselitteinen ratkaisu tasapainoisella kasvu-uralla, jossa kulutus henkeä kohden c, suhteellinen tuotekehitystuotannon vaikeus x sekä palkat w_L ja w_H ovat vakioita ajan suhteen. Kun c on vakio ajan suhteen, yhtälön (2.6) mukaan $r(t)=\rho$. Kun suhteelliset palkat ovat vakioita, myös kouluttautuneiden osuus väestöstä θ_0 on vakio. Yhtälöt (2.8) ja (2.13) määrittävät implisiittisesti molemmat palkat w_L ja w_H kolmannen endogeenisen muuttujan θ_0:n funktiona. Yhtälöistä (2.14), (2.18b) ja (2.20) saadaan ratkaistua kysynnäksi henkeä kohden $c(t)/\lambda = Bx(\rho + 2I - n)/K(\tau)$.[24] Sijoittamalla edelliset tulokset koulutettujen ja kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehtojen yhtälöihin (2.21) ja (2.22) saadaan

(2.23) $$\theta_0 = A_L(\theta_0)B(\theta_0)x(\rho + 2I - n)\frac{1}{K(\tau)} + B_L(\theta_0)x\Omega I$$ ja

(2.24) $$\frac{\theta_0 + 1 - 2\gamma}{2}(1-\theta_0)\phi = A_H(\theta_0)B(\theta_0)x(\rho + 2I - n)\frac{1}{K(\tau)} + B_H(\theta_0)x\Omega I .$$

Yhtälöt (2.23) ja (2.24) muodostavat kahden yhtälön ryhmän, jossa on kolme tuntematonta muuttujaa, θ_0, x ja I. Mallin yksiselitteiseksi ratkaisemiseksi tarvittava kolmas yhtälö saadaan valitsemalla tuotekehityksen vaikeuden X spesifikaatioksi yhtälön (2.16) mukainen PEG-

---

24 Yhdistämällä yhtälöt (2.18) ja (2.20) saadaan laatujohtajan voittovirta ratkaistua muotoon $\pi = BX(\rho + 2I - n)$. Asettamalla edellinen ja yhtälö (2.14) yhtä suuriksi ja ratkaisemalla saatu yhtälö kysynnän henkeä kohden $c(t)/\lambda$ suhteen, saadaan se annettuun muotoon $c(t)/\lambda = Bx(\rho + 2I - n)/K(\tau)$.

malli, jonka mukaan $x = k$.[25] Sijoittamalla se yhtälöihin (2.23) ja (2.24) saadaan muodostettua kahden yhtälön yhtälöryhmä, jossa on kaksi tuntematonta muuttujaa, θ_0, ja I. Näiden yhtälöiden muodostamat käyrät (I,θ_0)-koordinaatistossa on piirretty kuvioon 2.3. Liitteessä 6 osoitetaan, että nämä käyrät leikkaavat toisensa ainoastaan yhdessä (I,θ_0)-koordinaatiston pisteessä.

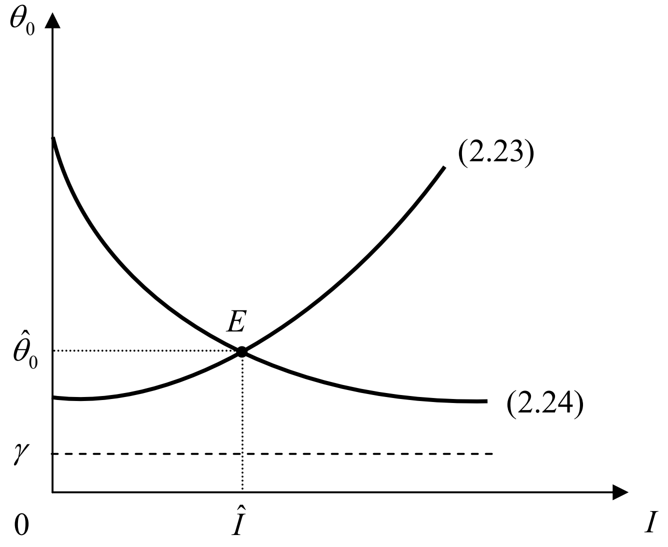
Yhtälöiden kuvaajien kulmakertoimien intuitiivinen tulkinta on seuraava. Yhtälön (2.23) kuvaaja on nouseva[26] ja se kertoo pisteet, joissa kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoilla vallitsee täystyöllisyys ehdolla $x = k$. Kouluttamattomien palkan w_L nousu kasvattaa θ_0:aa. palkan nousu vähentää kouluttamattoman työvoiman kysyntää, jolloin yhtälön (2.23) oikea puoli pienenee. Samalla heidän tarjonta lisääntyy θ_0:n kasvaessa, jolloin yhtälön (2.23) vasen puoli suurenee. Kouluttamattomien palkan suhteellinen nousu aiheuttaa tuotannon suhteellista pienentymistä lopputuotannossa ja kasvua tuotekehityksessä, jolloin I kasvaa. Kun θ_0 kasvaa, on siis yhtälön (2.23) määrittelemän tasapainon säilymiseksi myös I:n kasvettava. Yhtälön (2.24) kuvaaja on laskeva[27] ja se kertoo pisteet, joissa koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoilla vallitsee täystyöllisyys ehdolla $x = k$. Kouluttamattomien palkan w_L nousu vastaa koulutettujen suhteellisen palkan laskua. Tämä lisää koulutetun työvoiman kysyntää. Tällöin yhtälön (2.24) oikea puoli suurenee. Samalla heidän tarjontaa vähenee θ_0:n kasvaessa ja yhtälön (2.24) vasen puoli pienenee. Jotta täystyöllisyystasapaino säilyisi koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoilla, on I:n laskettava. Yhtälöiden (2.23) ja (2.24) kuvaajien leikkauspiste E kuviossa 2.3 määrittelee I:n ja θ_0:n tasapainoarvot.

---

25 Vaihtoehtoisesti voidaan tarkastella TEG-mallin mukaista spesifikaatiota tuotekehityksen vaikeudelle. Mallin tarkastelu tehdään tässä kuitenkin vain mallin PEG versiolle. Mallin TEG version palkkoja ja tuotannontekijöiden suhteellisia osuuksia koskevat tulokset eivät poikkea mallin PEG version tuloksista.

26 Ks. todistus liitteessä 6.

27 Ks. todistus liitteessä 6.



Lähde: Dinopolous ja Segerstrom (1999b).

Kuvio 2.3. Kouluttamattomien osuus työvoimasta ja tuotekehitysintensiteetti mallin tasapainossa.

2.2 Ulkomaankaupan kustannusten lasku ja suhteelliset palkat

Tarkastellaan seuraavaksi kaupan vapautumisen vaikutuksia tuotannontekijähintoihin luvussa 2.1 esitellyn mallin avulla.[28] Kaupan esteiden vähentyessä tullimaksun τ laskun myötä innovaation arvo S nousee tuotekehityspalvelutuotannon odotetun voiton Π kasvaessa. Tämä aiheuttaa uudelleen allokoitumista loppu- ja tuotekehityspalveluidentuotannon välillä siten, että resursseja siirtyy lopputuotantosektorilta tuotekehityspalvelusektorille. Kun tuotekehityspalveluiden tuotannossa käytetään suhteellisesti enemmän koulutettua työvoimaa, aiheuttaa tällainen tuotannon siirtyminen sektorilta toiselle koulutetun työvoiman kysynnän kasvua suhteessa kouluttamattoman työvoiman kysyntään. Mikäli tuotannontekijöiden tarjonta on va-

[28] D&S (1999b) tarkastelevat artikkelissaan myös kaupan vapautumisen vaikutuksia talouden kasvuun. Tässä tarkastelu rajataan kuitenkin suhteellisiin tuotannontekijähintoihin.

kio[29], suhteellisen kysynnän kasvu lisää tuotannontekijästä maksettua korvausta tavanomaisen kysyntä-tarjonta-mekanismin kautta.

Luvun 2.1. mallissa tuotannontekijävarantojen suhteelliset osuudet ovat joustavia ja määräytyvät tuotannontekijäkorvausten perusteella kuluttajien kouluttautumispäätöksen seurauksena. Tällöin työvoimaryhmien tarjonnat kasvavat (laskevat) kyseisen ryhmän suhteellisen palkan nousun (laskun) myötä. Koulutettujen suhteellisen palkan nousun seurauksena yhä useammalle henkilölle on kannattavampaa kouluttautua. Kun innovaation suhteellinen hinta S pidetään vakiona ja annetaan tuotannontekijöiden tarjonnan joustaa, koulutettujen palkan nousu lisää koulutetun työvoiman suhteellista tarjontaa. Lisääntyneen koulutetun työvoiman tarjonnan vaikutus heidän suhteelliseen palkkaansa on negatiivinen. Edellä esitetty tuotannontekijän hinnan noususta seuraava tarjonnan lisääntyminen aiheuttaa Rubczynski-tyyppisen vaikutuksen, joka lisää entisestään koulutusintensiivisen tuotekehitystoiminnan volyymia (D&S 1999b, s.466) laskiessaan koulutetun työvoiman suhteellista tuotannontekijähintaa. Tämän vaikutus koulutettujen palkkaan on positiivinen.

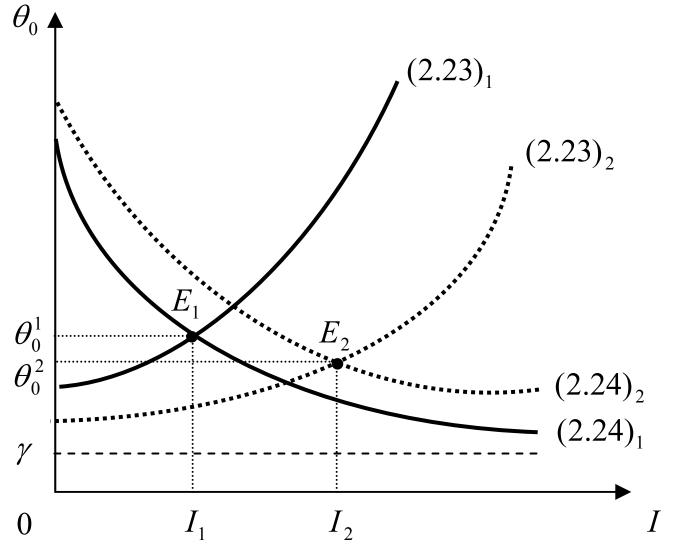
Luvun 2.1 mallin mukaisten tuotannontekijöiden kysynnän ja tarjonnan muutosten yhteisvaikutus suhteellisiin palkkoihin ja työvoimavarantoihin on tiivistetty seuraavaan väitteeseen:

Väite 2.2. Edellyttäen että tuotannontekijäintensiteetit eivät vaihdu ja kun tuotekehityksessä käytetään panoksena suhteellisesti enemmän koulutettua työvoimaa ($B_H/B_L > A_H/A_L$), kansainvälisen kaupan vapautuminen (τ alenee) (i) pienentää pysyvästi kouluttamattoman työvoiman palkkaa w_L ja kasvattaa pysyvästi koulutetun työvoiman palkkaa w_H sekä (ii) kasvattaa pysyvästi kouluttautuneen väestön osuutta $(1-\theta_0)$.

Todistus: Ks. liite 6.

---

[29] Tuotannontekijöiden tarjonta on mallin kehikossa vakio kun θ_0 asetetaan vakioksi.



Lähde: Dinopolous ja Segerstrom (1999b).

Kuvio 2.4. Tullimaksun laskun vaikutus kouluttamattomien osuuteen ja innovaatiointensiteettiin täystyöllisyysmallissa.

Kuviossa 2.4 esitetään graafisesti kaupan vapautumisen vaikutus mallin tasapainoon. Tullimaksun τ lasku kasvattaa laatujohtajan voittomarginaalia $K(\tau)$ ja pienentää yhtälöiden (2.23) ja (2.24) oikeita puolia. Kun θ_0 pidetään vakiona, on I :n kasvettava. Kullakin θ_0:n arvolla I :n on siis oltava aikaisempaa suurempi, jonka seurauksena molempien yhtälöiden kuvaajien on siirryttävä oikealle. Uusi tasapaino on pisteessä E_2, jossa tuotekehitysintensiteetti I on kasvanut ja kouluttamattomien osuus θ_0 laskenut.

2.3 Päätelmiä ja pohdintaa

Tässä luvussa esitetyn teoreettisen mallin perusteella schumpeterilaisessa taloudessa tuotannon uudelleenallokaatio ei seuraa välttämättä lopputuotteiden välisten suhteellisten hintojen muutoksesta vaan se voi olla seurausta innovaation arvon muutoksesta suhteessa lopputuotannon arvoon. Mallin lähtökohtana on ajatus siitä, että ulkomaankaupan vapautuminen aiheuttaa tuotannon siirtymistä koulutusintensiiviseen tuotekehitykseen, jonka seurauksena koulutusryhmittäiset palkkaerot kasvavat. Luvussa konstruoitu schumpeterilainen SS-mekanismi tarjoaa vaihtoehdon tutkimusalalla vahvasti esillä olleelle perinteisen SS-mekanismin perusteella tehdylle tulkinnalle, jonka mukaan palkkaeroja ei voida selittää kansainvälisen kaupan vapautumisella, sillä suhteellisten tuontihintojen ei ole havaittu muuttuneen merkittävästi viime vuosikymmenien aikana.

Luvussa esitetty mekanismi palkkaerojen ja ulkomaankaupan välillä voidaan palauttaa intuitiivisella tasolla Stolperin ja Samuelsonin (1941) klassisen artikkelin analyysiin. Heidän tarkastelussaan tuotantosektorit ovat loppu- ja tuotekehityspalvelutuotannon sijasta vehnää ja kelloja tuottavat sektorit ja tuotannontekijät ovat koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman sijasta tuotantopääoma ja (homogeeninen) työvoima. D&S:n (1999b) malli on elegantti kehitelmä Stolperin ja Samuelsonin analyysista, jossa jälkimmäisten kehittämä SS-mekanismi on siirretty schumpeterilaisen talouden kehikkoon. D&S:n mallin mekanismi eroaa Stolperin ja Samuelsonin mekanismista siten, että kun Stolperin ja Samuelsonin analyysissä kannustimen tuotannontekijöiden uudelleenallokoitumiselle aiheuttaa toimialojen välisten suhteellisten lopputuotehintojen muutos kaupan vapautumisen myötä, D&S:n mallissa kannustimen aiheuttaa innovaatioiden suhteellisen arvon muutos. D&S:n mallissa resurssien uudelleenallokaatio tapahtuu toimialan sisäisten aktiviteettien (lopputuotanto ja tuotekehitys) välillä, kun taas Stolperin ja Samuelsonin tarkastelemassa tilanteessa uudelleenallokaatio tapahtuu lopputuotantoa tuottavien toimialojen välillä.

Luvun 2 analyysin keskeinen tulos on ulkomaankaupan kustannukset ja koulutusryhmittäiset palkkaerot yhteen kytkevä mekanismi. Tullimaksun laskulla on sen perusteella koulutusryhmien välisiä palkkaeroja lisäävä vaikutus. Samalla väestön koulutustaso nousee koulutuksesta saatavan keskimääräisen kokonaispalkkion kasvaessa.

Mallin perusteella tehdyille makrotaloudellisille johtopäätöksille on keskeistä se, että toimialojen oletetaan olevan homogeenisiä. Tämän seurauksena lopputuotanto ja tuotekehitysintensiteetti voidaan aggregoida koko kansantalouden tasolla ja ulkomaankaupan kustannusten laskun kokonaistaloudellisia vaikutuksia voidaan analysoida.

Mallin analyysin tuloksia voidaan soveltaa sillä kansantalouden osalla, jossa ulkomaankaupan kustannukset toimivat merkittävissä määrin yritysten tuotekehitysprojektien kannustimina. Nämä toimialat ovat lähtökohtaisesti sellaisia, joilla onnistuneeseen tuoteinnovaatioon liittyy tuotteen myynti ulkomaan markkinoilla. Esimerkiksi joillakin palvelualoilla vienti on vaikeata tai mahdotonta, sillä palvelun kuluttaminen vaatii usein palvelun tuottajan läsnäolon. Tällaisten alojen tuotekehitys tähdänneekin ensisijaisesti markkina-aseman parantamiseen kotimaassa, jolloin tuotekehityksellä ei pyritä saavuttamaan laajaa kansainvälistä markkina-asemaa.

Mallin tuotekehitysprosessissa käytettiin panoksena ainoastaan työvoimaa. Joillakin toimialoilla tuotekehitysprojektit saattavat edellyttää suuria investointeja fyysiseen pääomaan kuten kalliiseen tutkimuslaitteistoon. Tällöin, mikäli tuotekehityksen pääomaintensiivisyys on korkeata, tuotekehityksen kannattavuuden kasvun työmarkkinavaikutukset voivat olla erilaisia kuin tarkastellun mallin tulokset antavat ymmärtää.

Wikelinin (1997) Iso-Britanniaa käsittelevän tutkimuksen mukaan yrityksen aikaisempien innovaatioiden määrällä on myönteinen vaikutus innovaation tekevän yrityksen vientiin. Lisäksi Wikelin erottelee suuret ja pienet innovaatioita tekevät yritykset. Hänen mukaansa pienet innovaatioita tehneet yritykset jäävät todennäköisemmin kotimarkkinoille ja mitä suurempi yritys on sitä todennäköisemmin se siirtyy vientimarkkinoille. Wikelin arvioi, että pienillä yrityksillä on suuremmat (suhteelliset) kustannukset aloittaa vienti, jolloin niiden vientimarkkinoille siirtymiseen liittyvät kiinteät kustannukset ovat niin suuret, ettei vientiä kannata aloittaa. Tämä viittaisi siihen, että yrityksillä olisi viennin skaalaetuja.

Toimialat voivat poiketa toisistaan myös tuotekehitysprojektien aloituskustannusten osalta. Mallissa tuotekehityskilpoihin pääsy oli vapaata, eikä tuotekehitysprojektin aloittamiseen liittynyt kiinteää kustannusta. Tuotekehityskilpoihin pääsyn vapaus on melko vahva oletus. Seuraavan sukupolven tuotteen kehittämiseksi yrityksellä on usein oltava tieto edellisen tuotteen valmistusteknologiasta. Mallissa tieto syrjäytyvän tuotteen valmistuksesta siirtyi vapaasti saatavaksi, kun sen patentin omistava yritys syrjäytyi markkinoilta. Tosiasiassa vanhan sukupolven tuotteen tuottamiseen tarvittava tietokin voi maksaa. Tällöin tuotekehityksen aloittamisella on kustannuksia. Toinen tuotekehitysprosessiin liittyvä vahva oletus on se, että kaikilla yrityksillä on yhtä suuri todennäköisyys tehdä innovaatio. Tästä poiketen voitaisiin tarkastella tilannetta, jossa innovaation todennäköisyys kasvaa, mikäli yrityksellä on tiedossa uusin teknologia eli se on laatujohtaja. Uusimman teknologian hallitsijalla on tällöin kilpailuetu tuotekehityksessä ja sen todennäköisyys keksiä seuraavan sukupolven tuote on kilpailijoita korkeampi. Tällöin myös sen odotettu voitto tuotekehityksestä on suurempi. Tämä pienentäisi seuraajayritysten tuotekehityksen odotettua voittoa, sillä todennäköisyys sille, että johtava yritys tekee innovaation (jolloin seuraajayritys häviää tuotekehityskilvan) kasvaisi. Tällöin tuotekehitys saattaisi keskittyä muutamiin yrityksiin, kuten näyttäisi käyneen mm. telekommunikaatio- ja ohjelmistoalalla. D&S:n mallissa tätä ei ole suoraan havaittavissa sillä siinä tuotekehityksen odotettua tuottoa laskettaessa ei oteta huomioon sitä, että jotta yritys voittaisi tuotekehityskilvan, on sen tehtävä itse innovaatio ja *lisäksi* tulisi olla voimassa, että toimialan muut yritykset eivät ole tehneet innovaatiota.[30] Tämä aiheuttaa malliin pientä epäjohdonmukaisuutta.

[30] Ks. liite 7

3 Kansainvälinen kauppa ja palkat kitkatyöttömyysmallissa

Kansainvälisen kaupan integraation työmarkkinavaikutuksien arvioinnissa työttömyyden analyysi on yhteiskunnallisesti keskeisessä asemassa. Tässä luvussa tarkastellaan luvussa 2 esitetyn teoreettisen kehikon soveltumista kyseiseen tarkoitukseen. Tarkastelun kohteena on erityisesti kitkatyöttömyys, joka muodostuu irtisanomisten ja uuden työpaikan löytymisten välisenä aikana ilmenevistä työttömyysjaksoista. Luvussa 2 työmarkkinoilla oletetaan täystyöllisyys, jolloin yritysten konkurssien myötä tuhoutuvat työpaikat muodostetaan heti toiseen yritykseen, eikä työmarkkinoilla ilmene kitkaa. Tässä luvussa tarkastelua muutetaan siten, että irtisanottu työntekijä ei löydäkään välittömästi uutta työpaikkaa, jolloin yritysten tuhoutumisesta aiheutuvat työsuhteiden päättymiset aiheuttavat kitkatyöttömyyttä.

3.1 Mallin kuvaus

Tässä luvussa käytettävä Senerin (2001) teoreettinen malli poikkeaa luvun 2.1 mallista työmarkkinoiden ja tuotantoteknologian osalta. Senerin mallissa kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoilla syntyy kitkatyöttömyyttä aikaavievän työpaikkojen kohtaantoprosessin (time-consuming job-matching process) seurauksena. Koulutettujen työmarkkinoilla on täystyöllisyys. Mallissa oletetaan, että lopputuotannossa käytetään ainoastaan kouluttamatonta ja tuotekehitystuotannossa ainoastaan koulutettua työvoimaa. Edellinen oletus jakaa mallin tuotantorakenteen kahteen osaan, joista toisen muodostaa lopputuotanto ja kouluttamattomien työmarkkinat ja toisen tuotekehitystuotanto ja koulutettujen työmarkkinat.

Kuluttajien kysyntä mallinnetaan luvun 2.1.1 tapaan ja kouluttautumispäätöstä muuttaa ainoastaan se, että nyt kouluttamattoman työvoiman elinikäisiä tuloja laskettaessa on otettava huomioon työttömyysjaksot. Sama pätee kouluttamattoman työvoiman tarjonnalle.

3.1.1 Kouluttautumispäätös ja työvoiman tarjonta

Luvun mallissa kouluttautumispäätös mallinnetaan lukua 2.1 vastaavalla tavalla. Ainoana poikkeuksena on se, että kouluttautumattomien työntekijöiden kohdalla otetaan huomioon työttömäksi joutumisen mahdollisuus työmarkkinoiden esiintyvän kitkan johdosta.

Koulutettu henkilö kyvykkyystasolla θ ansaitsee ajalla $D-T>0$ palkan w_H tehokasta työyksikköä kohden. Sener käyttää koulutetun työvoiman tehokkuuden mittana kyvykkyysindeksiä, jolloin henkilön kyvykkyystasolla θ saama palkka aikayksikköä kohden on θw_H .[31]

Kriittisen kyvykkyystason määrittävä epäyhtälö on nyt

[31] D&S (1999b) muuntavat koulutetun henkilön nimellispalkan tehokkuusyksikköihin tekijällä $(\theta-\gamma)/\theta$. Merkitään seuraavaksi D&S:n nimellispalkkaa $\hat{w}_H$:lla. Senerin (2001) ja D&S (1999b) merkinnät tehokkuuspalkalle vastaavat toisiaan yhtälön $((\theta-\gamma)/\theta)\hat{w}_H = w_H \Leftrightarrow (\theta-\gamma)\hat{w}_H = \theta w_H$ mukaisesti. Parametri γ vaikuttaa D&S:n mallissa koulutettujen työntekijöiden palkkajakauman leveyteen. Henkilön, jolle $\theta=\gamma$, kannattaa juuri ja juuri kouluttautua, mikäli koulutukseen kuluva aika on nolla. Senerin mallissa parametri γ on asetettu nollaksi.

$$(3.1) \qquad \int_{t}^{t+D} e^{-\rho(s-t)} w_L(s)(1-u)ds < \int_{t+T}^{t+D} e^{-\rho(s-t)} \theta\, w_H(s)ds,$$

joka vastaa yhtälöä (2.7) lukuun ottamatta termiä $(1-u)$ epäyhtälön vasemmalla puolella, joka on kouluttautumattomien henkilöiden työllisyysaste. Näin otetaan huomioon se, että henkilö on aikavälillä $[t, t+D]$ työllisenä ainoastaan $(1-u)\cdot 100$ prosenttina työpäivistä. Kriittisen kyvykkyystason yhtälöksi saadaan tällöin

$$(3.2) \qquad \theta_0 = \left(\frac{1-e^{-\rho D}}{e^{-\rho T} - e^{-\rho D}} \right) \frac{(1-u)w_L}{w_H} = \sigma \frac{(1-u)w_L}{w_H},$$

jossa σ riippuu ainoastaan mallin eksogeenisista muuttujista ja ainoat θ_0:aan vaikuttavat mallin endogeeniset muuttujat ovat suhteellinen palkka w_H / w_L ja työttömyysaste u. Koska tasapainossa $\sigma > 1$ ja $\theta_0 < 1$, yhtälöstä (3.2) seuraa, että $w_H > (1-u)w_L$. Koulutetun henkilön tehokkuusyksikköä kohden saama palkka on siis tasapainouralla korkeampi kuin kouluttamattoman henkilön keskimääräinen palkka. Kriittinen kyvykkyystaso θ_0 pienenee koulutettujen työntekijöiden suhteellisen palkan noustessa, sillä $\partial\theta_0 / \partial(w_H / w_L) = -\sigma(1-u)(w_H / w_L)^{-2} < 0$. Kuten luvun 2.1 mallissa, myös tässä koulutettujen työntekijöiden suhteellisen palkan nousu lisää kouluttautuneiden henkilöiden osuutta taloudessa. Yhtälö (3.2) vastaa luvun 2.1 mallin kriittisen kyvykkyystason yhtälöä (2.8), kun kouluttautumattomien henkilöiden työttömyysaste asetetaan nollaksi ja huomioidaan erot tehokkuusyksikköä kohden lasketun palkan notaatiossa.

Ottamalla huomioon kouluttamattoman työvoiman kitkatyöttömyysjaksot heidän tarjonnaksi saadaan yhtälöstä (2.9) $(1-u)\theta_0 N(t)$. Tässä on otettu huomioon se, että kouluttamattomista $(1-u)\cdot 100$ prosenttia on käytettävissä olevaa työvoimaa. Koulutetun työvoiman tarjonta on sama kuin yhtälössä (2.11).

3.1.2 Yritysten voiton maksimointi ja kansainvälinen kauppa

Lopputuotteiden tuotantoteknologiasta oletetaan, että yhden lopputuoteyksikön tuottamiseksi tarvitaan yksi yksikkö kouluttamatonta työvoimaa riippumatta tuotettavan lopputuotteen laadusta λ^j. Kaikilla laatutasoilla on siis voimassa tuotantofunktio $Q(l)=l$ ja kustannusfunktio on muotoa

(3.3) $$A(w_L)Q(l)=w_L Q(l),$$

jossa $A(w_L)=w_L$ on tuotannon tasosta riippumaton yksikkökustannusfunktio, joka asetetaan yhdeksi:

(3.4) $$A(w_L)=1.$$

Tällöin lopputuotteiden tuotannon rajakustannus on yksi. Yritykset kilpailevat kuten luvussa 2.1 Bertrand-hintakilpailuasetelmassa. Laatujohtajan globaalin voittovirran määrittelee yhtälö (2.14). Laatujohtajan odotettu voitto vastaa muutoin yhtälöä (2.18a), mutta nyt on otettava huomioon, että yritys voi aloittaa lopputuotteiden tuotannon vasta kun se on rekrytoinut riittävän määrän työntekijöitä. Kun työpaikkojen kohtaantoprosessiin kuluva aika on y, rekrytoi hetkellä t innovaation tehnyt yritys aikavälillä $(t,t+y)$ ja aloittaa tuotannon hetkellä $t+y$. Voittojen diskonttaamiseksi innovaation tekohetkeen yhtälön (2.18a) oikea puoli on kerrottava diskonttotekijällä $e^{-\rho y}$. Laatujohtajan odotetun voiton lausekkeeksi saadaan tällöin

(3.5) $$\Pi(t)=e^{-\rho y}\frac{\pi_l^G(t)}{2I+\rho-n}.$$

Edustavan yrityksen i tuotekehityspalvelutuotannon tuotantofunktion toimialalla ω oletetaan olevan muotoa[32]

(3.6) $$I_i(\omega,t)=\frac{H_i(\omega,t)}{X(\omega,t)a},$$

jossa $H_i(\omega,t)$ on koulutetun työvoiman määrä ja $X(\omega,t)a$ on yhden tuotekehityspalveluyksikön tuottamiseen tarvittava määrä koulutettua työvoimaa. Tekijä $1/a$ voidaan tulkita tuotekehitystuotannon teknologiaparametriksi, jonka kasvu (a:n pienentyessä) lisää koulutetun työvoiman työpanoksen tuottavuutta. Yhtälön (3.6) mukaisessa spesifikaatiossa tuotekehityspalvelutuotannon yksikkökustannusfunktio yksinkertaistuu luvun 2.1 yleisestä muodosta muotoon $B(w_H)=aX(\omega,t)w_H$. Tuotekehityspalveluiden kustannusfunktio on tällöin muotoa $[aX(\omega,t)w_H]I_i(\omega,t)$. Yhtälön (3.6) mukaan $I_i(\omega,t)X(\omega,t)a=H_i(\omega,t)$ ja sijoittamalla se edelliseen kustannusfunktion lauseke saadaan muotoon $w_H(\omega,t)H_i(\omega,t)$. Tyypillisen tuotekehityskilpaan osallistuvan yrityksen odotettu diskontattu voitto tuotekehityksestä marginaalisen lyhyellä aikavälillä dt on tällöin muotoa

(3.7) $$\Pi(\omega,t)I_i(\omega,t)dt-w_H(\omega,t)H_i(\omega,t)dt.$$

Lausekkeen (3.7) jälkimmäinen termi on tuotantoteknologian suhteen tehtyjen lisärajoitusten seurauksena analyyttisesti yksinkertaisemmassa muodossa kuin luvun 2.1 mallin lausekkeessa

---

32 $I_i(\omega,t)$ on Dinopolouksen ja Segerstromin (1999a) mallissa muotoa

$$I_i(\omega,t)=\frac{Al_i(\omega,t)^{\alpha}h_i(\omega,t)^{1-\alpha}}{X(\omega,t)},$$

jossa $h_i(\omega,t)$ ja $l_i(\omega,t)$ ovat yrityksen *i* tuotekehitystyöhön palkkaama koulutetun ja kouluttamattoman työvoiman määrä, $A>0$ ja $\alpha>0$ ovat eksogeenisia teknologiaparametreja ja $X(\omega,t)$ on tuotekehityksen vaikeutumista ajan myötä kuvaava funktio, jonka kukin yritys ottaa annettuna.

(2.19). Asettamalla yhtälö (3.7) nollaksi ja ottamalla huomioon, että $I_i(t) = H_i(t)/X(t)a$, saadaan tuotekehityspalvelutuotannon voitonmaksimoinnin ehdoksi nyt

(3.8) $$\frac{\Pi(t)}{X(t)} = aw_H .$$

Yhtälö (3.8) vastaa yhtälöä (2.20) tilanteessa, jossa ainoastaan koulutettua työvoimaa voidaan käyttää tuotekehitystuotannossa. Vasen puoli on innovaation suhteellinen hinta ja oikea puoli on tuotekehityksen rajakustannus. Merkitään jatkossa tämän spesifikaation mukaista innovaation suhteellista hintaa $\widetilde{S}(t)$:llä. Koska kouluttamattomien työntekijöiden palkka on mallissa asetettu yhdeksi, kertoo w_H korkeasti koulutetun työvoiman suhteellisen palkan ($w_H / w_L = w_H / 1$). Mitä suuremman arvon $\widetilde{S}(t)$ saa, sitä arvokkaampia innovaatiot ovat ja sitä suurempi tuotekehitykseen tehty panostus on yritykselle optimaalista. Yhtälö (3.8) kytkee yhteen innovaation suhteellisen hinnan $\widetilde{S}(t)$ ja koulutetun työvoiman suhteellisen palkan w_H siten, että edellisen noususta seuraa suoraan jälkimmäisen nousu. Yhtälön mukaan koulutettujen työntekijöiden palkka on innovaation suhteellisen hinnan lineaarinen funktio. Tämä seuraa siitä, että oletetun tuotantorakenteen seurauksena tuotekehityspalvelutuotannossa käytetään vain koulutettua työvoimaa.

Luvun 2.1.2.2 kuviossa 2.2 esitetty tasapainopalkkojen graafinen tarkastelu innovaation hinnan suhteen yksinkertaistuu tämän luvun mallin kehikossa tilanteeksi, jossa kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden palkat ovat vakioita toistensa suhteen. Kouluttamattomien työntekijöiden palkka $w_L = 1$, joka muodostaa vaakasuoran kuvaaja (w_H, w_L)-koordinaatistossa. Koulutettujen työntekijöiden palkka $w_H = \widetilde{S}/a$ on pystysuora kuvaaja samassa koordinaatistossa. Innovaation suhteellisen hinnan $\widetilde{S}$ nousu kasvattaa koulutettujen työntekijöiden palkkaa w_H kouluttamattomien työntekijöiden palkan w_L pysyessä vakiona.

3.1.3 Tuotannontekijämarkkinoiden tasapaino

Mallissa vallitsee tuotannontekijämarkkinoiden tasapaino, kun sekä koulutettujen että kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinat ovat tasapainossa. Koulutettua työvoimaa käytetään ainoastaan lopputuotannossa ja sen kysyntä on lopputuotteiden tuotantofunktiota koskevien oletusten mukaan yhtä suuri kuin tuotettujen lopputuotteiden määrä. Luvussa 3.1.1 kouluttamattoman työvoiman tarjonnaksi johdettiin $(1-u)\theta_0 N(t)$. Koulutetun työvoiman kysyntä saadaan ratkaistua suoraan tuotekehityspalveluiden tuotantofunktion yhtälöstä (3.5) ja se on $H(\omega,t)=I(\omega,t)X(\omega,t)a$. Koulutetun työvoiman tarjonta on sama kuin luvun 2.1 mallissa, kun γ asetetaan nollaksi. Asettamalla kysynnät ja tarjonnat yhtä suuriksi ja jakamalla väestön määrällä $N(t)$, saadaan kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehtojen yhtälöiksi

(3.9) $$(1-u)\theta_0 = \frac{c(t)}{\lambda}$$ ja

(3.10) $$\frac{\left(1-\theta_0^2\right)}{2}\phi = a\Omega I(t)x(t).$$

Yhtälöt (3.9) ja (3.10) vastaavat luvun 2.1 mallin yhtälöitä (2.21) ja (2.22). Yhtälö (3.9) saadaan järjestettyä muotoon

(3.11) $$c(t) = \lambda(1-u)\theta_0,$$

joka kytkee kokonaiskulutuksen henkeä kohden kouluttamattomien henkilöiden työttömyysasteeseen ja heidän osuuteensa koko väestöstä. Toimialojen symmetrisyydestä johtuen kunkin toimialan tuotetta kulutetaan yhtä paljon. Koska lopputuotannossa käytetään panoksena ainoastaan kouluttamatonta työvoimaa, θ_0:n lasku tai u:n nousu, ceteris paribus, johtaa lopputuotannon supistumiseen, josta seuraa kulutuksen henkeä kohden lasku.

3.1.4 Työpaikkojen kohtaantoprosessi

Tuotekehityskilvan voittaneen yrityksen on rekrytoitava riittävä määrä kouluttautumattomia työntekijöitä aloittaakseen uuden tuotteen tuotannon. Työntekijöiden rekrytointi ei kuitenkaan onnistu hetkessä. Uuden laatujohtajan rekrytoidessa markkinoita hallitsee väistyvä laatujohtaja. Kun uusi laatujohtaja on saanut rekrytoitua riittävän määrän kouluttamattomia työntekijöitä, se aloittaa tuotannon ajaen samalla väistyvän laatujohtajan ulos markkinoilta. Väistyvä yritys irtisanoo lopputuotannossa panoksena käytetyn kouluttamattoman työvoiman, jolloin irtisanotut työntekijät siirtyvät työttömiksi. Sener (2001) kutsuu tämän kaltaista tuotekehityskilpojen seurauksena sykleittäin syntyvää työvoiman endogeenista uudelleen-allokoitumisen ja aikaavievän työpaikkojen kohtaantoprosessin yhdistelmän tuottamaa kitka-työttömyyttä *schumpeterilaiseksi työttömyydeksi*. Tästä työttömyyden muodosta hän erottaa *biologisen työttömyyden,* joka on seurausta väestön kasvusta.[33]

3.1.4.1 Avoimet työpaikat ja työvoimavirrat

Työpaikkojen kohtaantoprosessin mallinnus perustuu Christopher A. Pissaridesin alulle panemaan ja hänen ohellaan monien muiden kehittelemään tasapainotyöttömyyden teoriaan. Pissaridesin (2000) mallin keskeisenä ajatuksena on, että työmarkkinoilla tapahtuva vaihto on hajautunutta taloudellista toimintaa, jossa työpaikkojen kohtaamisia ei koordinoida täydellisesti ja kohtaannot tapahtuvat satunnaisesti. Hänen mukaansa ”vaihto työmarkkinoilla on ei-triviaalia taloudellista toimintaa heterogeenisuuksista, kitkoista ja epätäydellisestä informaatiosta johtuen. Jos kaikki työntekijät olisivat keskenään samankaltaisia, kaikki työpaikat olisivat samanlai-

[33] Mallissa väestön kasvun seurauksena syntyvä työttömyys seuraa ensikertaa työmarkkinoille tulevien henkilöiden etsimisjaksosta.

sia ja lisäksi olisi saatavilla täydellinen informaatio niiden sijainnista, vaihto olisi triviaalia." (Pissarides, 2000, s.4)

Työpaikan kohtaannolla tarkoitetaan tapahtumaa, jossa avointa työpaikkaa hallussaan pitävä yritys ja työtä etsivä työntekijä kohtaavat ja muodostavat työpaikan. Avointa työpaikkaa hallussa pitävän yrityksen ja työnhakijan kohtaamisen tuloksena ei välttämättä synny työpaikkaa, mikäli työsopimuksesta ei päästä yhteisymmärrykseen ja toinen osapuoli hylkää sen. Tämä voi seurata esimerkiksi yrityksen tarjoamasta liian alhaisesta palkasta tai työntekijän soveltumattomuudesta työtehtävään.

Sener (2001) mallintaa kohtaantoprosessin mukaillen Aghionia ja Howittia (1994). Aghionin ja Howittin malli on muunnos Pissaridesin (2000) teoriasta, josta se poikkeaa siten, että teknologian ajatellaan olevan työpaikkaan kiinnitettyä, ja uuden teknologian käyttöönotto edellyttää työsuhteen irtisanomista ja uuden luomista. Kun uusi työpaikka luodaan, säilyy siihen luomishetkellä liitetty teknologia tulevilla periodeilla perustamishetken tasolla. Teknologia kehittyy eksogeenista vauhtia ja uusi teknologia on kaikkien saatavilla. Hyödykkeiden hinnat nousevat työpaikkojen tuottavuuden nousun myötä samaa vauhtia kuin teknologia kehittyy. Näin perustettu työpaikka, jonka teknologia taso on vakio, muuttuu ajan myötä kannattamattomaksi ja työntekijä irtisanotaan, jotta voidaan luoda avoin työpaikka, johon voidaan liittää uusin teknologia. Teknologisen kehityksen myötä syntyy työttömyyttä kun yritysten toiminta aiheuttaa työvoiman uudelleenallokoitumista aikaavievän kohtaantoprosessin kautta.

Aghionin ja Howittin (1994) mallin keskeinen tulos Senerin (2001) asetelman kannalta on endogeenisen kasvun vaikutusten analyysi työttömyyteen. Endogeenisen kasvun tilanteen tarkastelussa oleellista on, että ainoa kasvun lähde on innovaatiot. Aghion ja Howitt (1994, s.488) päätyvät tulokseen, jonka mukaan innovaatioiden kasvanut tiheys eli niiden saapumisasteen kasvu ei vaikuttaisi työttömyyteen, sillä se kasvattaa sekä tuhoutuvien yritysten että luotavien yritysten määrää. Senerin (2001) mallissa innovaatioiden tiheyden kasvu kuitenkin lisää työttömyysastetta. Ero johtuu yrityksen korvautumismekanismin mallinnuksen eroista. Senerin (2001) mallissa jokaisella kerralla innovaation syntyessä vanhoista tuotteista ja niitä tuottavista työpaikoista tulee hyödyttömiä, josta seuraa irtisanomisia. Toisaalta innovaation tekevä yritys perustaa vastaavan määrän työpaikkoja kuin tuhoaa. Näin luotavien ja tuhoutuvien työpaikkojen määrä on aina yhtä suuri mallin rakenteesta seuraten. Aghionin ja Howittin (1994) endogeenisen kasvun mallissa uusien yritysten syntymisastetta määrittää innovaatioiden tiheys, mutta yritysten tuhoutumista määrittää vähitellen nousevat suhteelliset työvoimakustannukset. Työpaikkojen luomisen ja tuhoutumisen erilliset mekanismit teettävät Aghionin ja Howittin malliin yhden lisäyhtälön. Tämä yhtälö määrittelee työllisyyden riippumattomaksi innovaatioiden tiheydestä.[34]

Senerin (2001) mallissa kouluttamaton työvoima etsii työtä kaiken aikaa riippumatta siitä onko henkilö töissä vai ei (on-the-job search). Toisaalta tuotekehitystä tekevä yritys aloittaa rekrytoinnin vasta kun se on tehnyt innovaation. Työtä etsivät ainoastaan kouluttautumattomat työntekijät, joiden välillä ei ole eroja. Myöskään luotavissa avoimissa lopputuotannon työpaikoissa ei ole eroja. Tällöin aina työn hakijan ja avointa työpaikkaa hallussaan pitävän yrityksen kohdatessa muodostetaan työpaikka, jossa työntekijälle maksetaan palkkaa w_L. Senerin mallissa ei ole rekrytoinnista yritykselle aiheutuvaa kustannusta, joka on oleellinen tekijä Pissaridesin (2000) mallin tuloksille. Rekrytointikustannuksen puuttumisen seurauksena Senerin kohtaantomallissa työpaikkojen luomisehto[35] supistuu tavanomaiseksi työllisyyden rajatuottavuusehdoksi. Tällöin työpaikkojen tuhoutumisintensiteetin kasvu ei vaikuta avointen työpaikkojen luomiseen.[36] Lisäksi Senerin kohtaantomalli on yksinkertaistus Pissaridesin mallista siltä osin että Senerillä palkat määräytyvät suoraan rajatuottavuusehdosta, kun taas Pissaridesillä yritys ja työntekijä käyvät palkkaneuvotteluja ja työpaikasta saatava ylijäämä jaetaan Nash-neuvotteluratkaisun mukaan.

[34] Ks. Sener (2000, s.579).

[35] Ks. Pissarides (2000, s. 12).

[36] Innovaatiointensiteetin kasvu vaikuttaa työpaikkojen luomiseen uusien laatujohtajien ilmestymistiheyden kasvun seurauksena. Myös työpaikkojen tuhoutumisintensiteetti kasvaa innovaatiointensiteetin kasvun myötä, mutta se ei vaikuta yritysten päätöksentekoon uusien työpaikkojen luomisen suhteen, sillä rekrytointikustannus on nolla.

3.1.4.2 Kohtaantofunktio

Hetkellä t luotavien työpaikkojen määrää oletetaan kuvaavan kohtaantofunktio $m(V(t), L(t))$, jossa $V(t)$ on avointen työpaikkojen määrä ja $L(t)$ on kouluttamattoman työvoiman määrä eli työtä etsivien määrä kun työvoiman oletetaan etsivän uutta työpaikkaa kaiken aikaa. Kohtaantofunktion arvo kertoo sen, kuinka monta työpaikkaa luodaan tietyllä hetkellä. Kohtaantojen määrän oletetaan olevan sitä suurempi, mitä useampi henkilö etsii työpaikkaa ja mitä useampi työpaikka on avoinna. Kohtaantofunktio on siis avointen työpaikkojen $V(t)$ ja kouluttamattoman työvoiman $L(t)$ suhteen kasvava. Sen oletetaan lisäksi olevan konkaavi ja homogeeninen astetta yksi molempien argumenttiensa suhteen.

Keskimääräinen työpaikan löytymisaste ϖ on onnistuneiden kohtaantojen suhde työtä etsivien määrään, $\varpi(V(t), L(t)) = m(V(t), L(t))/L(t)$. Kohtaantofunktion asteen yksi homogeenisuuden seurauksena löytymisaste saadaan muotoon $\varpi(v(t)) = m(v(t), 1)$, jossa $v(t) = V(t)/L(t)$ ja se kertoo avointen työpaikkojen suhteellisen runsauden työnetsijöihin nähden. Vastaavasti keskimääräinen rekrytointiaste Θ on onnistuneiden kohtaantojen suhde avoimiin työpaikkoihin $\Theta(v(t)) = m(1, 1/v(t))$. Tasapainoisella kasvu-uralla vapaiden työpaikkojen ja kouluttamattoman työvoiman määrä kasvaa samaa vauhtia, jolloin $v(t)$ on vakio. Tämä on seurausta oletuksesta, jonka mukaan ilman väestön kasvua uusien avointen työpaikkojen määrä on vakio tasapainossa. Väestön kasvaessa kyseinen oletus muuttuu siten, että tasapainossa avointen työpaikkojen määrän on kasvettava samaa vauhtia kuin väestön. Tällöin myös löytymis- ja rekrytoimisaste, $\varpi(v(t))$ ja $\Theta(v(t))$, ovat vakioita ja niiden on toteutettava yhtälö $\varpi(v(t))L(t) = \Theta(v(t))V(t) = m(V(t), L(t))$, jonka mukaan löytyneiden työpaikkojen määrän on vastattava rekrytointien määrää. Edellisen yhtälön mukaan kohtaantojen määrän on kasvettava tasapainouralla samaa vauhtia kouluttamattoman työvoiman ja avointen työpaikkojen kanssa, joka vastaa väestön kasvuvauhtia. Lisäksi oletetaan, että $\Theta(0) = \varpi(\infty)$, $\Theta(\infty) = \varpi(0)$ ja $\varpi(v) > 0$ kaikilla $v > 0$.

3.1.4.3 Avointen työpaikkojen ja työttömyyden kehitys tasapainouralla

Tarkastellaan seuraavaksi avointen työpaikkojen määrän $V(t)$ kasvua. Tasapainouralla kunkin toimialan yrityksen i todennäköisyys saavuttaa laatujohtajuus marginaalisen lyhyellä aikavälillä $(t, t+dt)$ on $I_i dt$.[37] Tällöin todennäköisyys sille, että jokin tietyn kotimaisen toimialan yrityksistä voittaa tuotekehityskilvan ko. aikavälillä on $\sum_i I_i dt = Idt$. Koska toimialoja oletetaan olevan suuri määrä, kertoo Idt myös niiden toimialojen osuuden, joilla ko. aikavälillä kotimainen yritys voittaa tuotekehityskilvan. Kun rekrytointiin kuluva aika on y, hetkellä t tuotekehityskilvan voittanut yritys aloittaa lopputuotannon hetkellä $t+y$. Koska yhden lopputuotteen tuottamiseksi oletetaan tarvittavan yksi yksikkö kouluttamatonta työvoimaa, vastaa työvoiman kysyntä tuona hetkenä kokonaiskysyntää, joka on uusien laatujohtajien osuus ko. aikavälillä kerrottuna globaalilla kokonaiskysynnällä hetkellä $t+y$: $Idt \cdot 2cN(t+y)/\lambda$. Edelleen puolet laatujohtajista on kullakin hetkellä Kotimaassa. Tällöin aikavälillä $(t, t+dt)$ niiden toimialojen osuus, joilla kotimaista laatujohtajaa ei ole syrjäytetty, on $(1/2 - Idt)$. Nämä, samoin kuin ko. aikavälillä tuotekehityskilvan voittaneet yritykset hallitsevat lopputuotemarkkinoita täydellä varmuudella aikavälillä $(t+y, t+y+dt)$ ja niiden yhteenlaskettu osuus on $(1/2 - Idt) + Idt = 1/2$. Kyseisten yritysten on rekrytoitava lisää työvoimaa väestön kasvun myötä. Tämä väestönkasvusta johtuvan työvoiman lisätarve on $(1/2)(\beta - \delta)2cN(t+y)/\lambda$, jossa $\beta - \delta = n$. Lisäksi näiden yritysten on rekrytoitava työvoimaa työntekijöiden kuolinastetta vastaavasti: $(1/2)\delta 2cN(t+y)/\lambda$. Aikavälillä $(t, t+dt)$ haettavaksi ilmoitettavien avointen työpaikkojen määrä on siis

$$\overbrace{I\frac{2cN(t+y)}{\lambda}dt}^{\substack{\text{Innovaation tehneet yritykset}\\ \text{rekrytoivat tuotannon}\\ \text{aloittamiseksi.}}} + \overbrace{\frac{1}{2}\frac{(\beta-\delta)2cN(t+y)}{\lambda}dt}^{\substack{\text{Hallitsevat laatujohtajat}\\ \text{rekrytoivat markkinoiden}\\ \text{kasvaessa.}}} + \overbrace{\frac{1}{2}\frac{\delta 2cN(t+y)}{\lambda}dt}^{\substack{\text{Hallitsevat laatujohtaajat}\\ \text{rekrytoivat työntekijöiden}\\ \text{poistuessa työvoimasta.}}} =$$

[37] Huomaa, että tasapainouralla tuotekehityspalvelutuotannon intensiteetti on vakio, jolloin hetkellisen todennäköisyyden (intensiteetin) kertominen aikavälin pituudella antaa halutun todennäköisyyden. Tästä syystä myös aikaindeksi on jätetty pois notaatiosta.

$$I\frac{2cN(t+y)}{\lambda}dt+\frac{1}{2}\frac{\beta 2cN(t+y)}{\lambda}dt.$$

Avointen työpaikkojen muutos on haettavaksi ilmoitettavien avointen työpaikkojen määrä miinus työpaikat, jotka syntyvät työttömien työntekijöiden ja työnantajien löytäessä toisensa, $m(V(t),L(t))dt$:

$$\text{(3.12)} \qquad \dot{V}dt = I\frac{2cN(t+y)}{\lambda}dt+\frac{1}{2}\frac{\beta 2cN(t+y)}{\lambda}dt - m(V(t),L(t))dt.$$

Sijoittamalla edelliseen $m(V(t),L(t)) = \varpi(v)L(t)$ ja $N(t+y)=N(t)e^{ny}$ sekä huomioimalla, että yhtälön (2.9) mukaan $L(t)=\theta_0 N(t)$, ja että kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehdon määrittelevän yhtälön (3.11) mukaan $c(t)=\lambda(1-u)\theta_0$, saadaan työpaikkojen määrän kasvuyhtälöksi tasapainouralla

$$\text{(3.13)} \qquad \frac{\dot{V}}{V} = \frac{(2I+\beta)(1-u)e^{ny} - \varpi(v)}{v} \overset{as.}{=} n.$$

Luvun 3.1.4.2 mukaan avointen työpaikkojen määrän kasvun on oletuksen mukaan oltava tasapainouralla yhtä suuri kuin väestön kasvuasteen n.

Työttömien kouluttamattomien henkilöiden määrän $U(t)$ kasvu voidaan johtaa vastaavalla tavalla kuin avointen työpaikkojen kasvuaste. Globaalisti kaikkien laatujohtajien työllistämien henkilöiden määrä vastaa kokonaiskysyntää, joka on maiden symmetrisyyden johdosta $2\cdot cN(t)/\lambda$. Aikavälillä $(t,t+dt)$ syrjäytettävien laatujohtajien osuus on $2Idt$, jolloin syrjäytettyjen laatujohtajien irtisanoman työvoiman määrä on $2Idt\cdot 2\cdot cN(t)/\lambda$. Näistä laatujohtajista puolet toimivat Kotimaassa. Kotimaisten laatujohtajien syrjäytymisestä seuraavien irtisanomisien määrä on siis $2Idt\cdot cN(t)/\lambda$. Lisäksi työttömyys lisääntyy ko. aikavälillä syntymien myötä määrän $\beta L(t)dt$, ja vähenee kuolemien[38] myötä määrän $\delta L(t)dt$. Aikavälillä $(t, t+dt)$ työttömäksi joutuvien henkilöiden määrä on siis

$$I\frac{2cN(t)}{\lambda}dt + \beta L(t)dt - \delta L(t)dt.$$

Työttömyyden muutos on työttömiksi joutuneiden määrä miinus työpaikat, jotka syntyvät työttömien työntekijöiden ja työnantajien löytäessä toisensa, $m(V(t), L(t))dt$:

$$\dot{U}dt = I\frac{2cN(t)}{\lambda}dt + \beta L(t)dt - \delta L(t)dt - m(V(t), L(t))dt. \tag{3.14}$$

Sijoittamalla edelliseen $m(V(t), L(t)) = \varpi(v)L(t)$ ja huomioimalla, että yhtälön (2.9) mukaan $L(t) = \theta_0 N(t)$, ja että työmarkkinoiden tasapainoehdon määrittelevän yhtälön (3.11) mukaan $c(t) = \lambda(1-u)\theta_0$, saadaan työttömien määrän kasvuyhtälöksi tasapainouralla

$$\frac{\dot{U}}{U} = \frac{2I(1-u) + \beta - \delta u - \varpi(v)}{u} \overset{as.}{=} n. \tag{3.15}$$

Yhtälöistä (3.13) ja (3.15) voidaan ratkaista yksiselitteisesti tasapainoisen kasvu-uran rekrytointiaste $v^* > 0$, joka riippuu ainoastaan eksogeenisista muuttujista n ja y sekä kohtaantoteknologiasta funktion $\varpi(v)$ kautta.[39] Tutkimusongelmalle oleellinen työttömyyden ja innovaatiointensiteetin välinen yhteys voidaan ratkaista yhtälöstä (3.15), jolloin työttömyysasteen u yhtälöksi saadaan

---

[38] Tämä voidaan tulkita myös yleisemmin henkilöiden siirtymisenä pois työvoimasta.

[39] Liitteessä 8 ratkaistaan yhtälöiden (3.13) ja (3.15) muodostaman yhtälöryhmän ratkaisuksi yhtälö $\varpi(v)(e^{ny} - 1) - nv = \beta e^{ny}$, joka määrittelee implisiittisesti rekrytointiasteen $v = v^*$ mallin eksogeenisten muuttujien suhteen.

(3.16) $$u = 1 - \frac{\varpi(v)}{(2I + \beta)}.$$

Yhtälö (3.16) on nk. Beveridge-käyrä, joka on (u, v)-koordinaatistossa laskeva ja konveksi käyrä. Koska tasapainouralla avointen työpaikkojen suhteellinen osuus v^* on riippumaton u:sta ja I:stä ja vakio, määrittelee yhtälö (3.16) kouluttamattomien työttömyysasteen endogeenisista muuttujista ainoastaan innovaatiointensiteetin I suhteen. Yhtälön mukaan sekä innovaatiointensiteetin I että syntyvyysasteen β kasvu lisää kouluttamattoman työvoiman työttömyysastetta u. Siinä mallin työttömyys tiivistyy kahteen osaan: Ensinnäkin jatkuva innovaatio luo *schumpeterilaista työttömyyttä,* kun teknologisesti syrjäytetyt yritykset joutuvat irtisanomaan työntekijänsä. Toiseksi väestön kasvu aiheuttaa *biologista työttömyyttä,* kun jokainen työpaikkaa ensimmäistä kertaa hakeva henkilö ei löydä sitä välittömästi. Taloudessa, jossa ei tehdä tuotekehitystä eli jossa innovaatiointensiteetti on nolla (schumpeterilainen kasvuaste on nolla), työttömyyttä aiheutuu ainoastaan biologisen työttömyyden johdosta. Sener (2001) olettaa artikkelissaan, että tasapainoisella kasvu-uralla innovaatioaste on suurempi kuin nolla, ja että $\varpi(v^*) > \beta$, jolloin ainoastaan biologinen työntekijöiden vaihtuvuus ei ole yksinään riittävää työttömyyden syntymiseksi.

Huomautetaan vielä luvun lopuksi, että kouluttamattoman työvoiman työttömyysastetta u tarkastelemalla ei saada selville kokonaiskuvaa maan työttömyydestä. Tämä johtuu siitä, että kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden osuus taloudessa on mallissa endogeeninen muuttuja. Talouden keskimääräinen työttömyysaste $u_A = U(t)/N(t)$ kuvaa koko maan työttömyyttä. Koska työttömien määrä $U(t)$ on osuus u kaikista kouluttamattomista, on se $u\theta_0 N(t)$. Keksimääräiseksi työttömyysasteeksi saadaan tällöin $u_A = u\theta_0$, jossa on huomioitu kouluttamattomien työntekijöiden osuus koko työvoimasta.

3.1.5 Mallin tasapainon olemassaolo ja ominaisuudet

Mallin tasapainoisella kasvu-uralla tuotannontekijä- ja lopputuotemarkkinat ovat tasapainossa, yritykset ansaitsevat nollavoittoja tuotekehitystuotannosta ja mallin tasapainon kuvaamiseen tarvittavat endogeeniset muuttujat ovat vakioita ajan suhteen. Sener (2001) ratkaisee mallin tasapainon muodostamalla kahden yhtälön yhtälöryhmän tuotekehityksen nollavoittoehdon yhtälöstä (3.8) ja koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehdon yhtälöstä (3.10), ja käyttämällä mallin muita yhtälöitä näiden ratkaisemiseksi kahden endogeenisen muuttujan, θ_0 :n ja I :n, suhteen. Tässä mallia tarkastellaan poiketen Senerin esityksestä ratkaisusta siten, että kyseinen yhtälöryhmä muodostetaan kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehtojen yhtälöistä (3.9) ja (3.10), kuten luvussa 2.1.

Yhtälöistä (2.14), (3.5) ja (3.8) saadaan ratkaistua kysynnäksi henkeä kohden $c(t)/\lambda = aw_H xe^{\rho y}(\rho + 2I - n)/K(\tau)$.[40] Ottamalla huomioon, että $w_L = 1$, yhtälön (3.2) mukaan $w_H = \sigma(1-u)/\theta_0$. Sijoittamalla edelliset tulokset koulutettujen ja kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoiden tasapainoehtojen yhtälöihin (3.9) ja (3.10) saadaan

(3.17) $$(1-u)\theta_0 = ax\left[\frac{\sigma(1-u)}{\theta_0}\right]e^{\rho y}(\rho + 2I - n)K(\tau)^{-1}$$ ja

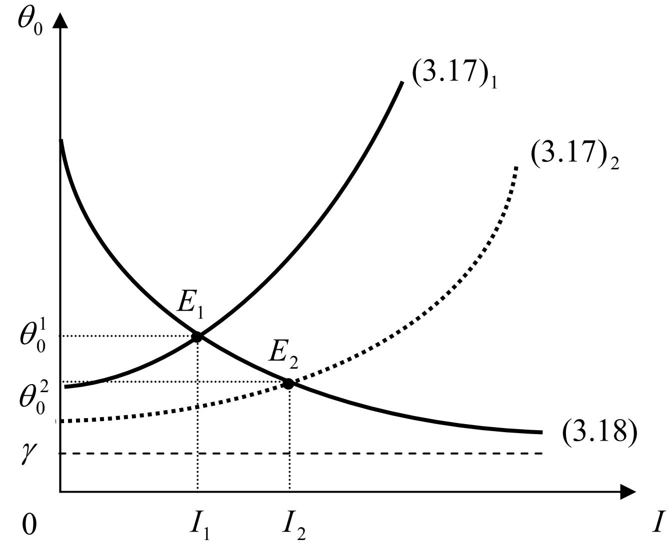
(3.18) $$\frac{\left(1-\theta_0^2\right)}{2}\phi = a\Omega Ix.$$

Yhtälöt (3.17) ja (3.18) muodostavat kahden yhtälön yhtälöryhmän, jossa on kolme tuntematonta muuttujaa, θ_0, x ja I. Mallin yksiselitteiseksi ratkaisemiseksi tarvittava kolmas yhtälö saadaan valitsemalla tuotekehityksen vaikeuden X spesifikaatioksi yhtälön (2.16) mukainen PEG-malli, jonka mukaan $x = k$.[41] Sijoittamalla se yhtälöihin (3.17) ja (3.18) saadaan muodostettua kahden yhtälön yhtälöryhmä, jossa on kaksi tuntematonta muuttujaa, θ_0 ja I. Näiden yhtälöiden kuvaajat (I, θ_0)-koordinaatistossa ovat vastaavat kuin kuviossa 2.3. Liit-

---

[40] Ratkaisu noudattaa samaa logiikkaa kuin vastaavan tuloksen johtaminen luvussa 2.1.4.

[41] Vaihtoehtoisesti voidaan tarkastella TEG-mallin mukaista spesifikaatiota tuotekehityksen vaikeudelle. Mallin formaali tarkastelu tehdään tässä kuitenkin vain mallin PEG versiolle. Mallin TEG version palkkoja ja tuotannontekijöiden suhteellisia osuuksia koskevat tulokset eivät poikkea mallin PEG version tuloksista. TEG versiossa kaupan vapautumisen vaikutukset eivät lisää kouluttamattomien työttömyysastetta, vaan se pysyy vakiona. Jäljempänä osoitetaan, että PEG versiossa kouluttamattomien työttömyysaste nousee kaupan vapautumisen seurauksena.



Kuvio 3.1. Tullimaksun laskun vaikutus kouluttamattomien osuuteen ja innovaatiointensiteettiin kitkatyöttömyysmallissa.

teessä 8 osoitetaan, että yhtälön (3.17) kuvaaja on nouseva ja yhtälön (3.18) laskeva (I, θ_0)-koordinaatistossa ja että yhtälön (3.17) kuvaaja leikkaa θ_0 -akselin alempana kuin yhtälön (3.18) kuvaaja. Tällöin kyseisten yhtälöiden kuvaajien on leikattava toisensa yhdessä (I, θ_0)-koordinaatiston ensimmäisen neljänneksen pisteessä, joka määrittelee tasapainon toteuttavat muuttujien θ_0 ja I arvot.

Työttömyysasteen u muutos vaikuttaa yhtälön (3.17) molempiin puoliin saman suuntaisesti. Työttömyysasteen kasvu vähentää yhtälön vasemman puolen kouluttamattoman työvoiman tarjontaa, sillä kouluttamattomat viettävät yhä suuremman osuuden potentiaalisista työskentelypäivistään etsien töitä. Toisaalta kouluttamattomien työttömyysasteen nousun seurauksena laskenut kouluttamattoman työvoiman tarjonta nostaa kouluttamattomien suhteellista palkkaa verrattuna koulutettujen suhteelliseen palkkaan. Tämä ilmenee termin $\sigma(1-u)/\theta_0$ laskuna. Kouluttamattomien suhteellisen palkan noususta seuraa heidän kysynnän lasku lopputuotannossa. Nämä kaksi työttömyyden muutoksen vaikutuskanavaa pitävät kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinat tasapainossa, kun ainoastaan kouluttamattomien työttömyysaste muuttuu.[42] Tämän seurauksena työttömyysasteen muutos, ceteris paribus, ei vaikuta yhtälöiden (3.17) ja (3.18) määrittelemiin I :n ja θ_0 :n tasapainoarvoihin.

3.2 Ulkomaankaupan kustannusten lasku, suhteelliset palkat ja kitkatyöttömyys

Kaupan vapautumisen vaikutusten tarkastelemiseksi esitetään aluksi seuraava väite.

Väite 3.1. Kansainvälisen kaupan vapautuessa (τ alenee) (i) koulutetun työvoiman suhteellinen palkka w_H nousee, kun $I > (2/3)I^{\max} - 6\beta$, jossa $I^{\max}$ on suurin mahdollinen innovaatiointensiteetti koko väestön kouluttautuessa, (ii) koulutettujen työntekijöiden osuus $(1-\theta_0)$ kasvaa ja (iii) kouluttamattomien työntekijöiden työttömyysaste u kasvaa.

Todistus: Ks. liite 9.

Kuvio 3.1 kuvaa tullimaksun laskun vaikutusta. Tullimaksun τ lasku kasvattaa laatujohtajan voittomarginaalia $K(\tau)$, jolloin yhtälön (3.17) oikea puoli pienenee. Kun I pidetään vakiona, on θ_0 pienennyttävä. Kullakin I :n arvolla θ_0 :n on siis oltava pienempi, joka ilmenee yhtälön (3.17) kuvaajan siirtymisenä alaspäin. Toisaalta voittomarginaalin kasvun seurauksena tuotekehitysintensiteetti I lisääntyy. Tämä kasvattaa koulutetun työvoiman kysyntää tuotekehitystuotannossa (yhtälön (3.18) oikeata puoli kasvaa), jolloin siirrytään pitkin yhtälön (3.18) kuvaajaa uuteen tasapainoon E_1. Koulutetun työvoiman lisääntynyt suhteellinen kysyntä kasvattaa heidän suhteellista palkkaa w_H tavanomaisen kysyntämekanismin välityksellä. Palkan nousu kannustaa yhä useampaa henkilöä kouluttautumaan, jolloin kasvanutta kysyntää vastaamaan syntyy lisää koulutetun työvoiman tarjontaa säilyttäen työmarkkinoiden tasapainon.

[42] Termi $(1-u)$ eliminoituu yhtälöstä (3.17).

Edellä esitetyn seurauksena sekä koulutetun työvoiman osuus $(1-\theta_0)$ että innovaatiointensiteetti I ovat korkeammalla tasolla uudessa tasapainossa E_2.

Tuotekehitysintensiteetin kasvun seurauksena lopputuotannossa käytettävän kouluttamattoman työvoiman vaihtuvuus lisääntyy, kun laatujohtajien tuotteiden elinkaari lyhenee. Irtisanomisten välinen aika on tällöin lyhyempi. Vaihtuvuuden lisääntyminen lisää kouluttamattomien työttömyyttä yhtälön (3.16) mukaisesti. Innovaatiointensiteetin kasvun vaikutukset keskimääräiseen työttömyysasteeseen u_A ovat kaksisuuntaiset. Ensinnäkin se kasvattaa sitä kouluttamattoman työvoiman vaihtuvuuden lisääntyessä. Toiseksi se pienentää sitä yhä useamman henkilön siirtyessä pois kouluttamattoman työvoiman työmarkkinoilta, joilla esiintyy kitkatyöttömyyttä, koulutetun työvoiman työmarkkinoille, joilla vallitsee täystyöllisyys. Kaupan vapautumisen nettovaikutus keskimääräiseen työttömyysasteeseen on positiivinen, mikäli innovaatiointensiteetti I on pienempi kuin sen kriittinen taso I^C.

3.3 Päätelmiä ja pohdintaa

Luvussa 3 sisällytettiin luvun 2 malliin kouluttamattomien työntekijöiden kitkatyöttömyys. Mallissa koulutetut työntekijät tekevät vain tuotekehitystä ja kouluttamattomat työntekijät tuottavat vain lopputuotantoa. Palkkaerojen suhteen tulokset ovat samat kuin luvussa 2. Lisäksi saatujen tulosten valossa taloudellinen integraatio kahden teollisuusmaan välillä on yhteydessä kouluttamattomien työntekijöiden työttömyysasteeseen. Ulkomaankaupan kustannusten lasku lisää yritysten tuotekehitysintensiteettiä, jonka seurauksena tuotteiden ja niitä valmistavien yritysten elinkaari lyhenee. Syrjäytyvä laatujohtaja lopettaa tuotantonsa ja irtisanoo työntekijänsä kun toimialalla tehdään uusi innovaatio. Tällöin tuotekehitysintensiteetin kasvu lisää irtisanomisten tiheyttä. Kun työmarkkinoiden kohtaantoprosessissa ei tapahdu muutoksia ja kohtaantoon kuluva aika pysyy entisellään, seuraa irtisanomisien tihentymisestä kitkatyöttömyyden kasvua.

Mallin tulokset soveltuvat sellaisille toimialoille, joissa lopputuotanto on vahvasti kouluttamattoman työvoiman suorittamaa ja tuotekehitys on hyvin koulutusintensiivistä. Lisäksi mallin työmarkkinoilla ei toimi työmarkkinajärjestöjä, jotka käyvät keksitettyjä palkkaneuvotteluja.

Analyysissä kitkatyöttömyyttä sallittiin ainoastaan kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoilla. Koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoiden oletettiin olevan kitkattomat, jolloin kouluttamaton työntekijä siirtyy heti uuteen työpaikkaan entisen työsuhteen päättyessä.

Tarkastellussa mallissa työmarkkinoiden kitkaisuus riippuu yhdestä endogeenisesta tekijästä, tuotekehitysintensiteetistä. Loput siihen vaikuttavat eksogeeniset tekijät ovat syntyvyysaste (uusien henkilöiden siirtyminen työvoimaan) ja työpaikkojen kohtaannon kesto sekä kohtaantoteknologia. Mallissa palkat asetetaan työvoiman rajatuottavuuden mukaan, eikä työntekijällä ole neuvotteluvoimaa työpaikan tuottaman ylijäämän suhteen. Tämä johtuu siitä, että työnantajalla ei ole työntekijän etsimiseen liittyviä kustannuksia.

4 Johtopäätökset

Tutkielmassa tarkasteltiin ulkomaankaupan kustannusten laskun ja koulutusryhmittäisten palkkaerojen sekä kouluttamattomien kitkatyöttömyyden välistä yhteyttä. Schumpeterilaiseen laatutikapuumalliin perustuvassa teoreettisessa analyysissä ulkomaankaupan kustannusten laskun osoitettiin lisäävän kouluttamattomien ja koulutettujen työntekijöiden välistä palkkaeroa, kun tullimaksun lasku aiheutti tuotannon siirtymistä lopputuotannosta tuotekehitykseen, jonka oletettiin olevan koulutusintensiivistä. Tuotannon siirtyminen seurasi epätäydellisiä lopputuotemarkkinoita globaalisti hallitsevan laatujohtajan voittovirran kasvusta, kun ulkomaanmarkkinoilta saatava voittomarginaali kasvoi. Tämä kasvatti tuotekehityksen odotettua voittoa ja lisäsi yritysten tuotekehitysinvestointeja. Samalla koulutettujen työntekijöiden suhteellisen palkan kasvusta seurasi väestön koulutusasteen nousu, kun yhä useamman henkilön oli kannattavaa kouluttautua.

Yritysten tuotekehitysinvestointien kasvun seurauksena tuotteiden elinkaari lyheni, kun tuotekehitysprojekteissa keksittiin aiempaa nopeammin uusi korkealaatuisempi tuote. Kun hallitseva laatujohtaja syrjäytyi lyhyemmän ajan kuluessa, lisääntyi syrjäytyvien laatujohtajien lopputuotannon lakkauttamisesta aiheutuvien irtisanomisten tiheys. Kun irtisanotut työntekijät eivät löytäneet uuttaa työpaikkaa välittömästi, vaan olivat etsintäajan työttöminä ennen uuteen työpaikkaan siirtymistä, syntyi työmarkkinoilla kitkatyöttömyyttä. Kitkatyöttömyys oli sitä suurempaa, mitä tiheämmin irtisanomisia tapahtui. Tuotteiden elinkaaren lyhentyminen lisäsi näin kitkatyöttömyyttä, jota analysoitiin kouluttamattomien työntekijöiden työmarkkinoilla. Koulutettujen työntekijöiden työmarkkinoilla oli täystyöllisyys, sillä yritykset jatkoivat tuotekehitysprojekteja edellisen päättyessä irtisanomatta työntekijöitä.

Tutkielman tuloksia tulkittaessa on huomattava, että palkkakehityksen tarkastelussa keskityttiin ainoastaan pakkaeroihin. Tuotekehitysintensiteetin kasvun seurauksena teknologia kehittyy aikaisempaa nopeammin, jolloin talouden kasvu kiihtyy. Tällöin kaikkien koulutusryhmien ostovoima kasvaa. Kasvuvaikutusten huomioon ottaminen johtaa tulokseen, jossa myös kouluttamattomien absoluuttinen palkka voi nousta, vaikka se laskisi suhteessa koulutettujen palkkaan.

Matemaattisten mallien perusteella tehtäviin johtopäätöksiin on aina syytä suhtautua varoen. Esitettyjen teoreettisten mallien pohjalta tehdyt johtopäätökset ovat perusteltuja sellaisessa kansantalouden osassa, jossa ulkomaankaupan kustannukset ovat merkittävä tekijä yritysten tuotekehitysinvestoinneista päätettäessä ja jossa yritykset eivät hajauta tuotantoaan eri maihin. Tällöin ulkomaankaupan kustannusten laskun seurauksena tuotekehitystoiminnan voidaan odottaa lisääntyvän.

Tuotekehitysprosessin mallintaminen voi olla joidenkin toimialojen osalta realistisempaa siten, että korkealaatuisimman tuotteen tuotantoteknologian tuntevalla yrityksellä (laatujohtajalla) olisi kilpailuetu tuotekehityksessä seuraavan sukupolven tuotetta kehitettäessä. Tällöin laatujohtajalla olisi suurempi todennäköisyys tehdä seuraava innovaatio. Tuotekehitysprojektiin liittyy usein myös aloittamiskustannuksia, joita ei ole sisällytetty malliin. Laatujohtajan tuotekehitysetu ja uuden toimialalle pyrkivän yrityksen tuotekehityksen aloittamiskustannukset saattavat aiheuttaa tilanteen, jossa tuotekehitys keskittyy yhteen toimialan yritykseen. Näiden vaikutusten analysointi voi olla kiinnostavaa jatkotutkimuksen kannalta.

Lähteet

ACEMOGLU, DARON (1999): Patterns of Skill Premia. *NBER Working Paper No. 7018.*

AGHION, PHILIPPE – HOWITT, PETER (1992): A Model of Growth Trough Creative Distruction. *Econometrica, 60, s. 323-351.*

———— (1994): Growth and Unemployment. *Review of Economic Studies, 61, s.477-494.*

BORSOOK, IAN (1987): Earnings, Ability and International Trade. *Journal of international economics.*

DE LA FUENTE, ANGEL (2000): Mathematical Methods and Models for Economists. Cambridge University Press, Cambridge.

DINOPOLOUS, ELIAS – SEGERSTROM, PAUL (1999a): The Dynamic Effects of Contingent Tariffs. *Journal of international economics, 47, s.191-222.*

———— (1999b): A Schumpeterian Model of Protection and Relative Wages. *The American Economic Review, 89, s. 450-472.*

DIOPOLOUS, E. – SYROPOLOUS, C. – XU, B. (1999): Intra-Industry Trade and Wage Income Inequality. *CIBER Working Paper Series No. 00-04. University of Florida. http://bear.cba.ufl.edu/centers/ciber/papers.html.* 5.5.2003.

EKHOLM, KAROLINA – KNARVIK, KAREN H. M. (2001): Relative Wages and Trade-induced Changes in Technology. *CEPR Discussion Paper No. 2677. Tulossa European Economic Review'ssa (2003).*

FINDLAY, RONALD – KIERZKOWSKI, HENRYK (1983): Human Capital and International Trade: A simple General Equilibrium Model. *Journal of Political Economy, 103, s. 759-784.*

GLAZER, A. – RANJAN, P. (2003): Preference heterogeneity, wage inequality, and trade. *Journal of International Economics, 60, s. 455-469.*

GROSSMAN, GENE M. – HELPMAN, ELHANAN (1991): Innovation and Growth in the Global Economy. The MIT Press. Cambridge.

GRAVELLE, HUGH – REESE, RAY (1992): Microeconomics. Second edition. Longman. London.

HARRIS, RICHARD, G. (1993): Globalization, Trade and Income. *The Canadian Journal of Economics, 26, s. 755-776.*

JONES, CHARLES I. (1995): R&D-based Models of Economic Growth. *Journal of political economy, 103.*

LAWRENCE, ROBERT – SLAUGHTER, MATTHEW J. (1993): Trade and U.S. Wages: Giant Sucking Sound or Small Hiccup? *Brookings Papers of Economic Activity, 1, s. 161-226.*

OAKLEY, ALLEN (1990): Schumpeter's theory of Capitalist Motion: A Critical Exposition and Reassessment. Edward Elgar Publishing Limited. Hants.

PISSARIDES, CHRISTOPHER A. (2000): Equilibrium Unemployment Theory. The MIT Press. Cambridge.

SEGERSTROM, PAUL – ANANT, T. C. A. – DINOPOLOUS, ELIAS (1990): A Schumpeterian Model of the Product Life Cycle. *American Economic Rewiew, 80, s. 1077-1091.*

SENER, FUAT (2001): Schumpeterian Unemployment, Trade and Wages. *Journal of International Economics, 54, s.119-148.*

——————— (2000): A Schumpeterian Model of Equilibrium Unemployment and Labour Turnover. *Journal of Evolutionary Economics, 10, s.557-583.*

STOLPER – SAMUELSON (1941): Protection and Relative Wages. *The Review of Economic Studies*, 9, s. 58-73.

THOENING, M. – VERDIER, T. (2000): Trade-Induced Technical Bias and Wage Inequalities; A Theory of Defensive Innovation. *CERP Discussion Paper No. 2401.*

UUSITALO, ROOPE (2002): Changes in the Finnish Wage Structure: Will Demand and Supply Do? *Scandinavian Journal of Economics, 104, s. 69-85.*

WIKELIN, KATHARINE (1998): Innovation end Export Behaviour at the Firm Level. *Research Policy, 26, s. 829-841.*

WOOD, ADRIAN (1994): North-South Trade, Employment and Inequality: Changing Fortunes in Skill-Driven World. Clarendon Press. Oxford.

WORLD BANK (1995): World Development Report 1995: Workers in an Integrating World. Oxford University Press.
WORLD BANK (1991): World Development Report 1991: The Challenge of Development. Oxford University Press.

Liite 1. Dynastisen perheen kulutuspäätös ja optimaalinen kulutus tasapainouralla

Tässä liitteessä johdetaan luvun 2 mallin dynastisen perheen optimaalinen kulutuspäätös. Todistus jakautuu kahteen osaan. Ensin johdetaan kuluttajan staattinen kysyntäfunktio. Tämän jälkeen johdetaan yli ajan kulkevan optimaalisen kulutusuran ominaisuudet.

Tarkastellaan aluksi kuluttajan hetkellistä kulutuspäätöstä, kun hän ottaa kyseisellä hetkellä käytettävissä olevat menot annettuna. Kuluttajan hyötyfunktio on muotoa

$$\varphi_\theta(t) = \prod_{\omega=1}^{\Omega}\left[\sum_j \lambda^j q_\theta(j,\omega,t)\right]^{\frac{1}{\Omega}} \qquad \Leftrightarrow$$

$$\log\varphi_\theta(t) = \frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log\left[\sum_j \lambda^j q_\theta(j,\omega,t)\right].$$

Kun kuluttaja valitsee vain korkealaatuisimman tuotteen laatutasolla $\tilde{j}$, jolloin $q_\theta(j,\omega,t) = 0$, kun $j = \{1,\ldots,\tilde{j}-1\}$, on hyötyfunktio muotoa

$$\log\varphi_\theta(t) = \frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log\left[\lambda^{\tilde{j}} q_\theta(\tilde{j},\omega,t)\right].$$

Kuluttaja maksimoi hyötyfunktion rajoitteenaan

$$c_\theta(t) = \sum_{\omega=1}^{\Omega} p(\tilde{j},\omega,t)q(\tilde{j},\omega,t),$$

jossa $c(t)$ on kokonaiskulutus, jonka kuluttaja ottaa hetkellä t annettuna. Jätetään nyt notaatiosta pois θ yksinkertaisuuden vuoksi. Tällöin optimointiongelman Lagrangen funktio on

$$L = \frac{\tilde{j}}{\Omega}\log\lambda + \frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log q(\omega,t) - \mu\left[c(t) - \sum_{\omega=1}^{\Omega} p(\omega,t)q(\omega,t)\right],$$

jossa μ on Lagrangen kertoja. Ensimmäisen kertaluvun ehdoiksi saadaan

$$\frac{\partial L}{\partial q(\omega_i,t)} = \frac{1}{\Omega q(\omega_i,t)} + \mu p(\omega_i,t) = 0\,,\ i = \{1,\dots,\Omega\} \qquad \text{ja}$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu} = -c(t) + \sum_{\omega=1}^{\Omega} p(\omega,t)q(\omega,t) = 0\,,$$

jotka muodostavat $\Omega + 1$ yhtälöä, joissa on $\Omega + 1$ tuntematonta muuttujaa. Ensimmäisen yhtälön mukaan

$$p(\omega_i,t)q(\omega_i,t) = -\frac{1}{\Omega\mu}\ \forall i \in \{1,\dots,\Omega\} \Leftrightarrow \sum_{\omega=1}^{\Omega} p(\omega,t)q(\omega,t) = \Omega\cdot\left(-\frac{1}{\Omega\mu}\right).$$

Toisaalta

$$\sum_{\omega=1}^{\Omega} p(\omega,t)q(\omega,t) = c(t) \Leftrightarrow c(t) = -\frac{1}{\mu}\,.$$

Sijoittamalla tämä yhtälöön $p(\omega_i,t)q(\omega_i,t) = -(\Omega\mu)^{-1}$ saadaan staattinen kysyntäfunktio

$$q(\omega,t) = \frac{c(t)}{p(\omega,t)\Omega}.$$

Tarkastellaan seuraavaksi optimaalista kulutuksen aikauraa. Todistuksen pääperiaatteet ovat de la Fuenten (2000) kirjan luvuista 12 ja 13. Tarkasteltava optimointiongelma on rakenteeltaan optimaalisen kontrollin ongelma, jossa päätöksentekohorisontti on ääretön. Ongelman ratkaisu on sellainen kulutuksen optimaalinen aikaura, joka maksimoi perheen diskontatun elinikäisen hyödyn ϑ. Optimointiongelman kohdefunktio on kotitalouden hetkellinen diskontattu hyötyfunktio ϑ, kontrollimuuttuja on kulutusmenofunktio $c(t)$ ja tilamuuttuja on kotitalouden hetkellinen varallisuus, jota merkitään jatkossa A:lla. Merkintöjen yksinkertaistamiseksi notaatiosta on jätetty pois indeksi θ.

Pontryaginin maksimiperiaatteen mukaiset ehdot perheen elinikäisen hyödyn optimoivalle kontrollimuuttujan $c^*(t)$ uralle ja optimin olemassaolon takaavat tranversaalisuus ehdot ovat:

(i) Kontrollimuuttuja maksimoi nykyarvoisen Hamiltonin funktion,
$c^*(t) = \arg \max_c H^C(c,A,l,t)$.

(ii) Tilamuuttujan liikelaki on voimassa.

(iii) Kertoimen $l(t)$ funktio toteuttaa yhtälön $-\partial H^C(t)/\partial A(t) = \dot{l}(t) - \rho l(t)$

(iv) $\lim_{t\to\infty} e^{-\rho t} l(t) \geq 0$ ja $\lim_{t\to\infty} e^{-\rho t} l(t) A(t) \geq 0$ (Transversaalisuus ehdot).

Tarkasteltava dynastisen perheen optimointiongelma on muotoa

$$\text{(L1.1)} \qquad \max_q \vartheta = \int_0^\infty e^{ns} N_0 e^{-\rho s} \frac{1}{\Omega} \sum_{\omega=1}^{\Omega} \log\left(\sum_j \lambda^j q(\omega,s)\right) ds$$

siten, että

(L1.2) $$W(t)+Z(t)=\int_t^{\infty} e^{ns} N_0 e^{-\rho s} c(s) ds,$$

Kun tuotelinjan ensimmäisen hyödykkeen hinnaksi asetetaan 1, on korkeimmanlaatuisen j-kertaa parannetun hyödykkeen hinta λ^j .† Sijoittamalla se yhtälön (2.4) staattiseen kysyntäfunktioon saadaan $q(\omega,t)=c(s)/\lambda^j\,\Omega$. Sijoittamalla edellinen perheen elinikäisen diskontatun hyödyn ϑ lausekkeeseen, saadaan

$$\vartheta=\int_0^{\infty} e^{ns} N_0 e^{-\rho s}\frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log\left(\sum_j \lambda^j \frac{c(s)}{\lambda^j\Omega}\right) ds=\int_0^{\infty} e^{ns} N_0 e^{-\rho s}\frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log\left(\sum_j \frac{c(s)}{\Omega}\right) ds=$$

$$\int_0^{\infty} e^{ns} N_0 e^{-\rho s}\frac{1}{\Omega}\sum_{\omega=1}^{\Omega}\log\left(j\frac{c(s)}{\Omega}\right) ds=\int_0^{\infty} e^{ns} N_0 e^{-\rho s}\log\left(j\frac{c(s)}{\Omega}\right) ds=\int_0^{\infty}\alpha(s)F(A,c,s) ds,$$

jossa $\alpha(t)=e^{-\rho t}$ on diskonttotekijä ja $F(A,c,t)=N_0 e^{nt}\log(jc(t)/\Omega)$ on perheen nykyarvoinen (diskonttaamaton) hyöty hetkellä *t*. Yhtälö (L1.2) on kotitalouden intertemporaalinen budjettirajoite. Sen mukaan kotitalouden elinikäinen varallisuus on yhtä suuri kuin elinikäisen kulutuksen arvo hetkestä *t* eteenpäin. Kotitalouden hetkellinen varallisuus on tuotekehitystä tekevien yritysten osakkeissa. Kotitalouden osakkeissa oleva hetkellinen varallisuus $A(t)$ hetkellä t joko suurenee tai pienenee riippuen siitä säästääkö vai kuluttaako kotitalous ko. hetkellä. Kotitalouden hetkellisen varallisuuden muutos on hetkellisen tulovirran ja kulutuksen erotus:

(L1.3) $$\dot{A}=\dot{Z}(t)+\dot{W}(t)-\dot{C}(t).$$

---

† Tämä seuraa siitä, että laatujohtaja rajahinnoittelee tuotteensa Bertrand-hintakilpailussa.

Sijoitusten odotettu tuotto on markkinakoron suuruinen ja kotitaloudet ottavat sen annettuna. Tällöin osakevarallisuuden $Z(t)$ muutos hetkellä *t* riippuu hetken *t* osakepääoman suuruudesta $A(t)$ ja korkotasosta $r(t)$. Sijoitusten nykyarvoinen hetkellinen tuotto on tällöin

(L1.4) $$\dot{Z}(t) = A(t)r(t).$$

Kulutuksen nykyarvoinen hetkellinen muutos on

(L1.5) $$\dot{C}(t) = \frac{d}{dt}\left(\int_0^{\infty}\left(e^{ns}N_0c(s)\right)ds\right) = e^{ns}N_0c(s),$$

jossa $C(t)$ on koko kotitalouden kulutus. Sijoittamalla yhtälöt (L1.4) ja (L1.5) yhtälöön (L1.3) saadaan tilamuuttujan liikeyhtälöksi

$$\dot{A} = A(t)r(t) + \dot{W}(t) - e^{ns}N_0c(s).$$

Ongelman nykyarvoinen Hamiltonin funktio on muotoa

$$H^C(c, A, l, s) = F(A, c, s) + l(s)\dot{A}(c, s) =$$

$$e^{ns}N_0 \log c(s) + l(s)\left(A(s)r(s) + \dot{W}(s) - e^{ns}N_0c(s)\right),$$

jossa kerroin $l(s)$ voidaan tulkita varallisuuden varjohinnaksi (de la Fuente, 2000, s.623). Yhtälön oikean puolen ensimmäinen termi on hetken *s* kulutuksesta saatu hyödyn lisäyksen nykyarvo ja toinen termi kertoo sijoitusten nykyarvoisen hyötyarvon muutoksen, joka riippuu kulutuspäätöksestä. Nykyarvoinen Hamiltonin funktio kertoo välittömän hyödyn, jonka hetken kulutus tuottaa sekä päätöksen vaikutuksen tulevaisuuden hyötyyn tilamuuttujan $A(t)$ muutoksen kautta (de la Fuente, 2000, s. 568)

Johdetaan nyt edellä spesifioidulle optimaalisen kontrollin ongelmalle kohtien (i)-(iv) mukaiset optimaalisen kulutusuran (kontrolliuran) ehdot. Kohta (i) on voimassa kun

$$\frac{\partial H^C(c, A, l, s)}{\partial c(s)} = 0 \Rightarrow \frac{e^{ns}}{c(s)} N_0 - l(s) e^{ns} N_0 = 0.$$

Jakamalla $e^{ns} N_0$:lla ja kertomalla $c(s)$:llä saadaan

(L1.6) $$l(s)c(s) = 1 .$$

Kohdan (ii) ehto on sijoitettu nykyarvoiseen Hamiltonin funktioon, jolloin se pätee yhtälön (L1.6) yhteydessä. Kohdan (iii) ehto on voimassa kun

$$-\frac{\partial H^C(t)}{\partial A(t)} = \dot{l}(t) - \rho l(t) \Leftrightarrow -\frac{\partial F(c(t), A(t))}{\partial A(t)} - l(s) \frac{\partial \dot{A}(c(t), A(t))}{\partial A(t)} = \dot{l} - \rho l(s) \Leftrightarrow$$

$$0 - l(s) \frac{\partial}{\partial A} \left(A(s) r(s) + \dot{W}(s) - e^{ns} N_0 e^{-[R(s) - R(t)]} c(s) \right) = \dot{l} - \rho l(s) \Leftrightarrow$$

$$-l(s) r(s) = \dot{l}(s) - \rho l(s),$$

josta saadaan järjestelemällä

(L1.7) $$\frac{\dot{l}}{l} = \rho - r(s) .$$

Yhtälöt (L1.6) ja (L1.7) voidaan yhdistää yhdeksi differentiaaliyhtälöksi, joka kuvaa kulutuksen optimaalista aikauraa (de la Fuente, 2000, s. 623). Ottamalla logaritmi puolittain yhtälöstä (L1.6) ja differentioimalla se ajan suhteen saadaan

$$\log c(s) + \log l(s) = 0 \Leftrightarrow \frac{\dot{l}(s)}{l(s)} + \frac{\dot{c}(s)}{c(s)} = 0 \, .$$

Sijoittamalla yhtälö (L1.7) edelliseen saadaan tulokseksi yhtälö (2.6):

$$\frac{\dot{\mathrm{c}}(\mathrm{s})}{c(s)} = r(t) - \rho \, .$$

Liite 2. Kriittinen kyvykkyysaste tasapainouralla

Kriittisen kyvykkyysasteen θ_0 johtamiseksi asetetaan epäyhtälö (2.7) yhtä suureksi. Asettamalla $t = 0$ saadaan

$$\int_0^D e^{-\rho s} w_L ds = \int_T^D e^{-\rho s} (\theta_0 - \gamma) w_H ds \Leftrightarrow$$

$$w_L \frac{1}{-\rho} \int_0^D -\rho e^{-\rho s} ds = (\theta_0 - \gamma) w_H \frac{1}{-\rho} \int_T^D -\rho e^{-\rho s} ds \Leftrightarrow$$

$$w_L \frac{1}{-\rho} \left(e^{-\rho D} - 1\right) = (\theta_0 - \gamma) w_H \frac{1}{-\rho} \left(e^{-\rho D} - e^{-\rho T}\right) \Leftrightarrow$$

$$\theta_0 = \frac{\left(1 - e^{-\rho D}\right)}{\left(e^{-\rho T} - e^{-\rho D}\right)} \frac{w_L}{w_H} - \gamma \, .$$

Liite 3. Koulutetun väestön määrä

Ratkaistaan yhtälön (2.10) koulutetun väestön määrän määrittelevä integraali.

Ottamalla huomioon, että $\beta = \left(ne^{nD}\right)/\left(e^{nD}-1\right)$ saadaan koulutetun väestön määrän hetkellä *t* määrittelevä integraali muotoon

$$\int_{t-D}^{t-T} \frac{ne^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(s)ds = \frac{ne^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)\int_{t-D}^{t-T} N(s)ds\,.$$

Koska väestö kasvaa eksogeenista vauhtia *n*, niin $N(s) = N_0 e^{ns} = N(t)e^{-nt}e^{ns} = N(t)e^{n(s-t)}$. Sijoittamalla saadaan

$$\frac{ne^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)\int_{t-D}^{t-T} e^{n(s-t)}N(t)ds = \frac{ne^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(t)\int_{t-D}^{t-T} e^{n(s-t)}ds =$$

$$\frac{ne^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(t)\left(\frac{1}{n}\right)\int_{t-D}^{t-T} ne^{n(s-t)}ds = -\frac{e^{nD}}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(t)\left(e^{n(t-T-t)}-e^{n(t-D-t)}\right) =$$

$$\frac{e^{nD}\left(e^{-nT}-e^{-nD}\right)}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(t) = \frac{e^{n(D-T)}-1}{e^{nD}-1}(1-\theta_0)N(t).$$

Liite 4. Laatujohtajan odotettu diskontattu voitto

Osoitetaan, että suorittamalla yhtälön (2.18a) integrointi saadaan tulokseksi yhtälö (2.18b).

$$\Pi(t)=\left[\int_0^\infty 2Ie^{-2I\eta}\left(\int_0^\eta e^{-\rho s}e^{ns}\pi_l^G(t)ds\right)d\eta\right]=\left[\int_0^\infty 2Ie^{-2I\eta}\left(\pi_l^G(t)\int_0^\eta e^{-s(\rho-n)}ds\right)d\eta\right]=$$

$$\left[\int_0^\infty 2Ie^{-2I\eta}\left(\pi_l^G(t)\frac{1}{-(\rho-n)}\int_0^\eta -(\rho-n)e^{-s(\rho-n)}ds\right)d\eta\right]=$$

$$\left[\int_0^\infty 2Ie^{-2I\eta}\left(-\pi_l^G(t)\frac{1}{\rho-n}\left(e^{-\eta(\rho-n)}-1\right)\right)d\eta\right]=\left[-\pi_l^G(t)\frac{2I}{\rho-n}\int_0^\infty e^{-2I\eta}\left(e^{-\eta(\rho-n)}-1\right)d\eta\right]=$$

$$\left[-\pi_l^G(t)\frac{2I}{\rho-n}\int_0^\infty e^{(-2I-\rho+n)\eta}-e^{-2I\eta}d\eta\right]=$$

$$\left[-\pi_l^G(t)\frac{2I}{\rho-n}\left[\frac{1}{-2I-\rho+n}\int_0^\infty(-2I-\rho+n)e^{(-2I-\rho+n)\eta}d\eta-\frac{1}{-2I}\int_0^\infty -2Ie^{-2I\eta}d\eta\right]\right].$$

Kun $-2I-\rho+n<0\Rightarrow\lim_{\eta\to\infty}\left(e^{(-2I-\rho+n)\eta}\right)=0$ edellinen lauseke saadaan muotoon

$$\left[-\pi_l^G(t)\frac{2I}{\rho-n}\left[\frac{1}{-2I-\rho+n}(0-1)-\frac{1}{-2I}(0-1)\right]\right]=$$

$$\left[-\pi_l^G(t)\frac{2I}{\rho-n}\left[\frac{1}{2I+\rho-n}-\frac{1}{2I}\right]\right]=\left[-\pi_l^G(t)\frac{1}{\rho-n}\left[\frac{2I}{2I+\rho-n}-1\right]\right]=$$

$$\left[\pi_l^G(t)\frac{1}{n-\rho}\left[\frac{n-\rho}{2I+\rho-n}\right]\right]=\frac{\pi_l^G(t)}{2I+\rho-n}.$$

Liite 5. Väitteen 2.1 todistus.

Kouluttautuneiden suhteelliset intensiivisyydet lopputuotannossa ja tuotekehityksessä saadaan käyttämällä Shepardin lemmaa (ks. kappale 2.1.3) ja ne ovat

$$\frac{\dfrac{\partial A(w_L, w_H)Q}{\partial w_H}}{\dfrac{\partial A(w_L, w_H)Q}{\partial w_L}} = \frac{A_H}{A_L} \qquad \text{ja} \qquad \frac{\dfrac{\partial B(w_L, w_H)X(\omega,t)I(\omega,t)}{\partial w_H}}{\dfrac{\partial B(w_L, w_H)X(\omega,t)I(\omega,t)}{\partial w_H}} = \frac{B_H}{B_L}.$$

Suhteellinen panosintensiivisyys kertoo kuinka monta yksikköä kouluttautunutta työvoimaa tuotannossa käytetään yhtä kouluttautumatonta työvoimayksikköä kohden. Tuotekehityksen sanotaan olevan koulutusintensiivistä, mikäli $B_H / B_L > A_H / A_L$ eli tuotekehityksessä käytetään yhtä kouluttautumatonta työvoimayksikköä kohden enemmän kouluttautunutta työvoimaa kuin lopputuotannossa.

Käyttämällä Eulerin teoreemaa, yhtälöt (2.13) ja (2.20) saadaan muotoon

$$A_H w_H + A_L w_L = 1 \qquad \text{ja} \qquad B_H w_H + B_L w_L = S$$

joista muodostettu yhtälöryhmä on matriisimuodossa

$$\begin{bmatrix} A_H & A_L \\ B_H & B_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_H \\ w_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ S \end{bmatrix}.$$

Cramerin sääntöä käyttämällä saadaan ratkaistua

$$w_H = \frac{\begin{vmatrix} 1 & A_L \\ S & B_L \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_H & A_L \\ B_H & B_L \end{vmatrix}} = \frac{B_L - SA_L}{A_H B_L - B_H A_L} \quad \text{ja} \quad w_L = \frac{\begin{vmatrix} A_H & 1 \\ B_H & S \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} A_H & A_L \\ B_H & B_L \end{vmatrix}} = \frac{A_H S - B_H}{A_H B_L - B_H A_L}.$$

Derivoimalla näin saadut palkkayhtälöt S:n suhteen saadaan

$$\frac{dw_H}{dS} = \frac{-A_L}{A_H B_L - B_H A_L} \quad \text{ja} \quad \frac{dw_L}{dS} = \frac{A_H}{A_H B_L - B_H A_L},$$

jossa $A_H B_L - B_H A_L < 0$, kun tuotekehitys on koulutusintensiivistä eli $B_H / B_L > A_H / A_L$. Tällöin

$$\frac{dw_H}{dS} > 0 \quad \text{ja} \quad \frac{dw_L}{dS} < 0.$$

Liite 6. Luvun 2 mallin tasapainon yksiselitteinen olemassaolo

Yksiselitteisen tasapaino on olemassa mikäli yhtälön (2.23) kuvaaja on kasvava ja yhtälön (2.24) kuvaaja vähenevä (I,θ_0)-koordinaatistossa ja yhtälön (2.23) kuvaaja leikkaa θ_0 -akselin korkeammalla kuin yhtälön (2.24) kuvaaja.

Yhtälöt (2.8) ja (2.13) määrittelevät muuttujat w_L ja w_H θ_0 :n funktioina. Differentioimalla yhtälö (2.8) θ_0 :n suhteen saadaan

$$d\theta_0 = \sigma\left[\frac{d}{d\theta_0}\left(\frac{w_L(\theta_0)}{w_H(\theta_0)}\right)\right]d\theta_0 \Leftrightarrow d\theta_0 = \sigma\left(\frac{\frac{dw_L}{d\theta_0}.w_H - \frac{dw_H}{d\theta_0}w_L}{w_H{}^2}\right)d\theta_0 \Leftrightarrow$$

(L6.1) $$\frac{dw_L}{d\theta_0} = \frac{w_H}{\sigma} + \frac{dw_H}{d\theta_0}\frac{w_L}{w_H}.$$

Toisaalta yhtälön (2.8) mukaan

(L6.2) $$\frac{w_H}{\sigma} = \frac{w_L}{\theta_0 - \gamma}$$

Differentioimalla yhtälö (2.13) θ_0 :n suhteen saadaan

$$\left(A_L\frac{dw_L}{d\theta_0} + A_H\frac{dw_H}{d\theta_0}\right)d\theta_0 = 0 \Leftrightarrow \frac{dw_L}{dw_H} = -\frac{A_H}{A_L}$$

ja sijoittamalla edellinen ja yhtälö (L6.2) yhtälöön (L6.1) saadaan

$$-\frac{A_H}{A_L} = \frac{d\theta_0}{dw_H}\frac{w_L}{\theta_0 - \gamma} + \frac{w_L}{w_H} \Leftrightarrow -\frac{d\theta_0}{dw_H}\frac{1}{\theta_0 - \gamma} = \frac{A_H}{A_L w_L} + \frac{1}{w_H} = \frac{A_H w_H + A_L w_L}{A_L w_L w_H}$$

Eulerin teoreeman ($A = A_L w_L + A_H w_H$) ja yhtälön (2.13) mukaan edellisen yhtälön oikean puolen osoittaja on yksi, jolloin saadaan

(L6.3) $$\frac{dw_H}{d\theta_0} = -\frac{A_L w_L w_H}{\theta_0 - \gamma} < 0$$

Sijoittamalla edellinen yhtälöön (L6.1) saadaan

(L6.4) $$\frac{dw_H}{d\theta_0} = \frac{A_H w_L w_H}{\theta_0 - \gamma} > 0$$

Yksikkökustannusfunktioiden $A(w_L, w_H)$ ja $B(w_L, w_H)$ ristikkäisderivaatat A_{LH} , A_{HL} , B_{LH} ja B_{HL} ovat positiivisia, koska tuotannossa käytetään vain kahta panosta (ks. Varian (1999, sivut 60 ja 74). Funktioiden konkaaviudesta seuraa, että niiden toiset derivaatat kunkin panoshinnan suhteen A_{LL} , A_{HH} , B_{LL} ja B_{HH} ovat negatiivisia. Lisäksi

$$A_{L\theta} = \frac{d}{d\theta_o} A_L\left(w_L(\theta_0), w_H(\theta_0)\right) = A_{LL}\frac{dw_L}{d\theta_0} + A_{LH}\frac{dw_H}{d\theta_0} =$$

$$A_{LL}\frac{A_H w_H w_L}{\theta_0 - \gamma} - A_{LH}\frac{A_L w_H w_L}{\theta_0 - \gamma} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(A_{LL}A_H - A_{LH}A_L\right) < 0$$

Muut ristikkäisderivaatat panoshintojen ja θ_0 :n suhteen saadaan vastaavalla tavalla:

(L6.5) $$A_{L\theta} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(A_{LL}A_H - A_{LH}A_L\right) < 0,$$

(L6.6) $$A_{H\theta} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(A_{HL}A_H - A_{HH}A_L\right) > 0,$$

(L6.7) $$B_{L\theta} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(B_{LL}A_H - B_{LH}A_L\right) < 0 \qquad \text{ja}$$

(L6.8) $$B_{H\theta} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(B_{HL}A_H - B_{HH}A_L\right) > 0.$$

Lisäksi

(L6.9) $$B_{\theta} = \frac{w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(B_L A_H - B_H A_L\right) \gtrless 0.$$

Yhtälön (2.23) vasen puoli (VP) on kasvava θ_0 :n suhteen ja sen oikea puoli (OP) on kasvava I :n suhteen. Koska yhtälön VP:lla ei ole I :tä argumenttina, on riittävä ehto yhtälön kuvaajan kasvulle (I, θ_0)-koordinaatistossa, että yhtälön oikea puoli on vähenevä θ_0 :n suhteen:

$$\frac{\partial}{\partial \theta_0}\left[A_L(\theta_0)B(\theta_0)(\rho + 2I - n)\frac{\Omega k}{K(\tau)} + B_L(\theta_0)k\Omega I\right] =$$

$$\left(A_{L\theta}B + A_L B_\theta\right)(\rho + 2I - n)\frac{\Omega k}{K(\tau)} + B_{L\theta}k\Omega I.$$

Koska $B_{L\theta} < 0$, riittävä ehto edellisen lausekkeen negatiivisuudelle on

(L6.10) $\quad A_{L\theta}B + A_L B_\theta < 0$.

Sijoittamalla edelliseen $A_{L\theta}$ ja B_θ, saadaan ehto muotoon

$$\frac{Bw_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(A_{LL}A_H - A_L A_{LH}\right) + \frac{A_L w_L w_H}{\theta_0 - \gamma}\left(B_L A_H - B_H A_L\right) < 0 \Rightarrow$$

$$B\left(A_{LL}A_H - A_L A_{LH}\right) + A_L\left(B_L A_H - B_H A_L\right) = BA_L\left(\frac{A_{LL}A_H}{A_L} - A_{LH} + \frac{B_L A_H}{B} - \frac{B_H A_L}{B}\right) <$$

$$BA_L A_H\left(\frac{A_{LL}}{A_L} + \frac{B_L}{B}\right) < 0 \Leftrightarrow \left(\frac{A_{LL}w_L}{A_L} + \frac{B_L w_L}{B}\right) < 0,$$

joka on tosi sillä

$$B = B_L w_L + B_H w_H \Leftrightarrow \frac{B_L w_L + B_H w_H}{B} = 1 \Rightarrow \frac{B_L w_L}{B} < 1$$

ja derivoimalla $A_L w_L + A_H w_H = 1$ puolittain w_L:n suhteen saadaan

$$A_{LL}w_L + A_L + A_{HL}w_H = 0 \Leftrightarrow \frac{A_{LL}w_L}{A_L} = -1 - \frac{A_{HL}w_H}{A_L} < -1.$$

Yhtälön (2.24) OP on kasvava I:n suhteen ja vähenevä θ_0:n suhteen. Riittävä ehto yhtälön kuvaajan laskulle (I, θ_0)-koordinaatistossa on, että yhtälön OP on kasvava θ_0:n suhteen:

$$\frac{\partial}{\partial\theta_0}\left[A_H(\theta_0)B(\theta_0)(\rho+2I-n)\frac{\Omega k}{K(\tau)}+B_H(\theta_0)k\Omega I\right]=$$

$$(A_{H\theta}B+A_H B_\theta)(\rho+2I-n)\frac{\Omega k}{K(\tau)}+B_{H\theta}k\Omega I\,.$$

Koska $B_{H\theta}>0$, riittävä ehto edellisen lausekkeen positiivisuudelle on

(L6.11) $\quad A_{H\theta}B+A_H B_\theta>0\,.$

Sijoittamalla edelliseen $A_{H\theta}$ ja B_θ, saadaan ehto muotoon

$$\frac{Bw_L w_H}{\theta_0-\gamma}(A_{HL}A_H-A_{HH}A_L)+\frac{A_H w_L w_H}{\theta_0-\gamma}(B_L A_H-B_H A_L)>0\Rightarrow$$

$$B(A_{HL}A_H-A_{HH}A_L)+A_H(B_L A_H-B_H A_L)=BA_H\left(A_{HL}-\frac{A_{HH}A_L}{A_H}+\frac{B_L A_H}{B}-\frac{B_H A_L}{B}\right)>$$

$$BA_H A_L\left(-\frac{A_{HH}}{A_H}-\frac{B_H}{B}\right)>0\Leftrightarrow\left(\frac{A_{HH}w_H}{A_H}+\frac{B_H w_H}{B}\right)<0\,,$$

joka on tosi sillä

$$B=B_L w_L+B_H w_H\Leftrightarrow\frac{B_L w_L+B_H w_H}{B}=1\Rightarrow\frac{B_H w_H}{B}<1$$

ja derivoimalla $A_L w_L+A_H w_H=1$ puolittain w_H:n suhteen saadaan

$$A_{LH} w_L + A_{HH} w_H + A_H = 0 \Leftrightarrow \frac{A_{HH} w_H}{A_H} = -1 - \frac{A_{LH} w_L}{A_L} < -1 .$$

Vielä on osoitettava, että yhtälön (2.23) kuvaaja leikkaa alempana θ_0 -akselin kuin yhtälön (2.24) kuvaaja. Ratkaisemalla yhtälöt (2.8) ja $A_L w_L + A_H w_H = 1$ w_L:n ja w_H:n suhteen saadaan

$$w_H = \frac{\sigma}{(\theta_0 - \gamma)A_L + \sigma A_H} \quad \text{ja} \quad w_L = \frac{\theta_0 - \gamma}{(\theta_0 - \gamma)A_L + \sigma A_H},$$

jolloin

(L6.12) $$B = B_L w_L + B_H w_H = \frac{B_L \,\mathrm{g}(\theta_0)}{A_L},$$

jossa

(L6.13) $$g(\theta_0) = \frac{[\theta_0 - \gamma + \sigma(B_H / B_L)]}{[\theta_0 - \gamma + \sigma(A_H / A_L)]}$$

Yhtälöiden (2.23) ja (2.24) kuvaajien θ_0 -akselin leikkauspisteet implisiittisesti kertovat yhtälöt saadaan sijoittamalla yhtälöihin (2.23) ja (2.24) $I = 0$ ja käyttämällä yhtälöä (L6.12):

(L6.14) $$\frac{\theta_1}{B_L(\theta_1) g(\theta_1)} = (\rho - n)\frac{\Omega k}{K(\tau)},$$

(L6.15) $$\frac{(1+\theta_2-2\gamma)(1-\theta_2)\phi}{2A_H(\theta_2)B(\theta_2)}=(\rho-n)\frac{\Omega k}{K(\tau)},$$

jossa θ_1 ja θ_2 ovat yhtälöiden (2.23) ja (2.24) kuvaajien θ_0 -akselin leikkauspisteet. Yhtälön (L6.12) mukaan yhtälön (L6.14) VP:n nimittäjän derivaatta θ:n suhteen on

$$\frac{d}{d\theta_0}(B_L\,\mathrm{g}(\theta_0))=\frac{d}{d\theta_0}(BA_L)=A_{L\theta}B+B_\theta A_L,$$

joka on yhtälön (L6.10) mukaan negatiivinen. Yhtälön (L6.14) VP on siis kasvava θ:n suhteen. Kun θ lähestyy γ:aa oikealta, yhtälön (2.8) mukaan suhteellinen palkka w_L/w_H lähestyy nollaa, jolloin $B_L(\theta)$ lähestyy ääretöntä, sillä

$$B_L=\frac{\left(\frac{B}{w_H}\right)-B_H}{\left(\frac{w_L}{w_H}\right)},$$

jossa osoittaja on suurempi kuin nolla, koska

$$\frac{B_H w_H}{B}<1\Leftrightarrow\frac{B}{w_H}-B_H>0.$$

Tällöin kun $\theta\to\gamma^+$ yhtälön (L8.14) VP lähestyy nollaa, mikäli $g(\theta_0)$ konvergoi kohti positiivista lukua kun $\theta\to\gamma^+$.

Yhtälön (L6.15) VP:n nimittäjän derivaatta θ:n suhteen on

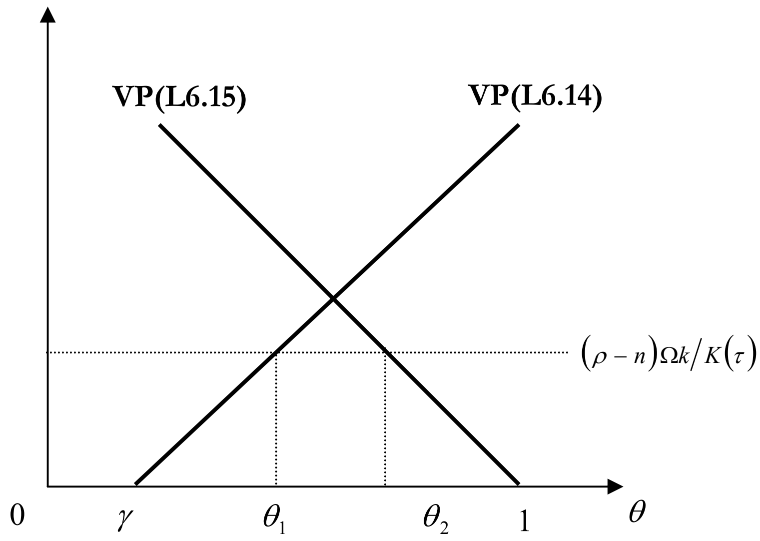
$$\frac{d}{d\theta_0}\left(2A_H B\right) = 2\left(A_{H\theta}B + B_\theta A_H\right),$$

joka on yhtälön (L6.11) mukaan positiivinen. Yhtälön (L6.15) VP osoittajan derivaatta θ:n suhteen on

$$\frac{d}{d\theta}\left[(1+\theta-2\gamma)(1-\theta)\phi\right] = (1-\theta)(-1-\theta+2\gamma)\phi = \left(-1-\theta+2\gamma+\theta+\theta^2-\theta 2\gamma\right)\phi =$$

$$\theta^2 - 1 + 2\gamma(1-\theta) = (\theta-1)(\theta+1) + 2\gamma(1-\theta) = (1-\theta)(\theta+1+2\gamma) < 0 \qquad \forall\theta \in (\gamma,1),$$

jolloin yhtälön (L6.13) VP on laskeva θ:n suhteen. Kun θ lähestyy yhtä vasemmalta yhtälön VP:n osoittaja lähestyy nollaa, jolloin koko yhtälön VP lähestyy nolla. Kuvioon L6.1 on piirretty yhtälöiden (L6.14) ja (L6.15) VP:ten OP:ten kuvaajat. OP:ten kuvaajat ovat samat ja vakiot θ:n suhteen, jolloin ne ovat suoria korkeudella $(\rho-n)\Omega k/K(\tau)$. Yhtälöiden (2.23) ja (2.24) kuvaajien θ_0 -akselin leikkauspisteen arvot määrittyvät yhtälöiden (L6.14) ja (L6.15) VP:ten kuvaajien ja suoran $(\rho-n)\Omega k/K(\tau)$ leikkauspisteissä. Mikäli $(\rho-n)\Omega k/K(\tau)$ saa riittävän pienen arvon siten, että ko. leikkauspisteet ovat yhtälöiden (L6.14) ja (L6.15) VP:ten kuvaajien leikkauspisteen alapuolella, leikkaa yhtälön (2.23) kuvaaja θ_0 -akselin yhtälön (2.24) kuvaajaa korkeammalla.



Lähde: D&S (1999b, Liite B).

Kuvio L6.1. Yhtälöiden (2.23) ja (2.24) kuvaajien θ_0 -akselin leikkauspisteet.

Liite 7. Tuotekehityksen odotettu voitto

Tuotekehitys noudattaa stokastista Poisson-prosessia, jolloin yksittäiseen innovaatioon kuluva aika η on satunnaismuuttuja, joka noudattaa eksponenttijakaumaa parametrilla ζ, joka on mallissa tuotekehityksen intensiteetti. Tällöin

$$P(\text{Innovaatio syntyy hetkellä } t = \eta) = \zeta e^{-\zeta\eta}$$

Yrityksen i tuotekehitysintensiteetti on I_i ja toimialan muiden yritysten yhteinen tuotekehitysintensiteetti on $2I - I_i$, jolloin

$$P(\text{Yritys i tekee innovaation hetkellä t} = \eta) = I_i e^{-I_i\eta} \qquad \text{ja}$$
$$P(\text{Jokin toimialan muista yrityksistä tekee innovaation hetkellä t} = \eta) = (2I - I_i)e^{-(2I-I_i)\eta}.$$

Merkitään nyt tapahtumia ”yritys i tekee innovaation hetkellä $t = \eta$” A:lla ja ”jokin toimialan muista yrityksistä tekee innovaation hetkellä $t = \eta$” B:llä. Tällöin todennäköisyys sille, että yritys i voittaa tuotekehityskilvan hetkellä $t = \eta$ on $P(A \cap B^C)$. D&S:n (1999b) artikkelissa käytetään tässä kohtaa todennäköisyyttä $P(A)$, jolloin odotettua voittoa laskettaessa ei oteta huomioon sitä, että jokin kilpaileva yritys saattaa tehdä innovaation ennen tarkasteltavaa yritystä. Todennäköisyys $P(A \cap B^C)$ on

$$P(A)P(B^C) = (I_i e^{-I_i\eta})(1 - (2I - I_i)e^{-(2I-I_i)\eta}),$$

sillä $A \perp B \Rightarrow A \perp B^C$. Hetkellä $t = 0$ alkavan tuotekehityskilvan odotettu tuotto $E(\Pi)$ on tällöin

$$E(\Pi) = \int_0^\infty \left(I_i e^{-I_i \eta}\right)\left(1 - (2I - I_i)e^{-(2I - I_i)\eta}\right)\Pi(\eta)d\eta$$

$$= \frac{1}{\rho + 2I - n}\int_0^\infty \left(I_i e^{-I_i \eta}\right)\left(1 - (2I - I_i)e^{-(2I - I_i)\eta}\right)\left(\frac{K(\tau)c^* N_0 e^{n\eta}}{\lambda}\right)d\eta$$

$$= \frac{K(\tau)c^* N_0}{(\rho + 2I - n)\lambda}\int_0^\infty \left(I_i e^{-I_i \eta}\right)\left(1 - (2I - I_i)e^{-(2I - I_i)\eta}\right)e^{n\eta}d\eta$$

$$= \Pi(0)\int_0^\infty \left(I_i e^{-I_i \eta}\right)\left(1 - (2I - I_i)e^{-(2I - I_i)\eta}\right)e^{n\eta}d\eta$$

$$= \Pi(0)\int_0^\infty \left(I_i e^{-I_i \eta} - I_i e^{-I_i \eta}(2I - I_i)e^{-(2I - I_i)\eta}\right)e^{n\eta}d\eta$$

$$= \Pi(0)\int_0^\infty \left(I_i e^{(-I_i + n)\eta} - I_i(2I - I_i)e^{(-2I + n)\eta}\right)d\eta = \Pi(0)\int_0^\infty \left(I_i e^{(-I_i + n)\eta} - \left(2II_i - I_i^2\right)e^{(-2I + n)\eta}\right)d\eta$$

$$= \Pi(0)\left[\int_0^\infty I_i e^{(-I_i + n)\eta}d\eta - \int_0^\infty \left(2II_i - I_i^2\right)e^{(-2I + n)\eta}d\eta\right]$$

$$= \Pi(0)\left[\frac{1}{-I_i + n}\int_0^\infty I_i(-I_i + n)e^{(-I_i + n)\eta}d\eta - \frac{1}{(-2I + n)}\int_0^\infty \left(2II_i - I_i^2\right)(-2I + n)e^{(-2I + n)\eta}d\eta\right]$$

Kun $n < I_i \Rightarrow n < 2I$, niin $-I_i + n < 0$ ja $-2I + n < 0$, jolloin edellinen lauseke integroituu muotoon

$$= \Pi(0)\left[\frac{-I_i}{-I_i + n} - \frac{-\left(2II_i - I_i^2\right)}{(-2I + n)}\right] = \Pi(0)\left[\frac{I_i}{I_i - n} - \frac{2II_i - I_i^2}{2I - n}\right] = \Pi(0)I_i\left[\frac{1}{I_i - n} - \frac{2I - I_i}{2I - n}\right].$$

Koska $I_i - n > 0$ ja $2I - n > 0$, ovat hakasulkeissa olevat osamäärät positiivisia. Toisaalta, koska $1 > 2I - I_i$ ja $I_i - n < 2I - n$, niin

$$\frac{1}{I_i - n} > \frac{2I - I_i}{2I - n} > 0 \Rightarrow \frac{1}{I_i - n} - \frac{2I - I_i}{2I - n} > 0.$$

Tuotekehitysprojektin odotettu kustannus perustuu toimialalla innovaatioon kuluvaan aikaan, joka on eksponenttijakaumalle parametrilla $2I$

$$E(\eta) = \frac{1}{2I}.$$

Tässä on huomioitu se, että keskimääräinen tuotekehitysprojektin pituus on aika, jona toimialalla keksitään keskimäärin uusi tuote. Se on lyhyempi kuin yhdeltä yritykseltä innovaatioon keskimäärin kuluva aika. Yritykset ottavat tuotekehityksen kannattavuutta laskiessaan siis huomioon sen, että tuotekehitysprojektit kestävät keskimäärin lyhyemmän aikaa, kuin silloin, jos vain yksi yritys tekee tuotekehitystä. Tällöin epäonnistuneista projekteista koituvat tappiot ovat myös pienempiä, kuin laskelmassa, jossa kustannukset lasketaan maksettavaksi yrityksen omaan innovaatioon kuluvan ajan pituiselta periodilta. Tuotekehityksen odotettu voitto saadaan nyt muotoon

$$\Pi(0)I_i\left[\frac{1}{I_i - n} - \frac{2I - I_i}{2I - n}\right] - XB\frac{I_i}{2I}.$$

Liite 8. Muuttujalla v on yksiselitteinen ratkaisu tasapainossa.

Osoitetaan, että muuttujalla v on yksiselitteinen ratkaisu $v^* > 0$ tasapainoisella kasvu-uralla, joka riippuu vain väestön kasvuasteesta n, etsintäajan parametrista y ja kohtaantoteknologiasta funktion $\varpi(v)$ kautta. Yhtälöt (2.21) ja (2.23) muodostavat yhtälöryhmän:

$$\begin{cases} \dfrac{(2I+\beta)(1-u)e^{ny} - \varpi(v)}{v} = n \\ \\ \dfrac{2I(1-u)+\beta-\delta u - \varpi(v)}{u} = n \end{cases} \qquad \Leftrightarrow$$

$$\begin{cases} u = 1 - \dfrac{nv - \varpi(v)}{e^{ny}(2I+\beta)} \\ \\ u = 1 - \dfrac{\varpi(v)}{(2I+\beta)} \end{cases}$$

Asettamalla edellisistä yhtälöistä u:t vastakkain, termi $(2I+\beta)$ katoaa ja saatu yhtälö määrittelee v:n yksiselitteisesti mielivaltaisille pisteille (I,u):

$$v = \frac{\varpi(v)(e^{ny}+1)}{n} > 0, \qquad \text{kun } n > 0.$$

Liite 9. Luvun 3 mallin tasapainon yksiselitteinen olemassaolo.

Osoitetaan, että yhtälön (3.17) kuvaaja on nouseva ja (3.18) kuvaaja on laskeva, kun $x = k$. Yhtälöt (3.17) ja (3.18) muodostavat mallin tasapainon muuttujien I ja θ_0 suhteen määrittelevät yhtälöt

(L9.1) $$\theta_0(I) = \left[\frac{a\sigma e^{\rho y}\Omega k(\rho + 2I - n)}{K(\tau)}\right]^{1/2}$$ ja

(L9.2) $$\theta_0(I) = \left[1 - \frac{2a\Omega kI}{\phi}\right]^{1/2}.$$

Derivoimalla edelliset yhtälöt I:n suhteen saadaan

(L9.3) $$\left.\frac{d\theta_0(I)}{dI}\right|_{(3.17)} = \frac{1}{2}\left[\frac{a\sigma e^{\rho y}\Omega k(\rho + 2I - n)}{K(\tau)}\right]^{-1/2} \cdot \frac{a\sigma e^{\rho y}\Omega k}{K(\tau)} > 0$$ ja

(L9.4) $$\left.\frac{d\theta_0(I)}{dI}\right|_{(3.18)} = \frac{1}{2}\left[1 - \frac{2a\Omega kI}{\phi}\right]^{1/2} \cdot \frac{-2a\Omega k}{\phi} < 0,$$

joiden mukaan yhtälön (3.17) kuvaaja on nouseva ja yhtälön (3.18) kuvaaja laskeva (I, θ_0)-koordinaatistossa. Jälkimmäinen epäyhtälö seuraa siitä, että (L9.1) mukaan suurin mahdollinen innovaatiointensiteetti, kun koko työvoima on kouluttautunut (asetetaan $\theta_0 = 0$) on $I^{\max} = \phi/2a\Omega k$, jolloin kun $I \in (0, I^{\max}) \Rightarrow 1 - 2a\Omega kI/\phi > 0$. Tarkastellaan yksiselitteisen tasapainon osoittamiseksi vielä yhtälöiden (3.17) ja (3.18) kuvaajien θ_0-akselin leikkauspisteitä. Kun $I \to 0^+$ niin yhtälön (3.17) kuvaaja lähestyy $\left(a\sigma e^{\rho y}\Omega k(\rho - n)/K(\tau)\right)^{1/2}$:ta ja yhtälön (3.18) kuvaaja lähestyy yhtä. Yhtälön (3.17) kuvaajan leikkauspiste on yhtälön (3.18) kuvaajan leikkauspistettä alempana, mikäli $\left(a\sigma e^{\rho y}\Omega k(\rho-n)/K(\tau)\right)^{1/2}<1$. Kun I on vähenevä a:n ja ρ:n suhteen, on edellinen epäyhtälö voimassa, kun a:n ja/tai ρ:n arvot ovat riittävän pienet. Tällöin mallilla on yksiselitteinen tasapaino.

Tarkastellaan seuraavaksi tullimaksun muutoksen vaikutusta innovaatiointensiteettiin ja kouluttamattoman työvoiman osuuteen. Ottamalla yhtälöistä (L9.1) ja (L9.2) logaritmit ja kokonaisdifferentioimalla saadaan yhtälöryhmä

$$\text{(L9.5)}\qquad \begin{cases} \dfrac{d\theta_0}{\theta_0}=\dfrac{1}{2}\left[\dfrac{2}{\rho+2I-n}\cdot dI-\dfrac{\dfrac{\partial[(\lambda-1)+[(\lambda-1-\tau)/(1+\tau)]]}{\partial\tau}}{K(\tau)}\cdot d\tau\right] \\[2ex] \dfrac{d\theta_0}{\theta_0}=\dfrac{1}{2}\left[\dfrac{\phi}{\phi-2a\Omega kI}\cdot\dfrac{-2a\Omega k}{\phi}\right]\cdot dI+0\cdot d\tau \end{cases} \qquad \Leftrightarrow$$

$$\text{(L9.6)}\qquad \begin{cases} \dfrac{2}{\theta_0}\cdot d\theta_0=\dfrac{2}{\rho+2I-n}\cdot dI-\dfrac{-\lambda}{K(\tau)(1+\tau)^2}\cdot d\tau \\[2ex] \dfrac{2}{\theta_0}\cdot d\theta_0=\dfrac{-2a\Omega k}{\phi-2a\Omega kI}\cdot dI+0\cdot d\tau, \end{cases}$$

joka on matriisimuodossa

$$\text{(L9.7)}\qquad \begin{bmatrix} \dfrac{2}{\theta_0} & \dfrac{-2}{\rho+2I-n} \\[2ex] \dfrac{2}{\theta_0} & \dfrac{2a\Omega k}{\phi-2a\Omega kI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\theta_0 \\ dI \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dfrac{\lambda}{K(\tau)(1+\tau)^2} \\[2ex] 0 \end{bmatrix} d\tau .$$

Merkitään yhtälön (L9.7) vasemman puolen ensimmäistä matriisia A:lla ja sen alkioita a_{ij}:llä ja oikean puolen ensimmäistä matriisia B:llä ja sen alkioita b_{ij}:llä. Nyt

$a_{11} > 0$, $a_{12} < 0$, $a_{21} > 0$, $a_{22} > 0$, $b_{11} > 0$ ja $b_{21} = 0$.

Kertomalla yhtälö (L9.7) oikealta termillä $1/d\tau$ ja käyttämällä Cramerin sääntöä saadaan

(L9.8)
$$\frac{d\theta_0}{d\tau} = \frac{\begin{vmatrix} b_{11} & a_{12} \\ b_{21} & a_{22} \end{vmatrix}}{\det(A)} = \frac{b_{11}a_{22} - 0}{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}} > 0 \qquad \text{ja}$$

(L9.9)
$$\frac{dI}{d\tau} = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & b_{11} \\ a_{21} & b_{21} \end{vmatrix}}{\det(A)} = \frac{0 - a_{21}b_{11}}{a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12}} < 0.$$

Tarkastellaan vielä palkkojen muutosta tullimaksun suhteen. Sijoittamalla yhtälöön (3.2) yhtälöstä (3.16) ratkaistu $(1-u)$ ja yhtälöstä (L9.2) θ_0 ja järjestelemällä saadaan

(L9.10)
$$w = \frac{\sigma p(v^*)}{\left(1 - \frac{I}{I^{\max}}\right)^{1/2}(2I + \beta)}.$$

Logaritmoimalla ja kokonaisdifferentioimalla edellinen yhtälö w:n ja I:n suhteen sekä jakamalla puolittain $d\tau$:lla saadaan

$$\frac{dw}{d\tau} = w\left[\frac{6\frac{I}{I^{\max}} + \frac{\beta}{I^{\max}} - 4}{2\left(1 - \frac{I}{I^{\max}}\right)(2I + \beta)}\right]\frac{dI}{d\tau},$$

jossa hakasulkeissa olevan termin nimittäjä on positiivinen, kun $I \in \left[0, I^{\max}\right)$, ja yhtälön (L9.9) mukaan $dI/d\tau < 0$. Tällöin suhteellinen palkka on laskeva tullimaksun suhteen mikäli osoittaja on positiivinen eli $I > (2/3)I^{\max} - 6\beta$.