

# **Organisaation sisäisen tiimirakenteen matemaattinen mallintaminen vuorovaikutusverkoilla**

Tuomo Antikainen

**Perustieteiden korkeakoulu**

Kandidaatintyö  
Helsinki 23.9.2022

**Vastuupettaja**

TkT Harri Hakula

**Työn ohjaaja**

TkT Harri Hakula

Copyright © 2022 Tuomo Antikainen

The document can be stored and made available to the public on the open internet pages of Aalto University.  
All other rights are reserved.

---

**Tekijä** Tuomo Antikainen

**Työn nimi** Organisaation sisäisen tiimirakenteen matemaattinen mallintaminen  
vuorovaikutusverkoilla

**Koulutusohjelma** Teknistieteellinen kandidaattiohjelma

**Pääaine** Matematiikka ja systeemitieteet **Pääaineen koodi** SCI3029

**Vastuupettaja** TkT Harri Hakula

**Työn ohjaaja** TkT Harri Hakula

**Päivämäärä** 23.9.2022

**Sivumäärä** 24

**Kieli** Suomi

**Tiivistelmä**

Tiimityöskentelystä on tullut merkittävä osa organisaatorakenteita 2000-luvulla. Vaikka tiimityöskentelyn katsotaan lisänneen organisaatioiden tehokkuutta, vain harvat tiimit pystyvät toimimaan tehokkaasti. Tässä työssä on pyritty selittämään sosiologisen tutkimuksen tuloksia tehokkaasta tiimityöskentelystä matematiikan ja vuorovaikutusverkkojen avulla. Työn motivaationa on toiminut TkT Harri Hakulan ja Dr. Jere Koskisen monivuotinen vuoropuhelu ja pohdinta tiimien tehokkuudesta. Työssä perustellaan miksi 6-8 henkilön tiimit ovat usein kaikkein tehokkaimpia ja miksi kommunikaatiolla on niin suuri merkitys tiimin tehokkuuteen. Lisäksi pohditaan voisiko small world- ja skaalautumattomia vuorovaikutusverkkoja käyttää organisaation sisäisen tiimirakenteen tarkkaan mallintamiseen.

---

**Avainsanat** tiimirakenne, organisaation sisäiset tiimit, vuorovaikutusverkot,  
mallintaminen

---

---

**Author** Tuomo Antikainen

---

**Title** Modeling of intra organizational team structures with interaction networks

---

**Degree programme** Bachelor's Programme in Science and Technology

---

**Major** Mathematics and Systems Sciences

**Code of major** SCI3029

---

**Teacher in charge** DSc (Tech.) Harri Hakula

---

**Advisor** DSc (Tech.) Harri Hakula

---

**Date** 23.9.2022

**Number of pages** 24

**Language** Finnish

---

**Abstract**

Team working has become a vital part of organization structures in the 21st century. Even though team working has been proven to increase the organization's productivity, only few teams are able to work to their fullest potential. This work has tried to explain the results of sociological studies in regards to efficient team work with the use of mathematics and network models. The multiyear conversation between D.Sc. (Tech.) Harri Hakula and Dr. Jere Koskinen about team efficacy was used as a basis and motivation for this work. This work explains why teams of 6-8 seem to be most efficient and why communication plays such a big role in the team's productivity. In addition the work explores the possibility of the use of small world and scale free network models in exact modeling of the team structure within the organization.

---

**Keywords** team structure, interaction networks, modeling

---

# Sisällys

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tiivistelmä</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Tiivistelmä (englanniksi)</b>                           | <b>4</b>  |
| <b>Sisällys</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1 Johdanto</b>  | <b>6</b>  |
| <b>2 Teoreettinen tausta</b>                               | <b>7</b>  |
| 2.1 Vuorovaikutusverkot . . . . .                          | 7         |
| 2.2 Verkkomalleja . . . . .                                | 8         |
| 2.3 Tiimityöskentely osana organisaatorakennetta . . . . . | 13        |
| <b>3 Mallintaminen</b>                                     | <b>15</b> |
| 3.1 Tehokas tiimirakenne . . . . .                         | 15        |
| 3.2 Matemaattinen tiimirakennemalli . . . . .              | 19        |
| <b>4 Yhteenveto</b>  | <b>22</b> |

# 1 Johdanto

Historian saatossa tiimityöskentely on osoittautunut yhteiskuntamme yhdeksi merkittävimmistä voimavaroista (Alexander, 1974). Metsästyksen, viljelyn, teollisuuden ja nykYTEknologian kaltaiset kehitysasteleet eivät olisi olleet mahdollisia ilman ihmisen evolutiivista kehitystä tiimityöskentelyn saralla. Nykyajan ihminen toimii luonnollisessa ympäristössään monissa erikokoisissa tiimeissä. Näitä ovat esimerkiksi perhe, työpaikat ja harrastukset. Vaikka tiimityöskentely on ollut ihmisen kehityksen kulmakivi, organisaatioissa on herätty sen merkitykseen verrattain myöhään. Vasta 2000-luvun alkupuolella työskentely tiimeissä hyväksyttiin osaksi tehokasta organisaatorakennetta (Drucker, 2012).

Nykyisin tiimit ovat merkittävä osa organisaatioita. Tiimityöskentelyn yleistymisen organisaatioissa on luonut tarpeen ymmärtää tiimejä paremmin. Vaikka tiimityöskentelyn on katsottu lisäävän organisaatioiden tehokkuutta, vain harvat tiimit pystyvät toimimaan tehokkaasti (Ichniowski ja Shaw, 2003) (Katzenbach ja Smith, 2015). Sosiologisessa tutkimuksessa on pyritty ymmärtämään tiimin tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Empiiristen tutkimusten avulla onkin saatu merkittävää tietoa tehokkaista tiimirakenteista. Tästä huolimatta useissa organisaatioissa tiimirakenteet eivät vastaa näitä (Katzenbach ja Smith, 2015). Selkeiden loogisten perustelujen puute empiirisen tutkimuksen tukena on tehnyt tehokkaan tiimin muodostamisesta haastavaa. Yksittäisen tiimin tehokkuutta pystytään tarkkailemaan tuloksen avulla, mutta tiimin sisäisen toiminnan tehokkuuteen vaikuttavien tekijöiden arviointi on monimutkaisempaa. Työn motivaationa on toiminut TkT Harri Hakulan ja Dr. Jere Koskisen monivuotinen vuoropuhelu ja pohdinta tiimien tehokkuudesta.

Tässä työssä pyritään selittämään sosiologisessa tutkimuksessa havaittuja tehokkaaseen tiimirakenteeseen vaikuttavia ilmiöitä matematiikan ja vuorovaikutusverkkojen avulla. Tavoitteena on lisätä ymmärrystä tehokkaan tiimityön edellytyksistä ja perustella niitä loogisen päättelyn avulla. Työn tarkoituksena on myös selittää miksi tiimin koolla on niin suuri merkitys tiimin tehokkuuteen. Lisäksi tässä työssä pohditaan kuinka tiimirakenteiden matemaattista mallintamista ja optimointia tulisi lähestyä. Matemaattisen tiimirakennemallin kehittäminen antaisi uuden työkalun yksittäisten tiimirakenteiden hahmottamiseen ja tutkimiseen ilman aikaa vieviä empiirisiä tutkimuksia. Mallintamisen pohdinnan apuna käytetään verkkoteorian esittelemiä vuorovaikutusverkkomalleja.

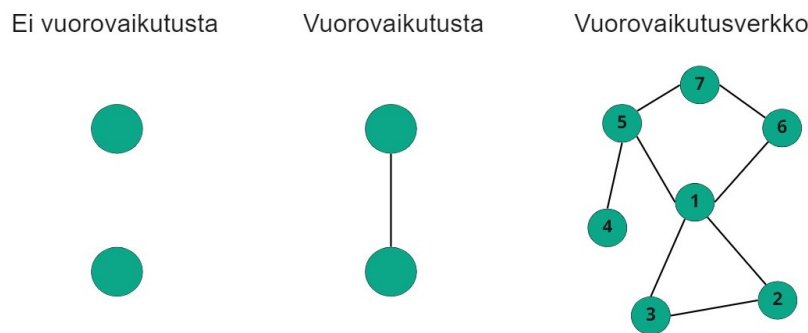
Ensimmäisenä tässä työssä esitellään vuorovaikutusverkkojen teoreettinen tausta. Painopiste on vuorovaikutusverkkomalleissa. Tärkeitä käsitteitä ovat pieni maailma-efekti ja skaalautumattomuus. Pieni maailma-efekti kuvaa sitä, että vuorovaikutusverkoissa jokaisen solmun välinen etäisyys on lyhyt. Efektin voimakkuutta kuvataan klusterikertoimella. Skaalautumattomuus vuorovaikutusverkossa kuvaa potenssilakia seuraavaa astelukujakaumaa. Tämä on seurausta solmujen eriävistä kelpoisuuksista. Kelpoisuus määrittää solmun yksilöllisen kyvyn muodostaa linkkejä muihin solmuihin. Teoriaosuuksien jälkeen työssä mallinnetaan tehokkaan tiimin rakennetta ja annetaan matemaattisia perusteluja sosiologisen tutkimuksen tuloksista. Työn lopussa pohditaan kuinka tiimirakennetta voitaisiin tarkasti mallintaa matematiikan ja vuorovaikutusverkkojen avulla.

## 2 Teoreettinen tausta

### 2.1 Vuorovaikutusverkot

Vuorovaikutusverkolla kuvataan objektien vuorovaikutusta tietyn systeemin sisällä (Barabasi, 2003). Vuorovaikutusverkot ovat osa matemaattista verkkoteoriaa, jossa tavoitteena on matemaattisten mallien avulla kuvata objektien (solmujen) välisiä suhteita (Bondy et al., 1976). Vuorovaikutusverkot toimivat monipuolisesti systeemin sisäisten suhteiden tarkastelussa. Niillä voidaankin kuvata vuorovaikutusta hyvin pienistä mikrotason systeemeistä valtaviin makrotason vuorovaikutuskokonaisuuksiin. Verkkoteorian katsotaan alkaneen Leonhard Eulerin julkaistua ratkaisun Königsbergin seitsemän sillan ongelmaan vuonna 1736 (Alexanderson, 2006). Nykyisin paljon tutkittuja vuorovaikutusverkkoja ovat esimerkiksi ihmisten solujen proteiinien vuorovaikutusverkot sekä WWW-internet (World Wide Web) (Barabasi, 2003).

Monet oikean elämän tilanteet on helposti kuvattavissa vuorovaikutusverkoilla (Bondy et al., 1976). Kuvan 1 vuorovaikutusverkon voidaan ajatella kuvaavan tämän työn mukaisesti tiimin jäseniä ja heidän vuorovaikutuksiaan. Yhden tiimin jäsenen ollessa vuorovaikutuksessa toisen tiimin jäsenen kanssa, heidän välilleen muodostuu linkki. Tiimin kasvaessa myös vuorovaikutusverkko laajenee ja muuttuu monimutkaisemmaksi. Tiimien kohdalla harvemmin, mutta esimerkiksi WWW-internetin kohdalla päädytään tilanteeseen, jossa vuorovaikutusverkko koostuu miljardeista solmuista (nettisivuista) ja biljoonista linkeistä (hyperlinkeistä). Graafisesti mallinnettujen vuorovaikutusverkkojen kasvaessa silmämääräinen tarkastelu muuttuu nopeasti hyvin haasteelliseksi. Siksi vuorovaikutusverkkojen arvioimiseen löytyy myös muita yleisesti käytettyjä menetelmiä.



Kuva 1: Esimerkki vuorovaikutuksen ja vuorovaikutusverkon mallintamisesta.

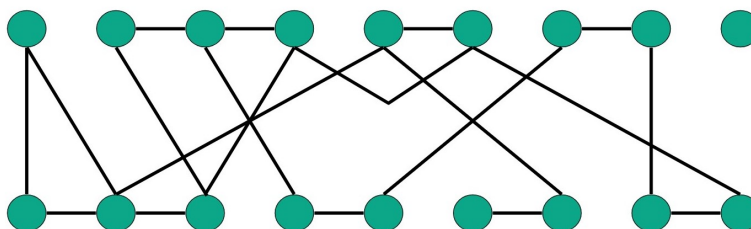
Vuorovaikutusverkkoja tarkasteltaessa graafisen mallinnuksen lisäksi kiinnitetään huomiota solmujen lukumäärään, linkkien lukumäärään, yksittäisistä solmuista lähtevien linkkien lukumäärään eli niin kutsuttuun solmujen astelukuun sekä solmujen välisiin reitteihin (Newman et al., 2006). Solmujen välisillä reiteillä tarkoitetaan sitä, kuinka monen linkin päässä kaksi solmua ovat toisistaan verkossa. Kyseisten suureiden avulla kyetään arvioimaan vuorovaikutusverkon ominaisuuksia ja tarkastelemaan

noudattaako vuorovaikutusverkko mitään tunnetuista vuorovaikutusverkkomalleista. Erityisesti solmujen astelukujakauma on tärkeä vuorovaikutusverkkomallien erittelyssä (Barabasi, 2003). Vuorovaikutusverkkomalleja käsitellään tarkemmin kappaleessa 2.2. Vuorovaikutusverkoista voidaan solmujen välisten suhteiden lisäksi arvioida ja laskea systeemin kestävyyttä. Kestävyydellä tarkoitetaan systeemin kykyä kestää objektien häiriöitä (solmujen poistamista) vuorovaikutusverkossa (Newman et al., 2006). Esimerkiksi kuvan 1 vuorovaikutusverkko kestää solmun (7) poistamisen hajoamatta, sen sijaan solmun (1) poistaminen hajottaa vuorovaikutusverkon kahdeksi erilliseksi klusteriksi.

## 2.2 Verkkomalleja

Verkkoteoriasta ja vuorovaikutusverkoista oli tullut tärkeä työkalu 1900-luvun alkupuolelle tultaessa, niin matemaattisen topologian kuin tekniikan, operaatiotutkimuksen ja sosiologian saralla (Newman et al., 2006). Klassinen verkkoteoria oli muovautunut tehokkaaksi ja toimivaksi matemaattiseksi työkaluksi. Verkkoteoriaa oli kuitenkin hyödynnetty sosiologiaa lukuunottamatta ainoastaan lähes täysin stabiilien ja hyvin tiedossa olleiden periaatteiden mukaisesti rakentuneiden verkkojen mallintamiseen ja analysointiin. Kiinnostus hyödyntää vuorovaikutusverkkoja todellisten vuorovaikutusverkkojen tutkimiseen heräsi 1900-luvun puolivälissä (Newman et al., 2006). Todellisilla verkoilla tarkoitetaan luonnosta löytyviä sekä ihmisten luomia vuorovaikutusverkkoja, joille on ominaista dynaaminen kehitys epäkeskitetysti ja mikrotasolla sattumanvaraisesti. Näistä esimerkkejä ovat esimerkiksi solun sisäisten proteiinien sekä WWW-internetin muodostamat verkot (Barabasi, 2003). Tämän työn kannalta merkitykselliset ihmisten väliset sosiaaliset vuorovaikutusverkot ovat todellisia vuorovaikutusverkkoja. Todellisten vuorovaikutusverkkojen tutkimuksen tarkoituksena on ollut kehittää vuorovaikutusverkkomalleja, joilla kyetään selittämään kuinka oikean elämän vuorovaikutusverkot muodostuvat ja kehittyvät (Barabasi, 2003). Lopullinen tavoite on ollut kehitellä yksi yleispätevä malli, jolla selitettäisiin kaikkien vuorovaikutusverkkojen muodostumiseen liittyvät pääperiaatteet.

Satunnainen vuorovaikutusverkko



Kuva 2: Esimerkki satunnaisesta vuorovaikutusverkosta. Verkko on muodostettu 18 solmusta, jotka on linkitetty 20 linkillä sattumanvaraisesti.



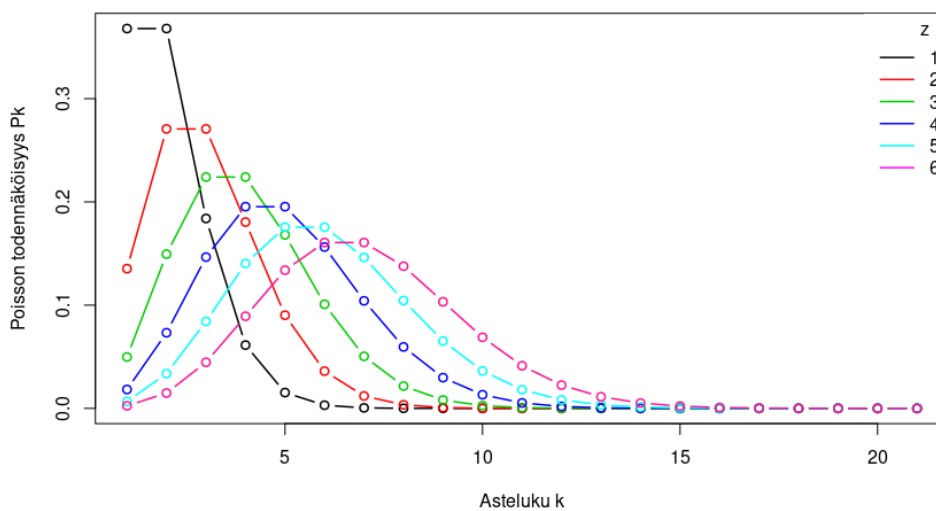
Yksi ensimmäisistä ja tänäkin päivänä kuuluisimmista vuorovaikutusverkkomalleista on Paul Erdosin ja Alfred Renyin paljon tutkima ja kehittämä satunnainen vuorovaikutusverkkomalli (Newman et al., 2006). Heidän alkuperäisenä tavoitteenaan ei ollut selittää tällä mallilla todellisia vuorovaikutusverkkoja. Paremman mallin puuttuessa siitä kuitenkin tuli ensimmäinen, jolla näin tehtiin (Barabasi, 2003). Satunnaisessa vuorovaikutusverkossa solmut yhdistyvät sattumanvaraisesti linkeillä (Kuva 2). Satunnainen vuorovaikutusverkko muodostuu, kun  $n$  solmun vuorovaikutusverkon jokaisen solmuparin välille muodostuu linkki todennäköisyydellä  $p$  (Newman et al., 2006). Tällöin todennäköisyys sille, että solmuparin välille ei muodostu linkkiä on  $1 - p$ . Satunnaisen vuorovaikutusverkon solmujen astelukujakauma on binomijakautunut,

$$p_k = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k} \quad (1)$$

jossa todennäköisyydellä  $p_k$  satunnaisesti valittu solmu on yhdistetty tasan  $k$  muuhun solmuun. Otettaessa raja-arvo, jossa  $n$  lähestyy ääretöntä, saadaan

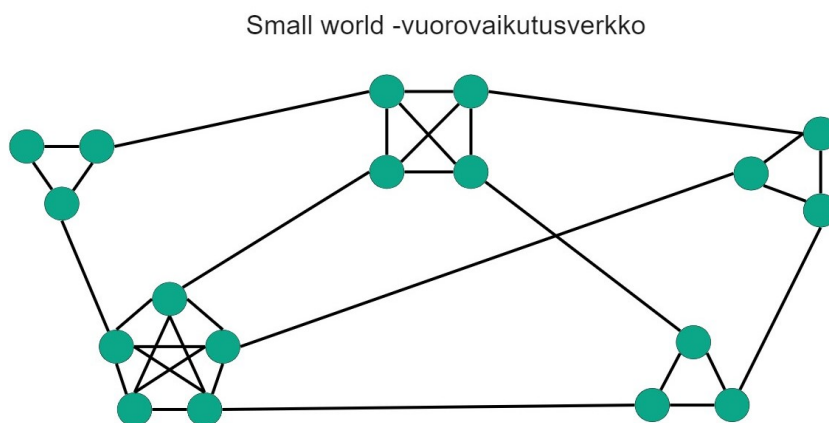
$$p_k = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{n^k}{k!} \left(\frac{p}{1-p}\right)^k (1-p)^n = \frac{z^k e^{-z}}{k!} \quad (2)$$

Poisson-jakautunut astelukujakauma, jossa  $z$  on solmujen  $n$  astelukujen keskiarvo (Newman et al., 2001). Kuvassa 3 on esitetty graafisesti keskiarvojen  $z = 1, 2, \dots, 6$  Poisson-todennäköisyysjakaumat. Kaikille näille jakaumille on ominaista korkea piikki lähellä kohtaa  $k = z$ , jonka jälkeen seuraa nopea lasku. Toisin sanoen suurissa satunnaisissa vuorovaikutusverkoissa kaikkien solmujen asteluku on lähellä keskiarvoa. Ääreistapausten todennäköisyys, joissa solmun asteluku poikkeaa huomattavasti keskiarvosta, on käytännössä nolla (Newman et al., 2006).



Kuva 3: Kaavan 2 mukainen Poisson todennäköisyysjakauma, kun  $z = 1, 2, \dots, 6$ .

Satunnaista vuorovaikutusverkkomallia käytettiin verkkoteorian todellisten vuorovaikutusverkkojen mallintamiseen lähes 50 vuoden ajan. Se on ollut kuitenkin puutteellinen, eikä ole pystynyt selittämään kaikkia todellisia vuorovaikutusverkkoja. Ihmisten tapa verkostoitua toimii siitä hyvänä esimerkkinä. Yhteiskuntamme muodostuu lukuisista pienistä ja suuremmista yhteisöistä (Barabasi, 2003). Näitä ovat esimerkiksi perhepiirit, kaveriporukat, harrasteryhmät sekä työporukat. Yhteisöjä muodostuu monista erilaisista syistä, mutta yhteistä niille on klusteroituminen. Jos henkilö A tuntee henkilön B, joka tuntee henkilön C, on huomattavasti todennäköisempää, että henkilö A tuntee henkilön C kuin täysin sattumanvaraisesti yhteiskunnasta valitun henkilön D (Newman ja Watts, 1999). Tämän johdosta muodostuu kuvan 4 mukaisia klusteroituneita vuorovaikutusverkkoja, jossa linkittymisen todennäköisyys  $p$  vaihtelee riippuen solmuparin asemasta verkossa. Koska edellä mainittu on vastoin satunnaisen verkkomallin perusidea, tarvittiin uusi vuorovaikutusverkkomalli selittämään ilmiötä. Se saatiin, kun 1998 Duncan Watts ja Steven Strogatz esittelivät small world -mallinsa (pieni maailma -malli) (Watts ja Strogatz, 1998).



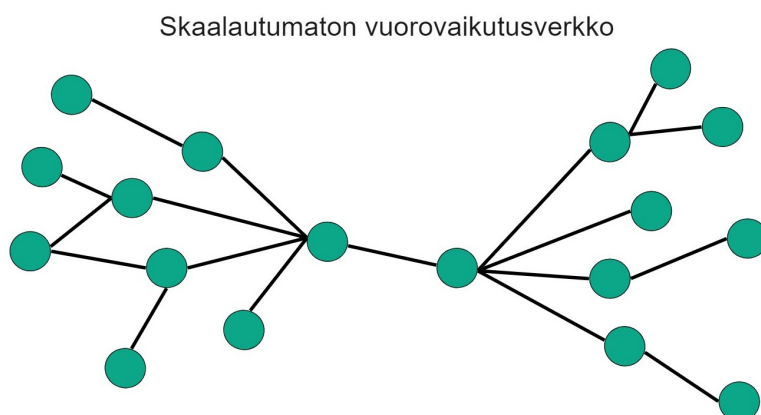
Kuva 4: Esimerkki small world -vuorovaikutusverkosta. Verkko on muodostettu 18 solmusta, jotka on linkitetty 35 linkillä. Solmuista on muodostunut viisi pienempää klusteria.

Small world -malli perustuu kahteen peruseriaatteeseen, klusteroitumiseen sekä pieni maailma -efektiin (Newman et al., 2006). Yleisesti klusteroitumisella tarkoitetaan sitä, että kahden solmun välille on suurentunut todennäköisyys muodostua linkki, jos molemmat solmut ovat valmiiksi linkittyneet yhteiseen naapurisolmuun. Klusterikerroin kuvaa klusteroitumisen määrää vuorovaikutusverkoissa (Newman et al., 2006). Vahvasti klusteroituneiden vuorovaikutusverkkojen klusterikerroin on lähellä yhtä (esim. sosiaaliset vuorovaikutusverkot). Hyvin vähän klusteroituneiden verkkojen klusterikerroin on lähellä nollaa (esim. satunnaiset vuorovaikutusverkot).

Pieni maailma -efekti kuvaa sitä, että vuorovaikutusverkoissa jokaisen solmun välinen etäisyys on lyhyt, korkeintaan muutaman linkin pituinen. Sosiaalipsykologi Stanley Milgram esitti jo 1967 kirjekokeen avulla, että yhteiskunnassamme jokainen ihminen on enintään kuuden linkin päässä kenestä tahansa muusta ihmisestä (Barabasi, 2003) (Milgram, 1967). Nykyisinkin tämän katsotaan pitävän suunnilleen paikkansa (Watts et al., 2002). Yleisesti verkolla katsotaan olevan pieni maailma -rakenne, jos sen solmusta solmuun etäisyyksien keskiarvo kasvaa verkossa logaritmisesti (tai hitaammin) solmujen lukumäärän funktiona.

Small world -malli herätti suurta mielenkiintoa tiedepiireissä. Matemaatikot, fyysikot ja muut luonnontiedealojen tutkijat huomasivat nopeasti mallin kuvaavan todellisia verkkoja tarkemmin kuin yksikään satunnainen vuorovaikutusverkkomalli (Barabasi, 2003). Small world -malli ei kuitenkaan ollut aukoton. Vaikka se toi klusterit osaksi vuorovaikutusverkkomalleja, pohjautuu se paljolti satunnaisiin vuorovaikutusverkkomalleihin. Alkutilanteen klusteroitumisen jälkeen solmujen välinen linkittyminen on edelleen täysin sattumanvaraista (Barabasi, 2003). Small world -mallikin siis epäonnistuu ennustamaan miten solmut tarkalleen ottaen linkittyvät verkossa.

Mielenkiinto WWW-internettiä ja sen topologiaa kohtaan loi 2000-luvun alussa pohjan vielä yhdelle uudelle vuorovaikutusverkkomallille (Barabasi, 2003). Nykypäivänä on intuitiivisesti selvää, että Googlen ja Metan kaltaiset jättiläiset hallitsevat WWW-internettiä. Ennen 2000-luvun alun tutkimuksia tämä ei kuitenkaan ollut itsestäänselvyys. Uskottiin, että internetikin noudattavat satunnaista tai small world -mallia (Barabasi, 2003). Tutkimukset kuitenkin osoittivat WWW-internetin rakenteen olevan ennalta tunnettujen mallien vastainen (Newman et al., 2006). Rakenne sisältää solmuja, joiden astelukku on huomattavasti suurempi kuin solmujen keskiarvollinen astelukku. Nämä hubit (ääreistapaukset) ovat ristiriidassa niin satunnaisen kuin small world -mallin solmujen astelukujakauman kanssa. Mallit pitävät ääreistapauksien todennäköisyyttä käytännössä nollana.



Kuva 5: Esimerkki skaalautumattomasta vuorovaikutusverkosta. Verkko on muodostettu 18 solmusta, jotka on linkitetty 18 linkillä. Verkkoon on muodostunut kaksi hubia.

Skaalautumattoman vuorovaikutusverkkomallin (Kuva 5) esittelivät Albert-László Barabási sekä Réka Albert vuonna 1999 (Barabási ja Albert, 1999). Se pohjautuu WWW-internetin rakenteen mallintamiseen. Yksi suurimmista eroista edellisiin malleihin oli hubit mahdollistava astelukujakauma. Barabási ja Albert olivat huomanneet, että WWW-internetin astelukujakauma noudattaa potenssilakia  $p_k \sim k^{-y}$ . Sen mukaan sattumanvaraisesti valittuun nettidokumenttiin todennäköisyydellä  $p_k$  on linkittyntä  $k$  linkkiä muilta nettisivuilta, kun  $y = 2.1 \pm 0.1$  (Barabási ja Albert, 1999). Barabási ja Albert tutkivat julkaisussaan myös näyttelijöiden sekä voimalinjojen (suuritehoisten sähkölinjojen) muodostamia verkkoja. Molemmat muodostuneet vuorovaikutusverkot noudattivat potenssilakia, mutta eriävillä eksponentin arvoilla  $y_{\text{näyttelijät}} = 2.3 \pm 0.1$ ,  $y_{\text{voimalinjat}} \approx 4.0$  (Barabási ja Albert, 1999).

Barabási ja Albert löysivät useita todellisia vuorovaikutusverkkoja yhdistävän tekijän, mutta eivät vielä pystyneet selittämään miksi verkkojen astelukujakauma seuraa potenssilakia. 2000-luvun alussa useat matemaatikot ja tutkijat loivat uusia malleja selittämään ilmiötä. Yhden keskeisimmistä skaalautumattomien vuorovaikutusverkkojen teorioista ja tämänkin työn kannalta tärkeän mallin julkaisivat Ginestra Bianconin ja Albert-László Barabási vuonna 2001 (Bianconi ja Barabási, 2001). Jo tätä ennen Barabási ja Albert olivat ehdottaneet, että skaalautumattomat vuorovaikutusverkot ovat dynaamisia (Albert ja Barabási, 2000). He esittivät, että vuorovaikutusverkkoa voidaan mallintaa vaiheittain kehittyvänä. Jokaisen vaiheen aikana todennäköisyydellä  $p$  verkkoon muodostuu  $m$  uutta linkkiä, todennäköisyydellä  $q$  verkossa uudelleen linkittyä  $m$  olemassa olevaa linkkiä sekä todennäköisyydellä  $1 - p - q$  verkkoon lisätään uusi solmu (Albert ja Barabási, 2000). Vaikka skaalautumaton vuorovaikutusverkkomalli sisälsi dynaamisuutta, se ennusti, että vanhimmista solmuista muodostuu aina verkon hubeja. Oli kuitenkin näyttöä, ettei todelliset vuorovaikutusverkot toimineet kovinkaan usein kyseisen periaatteen mukaisesti. Esimerkkinä toimii hakukone Google. Parissa vuodessa siitä muodostui WWW-internetin yksi suurimmista hubeista useita kymmeniä vuosia WWW-internetin perustamisen jälkeen (Newman et al., 2006).

Bianconin ja Barabásin ratkaisu tähän ongelmaan oli määrittää jokaiselle solmulle ominainen kelpoisuus  $\eta_i$  (fitness), jolla kuvataan kuinka vahvasti solmu pystyy muodostamaan linkkejä muihin solmuihin. Kelpoisuuden määrittämiseen käytetään saatavilla olevaa taustatietoa. Sosiaalisissa vuorovaikutusverkoissa kelpoisuus voidaan esimerkiksi määrittellä sosiaalisten taitojen tai yhteiskunnallisen aseman mukaan. Verkon kehittyessä vaiheittain, jokaisen vaiheen aikana verkkoon lisätään uusi solmu kelpoisuuden määräytyessä ennalta määritellyn kelpoisuusjakauman  $\varphi(\eta)$  mukaisesti. Kaikki uudet solmut linkittyvät verkon  $m$  muuhun solmuun, kun todennäköisyys linkittyä solmuun  $i$  on verrannollinen solmun  $i$  asteluvun ja kelpoisuuden tulon

$$\Pi = \frac{\eta_i k_i}{\sum_j \eta_j k_j} \quad (3)$$

Tämän johdosta myös nuoret solmut korkealla kelpoisuudella pystyvät muodostamaan nopeasti uusia linkkejä. On kuitenkin huomattava, että edelleen solmujen kelpoisuuden ollessa sama, vanhat solmut suuremmilla asteluvuilla muodostavat todennäköisemmin uusia linkkejä kuin nuoret solmut pienemmillä asteluvuilla. Yhdistämällä kelpoisuuden määritelmän Barabásin ja Albertin malliin (Barabási ja Albert, 1999) Bianconi ja Barabási huomasivat solmujen astelukujen keskiarvon kasvavan nyt  $t^\beta$  mukaan, jossa eksponentti  $\beta$  on

$$\beta = \frac{\eta}{C} \quad (4)$$

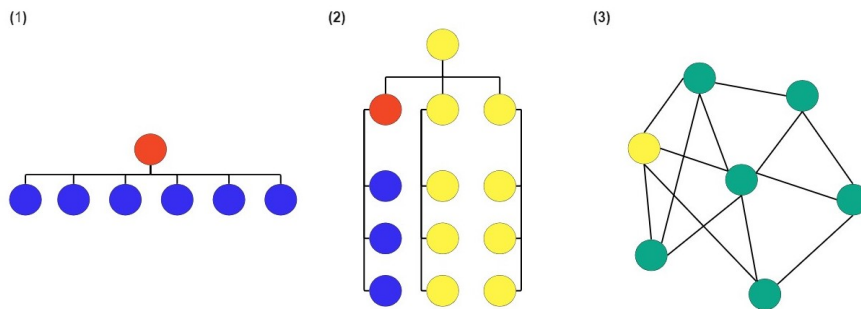
C:n ollessa

$$C = \int \varphi(\eta) \frac{\eta}{1 - \beta(\eta)} d\eta \quad (5)$$

Tästä seuraa, että jokaisella solmulla on oma kelpoisuudesta  $\eta$  riippuvainen eksponentti. Uuden solmun kelpoisuuden ollessa suuri, kasvattaa se astelukujen keskiarvoa enemmän kuin pienemmän kelpoisuuden omaava solmu. Näin ollen suuren kelpoisuuden solmun voi olettaa saavan keskeisen roolin verkossa. (Newman et al., 2006) (Bianconi ja Barabási, 2001)

### 2.3 Tiimityöskentely osana organisaatorakennetta

Organisaation järjestäytymistä kuvataan organisaatorakenteella. Sen avulla määritellään organisaation työntekijöiden välisiä suhteita, rooleja ja päätätävällän jakautumista (Mintzberg, 1993). Tämä mahdollistaa selkeät johtamisrakenteet ja yleisen näkemyksen organisaation sisäisistä toimintatavoista. Usein organisaatorakenteita kuvataan valmiilla kuvan 6 mukaisilla organisaatorakennemalleilla. Ne osoittavat selkeästi laajassa mittakaavassa kuinka työntekijät on ryhmitelty. On hyvä huomata, että ison organisaation sisällä voi esiintyä useampaa organisaatorakennemallia (Mintzberg, 1993). Kuvan 6 esimerkissä verkostorakenne kuvaa organisaatiokonsernin alla toimivien organisaatioiden suhteita, hierarkkinen rakenne yhden organisaation sisäistä rakennetta ja litteä rakenne organisaation yhden osaston rakennetta. Pienemmissä organisaatioissa yleisemmin esiintyy vain yhtä tai kahta organisaatorakennetta.



Kuva 6: Esimerkkejä organisaatorakennemalleista (1) litteä rakenne, (2) hierarkkinen rakenne ja (3) verkostorakenne.

Organisaatorakenteet olivat hyvin stabiileja ja jäykkiä vielä 1900-luvun lopulla. Monissa organisaatioissa uskottiin hierarkisten rakenteiden olevan ainoa oikea johtamisen tapa (Drucker, 2012). 2000-luvun alussa tässä nähtiin kuitenkin muutos. Monien ongelmien ja prosessien muututtua yhä monimutkaisemmiksi, työntekijöiden tiedon ja taidon arvostus organisaatioissa lisääntyi (Larson et al., 1989). Samalla tiimityöskentely tuli osaksi organisaatioiden sisäistä työskentelymallia. Parhaimmillaan se mahdollisti usean ihmisen yhtäaikaisen tiedon ja taidon jakamisen tehokkaasti yhteisen päämäärän eteen. Tutkimuksin onkin osoitettu, että organisaatiot toimivat tehokkaammin, kun ne lisäävät vahvan tiimirakenteen osaksi organisaatorakennetta (Ichniowski ja Shaw, 2003).

Tiimityöskentelyn nopea kasvu osaksi organisaatiota ei kuitenkaan ole ollut täysin ongelmatonta. Organisaatioilta saattaa puuttua selkeä ymmärrys siitä, mitä tiimillä tarkoitetaan ja kuinka tiimityöskentelyä tulisi käyttää organisaation sisällä. Erilaisia organisaation sisäisiä ryhmiä saatetaan kutsua erheellisesti tiimeksi samoin kuin heidän työskentelytapojaan saatetaan kutsua tiimityöksi. Virheellisesti rakennettu organisaation sisäinen tiimimalli saattaa osoittautua hyvin tehottomaksi organisaatorakenteeksi. Tutkimuksin onkin osoitettu, että vain harvat tiimit pystyvät toimivaan tehokkaasti (Katzenbach ja Smith, 2015).

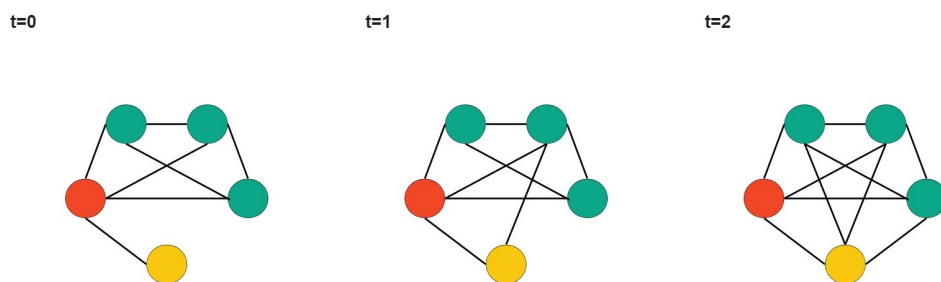
Lähtökohta tehokkaalle tiimityöskentelylle on selkeä käsitys tiimin rakenteesta ja dynamiikasta. Organisaation sisäinen tiimi koostuu organisaation työntekijöistä, joilla on yhteinen organisaatiota hyödyttävä tavoite. Tiimi muodostetaan, koska tavoitteena olevan tehtävän suorittaminen on tehokkaampaa ryhmässä kuin yksilöiden suorittamana. Tiimin jäsenet jakavat yhteiset työtehtävät ja heillä on tarvittava autonomia ja resurssit asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Tiimi saa itse tehdä tarvittavat päätökset ilman luvan hakemista ylemmältä johdolta. Samalla he ovat itse vastuussa työn laadusta ja tavoitteiden saavuttamisesta. Tiimin jäsenet ovat riippuvaisia toisten tiimin jäsenten työstä ja he yhdessä työstävät monia tiimin sisäisiä tehtäviä. Kun tiimin sisällä työtehtävät on selkeästi jaettu, jokaisen tiimiläisen panos edistää tavoitteen täyttymistä. Tiimin koolla on myös merkitystä. Liian suuren tiimin sisälle saattaa muodostua selkeä sisäinen vertikaalinen ja horisonttaalinen rakenne, jolloin tiimi muuttuu omaksi organisaatiokseen ja menettää tiimityöskentelystä saavutettavat hyödyt. (West, 2012)

## 3 Mallintaminen

### 3.1 Tehokas tiimirakenne

Tiimityöskentelyn noustua merkittäväksi osaksi organisaatorakenteita, aiheesta on tehty kattavaa sosiologista tutkimusta. Empiirisen tutkimusten avulla on pyritty selvittämään kuinka tehokas tiimi toimii. Tulokset viittaavat tehokkuuden riippuvan ennen kaikkea viidestä tekijästä. Näitä ovat vahva johtajuus, sopeutumiskyky, tiimin keskinäinen tehokkuuden valvonta, keskinäinen auttamisen kulttuuri ja vahva orientoituminen tiimityöskentelyyn (West, 2012). Edellä mainittujen tekijöiden toteutumisen on katsottu olevan riippuvainen tiimin sisäisen kommunikaation onnistumisesta (West, 2012). Koska kommunikaatio on helpompaa pienemmissä tiimeissä, nousee tiimin koko yhdeksi merkittävimmistä tiimin tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä (Katzenbach ja Smith, 2015). Tiimikoon kasvun myötä syntyvät kommunikaatiovaikeudet vaikuttavat useammalla tavalla tiimidynamiikkaan. Tehokkuuden laskua suuremmissa tiimeissä on selitetty vapaamatkustajaefektillä sekä tiimin jäsenten yhteenkuuluvuuden tunteen vähentymisellä (West, 2012). Myös tiimin sisäisten konfliktien todennäköisyyden on katsottu kasvavan suhteessa tiimikoon kasvuun (Devine et al., 1999).

Pienessä tiimissä vahvan kommunikaatioverkon muodostuminen on yksinkertaista. Kun tiimin jokainen jäsen linkittyy kaikkien tiimin jäsenten kanssa, muodostuu linkitykseltään homogeeninen vuorovaikutusverkko. Näin tiimin sisäiseen kommunikaatioon on sujuvat reitit. Tiimiläiset voivat kommunikoida pareittain, koko tiimin vahvuudella tai muissa mahdollisissa osajoukoissa. Kuva 7 kuvaa tiimin linkityksiltään homogeenisen vuorovaikutusverkon muodostumista. Kuvassa uusi työntekijä asettuu vaiheittain osaksi tiimin rakennetta. Käytännössä ei ole väliä missä järjestyksessä linkkejä työntekijöiden välille syntyy, koska lopulta uusi työntekijä on vuorovaikutuksessa kaikkien työntekijöiden kanssa. Kyseisen tiimirakenteen voidaan katsoa seuraavan satunnaista vuorovaikutusverkkomallia todennäköisyydellä  $p = 1$ .



Kuva 7: Esimerkki tiimin rakenteen kehittymisestä vaiheittain, kun uusi työntekijä liittyy tiimiin. Uusi tiimin jäsen on merkitty keltaisella ja tiimin johtaja punaisella.

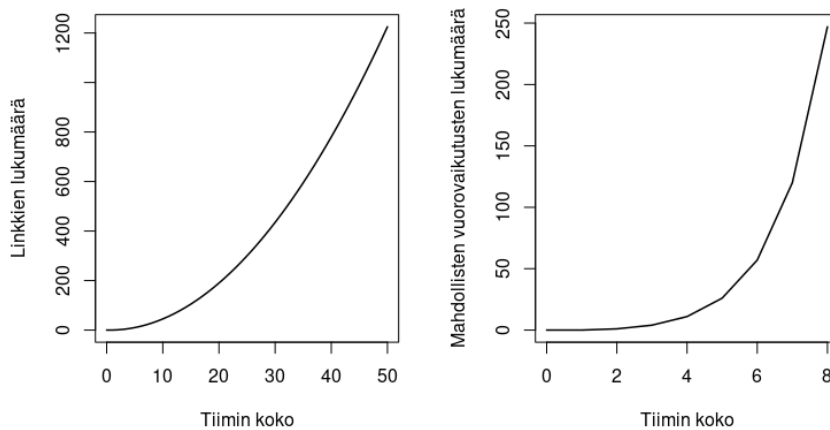
Tiimirakenteena satunnainen vuorovaikutusverkkomalli on kuitenkin tehoton suuressa mittakaavassa, samoin kuin useissa todellisissa vuorovaikutusverkoissa. Suurissa tiimeissä linkityksiltään homogeenisen vuorovaikutusverkon ylläpitäminen muuttuu työlääksi ja lopulta mahdottomaksi. Tätä voidaan perustella matematiikan avulla. Linkityksiltään homogeenisessa tiimissä jokainen tiimin jäsen on vuorovaikutuksessa muiden tiimin jäsenten kanssa. Tämä tarkoittaa, että vuorovaikutuslinkkejä  $l$  muodostuu yhtälön

$$l = n(n - 1)/2 \quad (6)$$

mukaisesti tiimiläisten välille, kun  $n$  kuvaa tiimin jäsenten lukumäärä. Myös mahdollisten vuorovaikutusosajoukkojen  $v$  lukumäärä kasvaa nopeasti tiimikoon kasvaessa yhtälön

$$v = \sum_{x=2}^n \frac{n!}{x!(n-x)!} \quad (7)$$

mukaisesti. Mahdollisilla vuorovaikutusosajoukoilla kuvataan kaikkia teoreettisia osajoukkoja, joihin tiimiläiset pystyvät ryhmittymään kommunikoidakseen keskenään. Kuva 8 kuvaa linkkien lukumäärän ja mahdollisten vuorovaikutusosajoukkojen kehitystä suhteessa tiimikoon kasvuun.



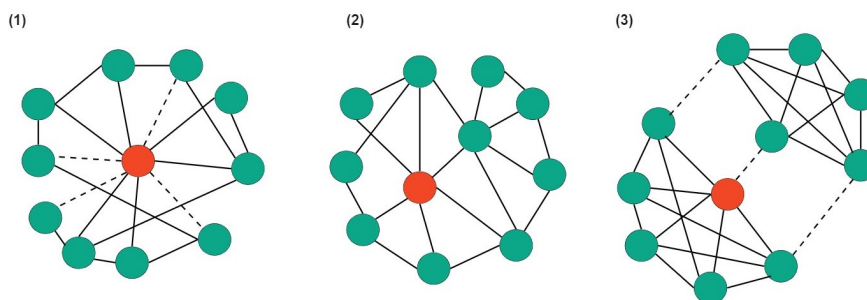
Kuva 8: (1) Linkkien lukumäärä tiimikoon funktiona, kun ryhmä on linkityksiltään homogeeninen. (2) Mahdollisten vuorovaikutusosajoukkojen lukumäärä ryhmäkoon funktiona, kun ryhmä on linkityksiltään homogeeninen.

Ymmärtääkseen edellä mainittujen suureiden vaikutuksen tiimidynamiikkaan, otetaan tarkasteluun viiden ja yhdentoista hengen tiimit. Kun viiden hengen tiimin vuorovaikutusverkko muodostuu kymmenestä linkistä, vastaava luku yhdentoista hengen tiimillä on 55. Toisaalta viiden hengen tiimillä mahdollisia vuorovaikutuksen osajoukkoja on 26, kun yhdentoista hengen tiimillä niitä on 2036. Tämä tarkoittaa,



että viiden hengen tiimissä yksi tiimin jäsen voi teoreettisesti olla mukana 15 vuorovaikutusosajoukossa. Yhdentoista hengen tiimissä yhdellä tiiminjäsenellä tämä luku on 1023.

Aikaan sidottuna luvut ovat vielä helpommin ymmärrettävissä. Viiden hengen tiimissä yhden tiimiläisen vuorovaikuttaessa 15 minuuttia kaikissa hänelle mahdollisissa osajoukoissa, aikaa kuluu 3 tuntia ja 45 minuuttia. Vastaavasti yhdentoista hengen tiimissä yksi tiimiläinen käyttää aikaa 255 tuntia ja 45 minuuttia. Käytännössä tiimin linkityksen homogeenisuuden ylläpitoon ei kuitenkaan tarvita vuorovaikutusta kaikissa mahdollisissa vuorovaikutuksen osajoukoissa. On kuitenkin huomattava, että yhdentoista hengen tiimissä 15 minuuttia jokaisen tiimiläisen kanssa kahdenkeskeistä vuorovaikutusta vie yhdeltä tiimin jäseneltä kaksi ja puoli tuntia. Samassa ajassa viiden hengen tiimissä yksi tiimiläinen ehtii käyttää 15 minuuttia aikaa kahdessa kolmesta hänelle mahdollisessa vuorovaikutuksen osajoukossa. Tämän perusteella on helppo ymmärtää, miksi vahva kommunikaatio on huomattavasti helpompaa pienissä tiimeissä. Jo yhdentoista hengen tiimissä linkitysten homogeenisuuden ylläpito on huomattavan työlästä ja aikaa vievää – käytännössä mahdotonta.



Kuva 9: Kolme esimerkkiä luontaisesta vuorovaikutusverkkojen kehityksestä tiimikoon kasvaessa yli kuuden henkilön. Tiimin johtaja on merkitty punaisella.

Käytäntö ja tutkimukset ovatkin osoittaneet, etteivät suuremmat tiimit pysy luontaisesti vuorovaikutusten suhteen homogeenisina (Guimera et al., 2005). Jo yli kuuden hengen tiimeissä alkaa näkyä tiimin pirstaloituminen (Wheelan, 2009). Pirstaloituminen on seurausta vuorovaikutusverkon liiallisesta laajenemisesta ja sen homogeenisuuden ylläpitämisen työläydestä. Kuva 9 mallintaa esimerkkejä luontaisesti muodostuneista yhdentoista hengen tiimin rakenteista. Vaikka rakenteissa on selkeitä eroja, kaikkia yhdistää linkityksien heterogeenisuus. Tiimin jäsenet eivät ole enää säännöllisesti vuorovaikutuksessa kaikkien tiimin jäsenten kanssa. Tämä säästää tiimin jäsenten resursseja, mutta heikentää vuorovaikutusta tiimin sisällä. Tutkitusti jo seitsemän hengen tiimit suoriutuvat huonommin kollektiivisissa tiimityöskentelyä vaativissa tehtävissä kuin vastaavat kuuden hengen tiimit (Wheelan, 2009). Tiimin rakenteen kehittymistä käsitellään tarkemmin kappaleessa 3.2

Vahvan tiimijohtajan tärkeys korostuu tiimikoon kasvaessa (Zaccaro et al., 2001). Pienemmissä tiimeissä johtaja on vain yksi osa tiivistä, linkityksiltään homogeenis-

ta vuorovaikutusverkkoa. Suuremmissa tiimeissä johtajasta kuitenkin muodostuu kuvan 9 (1) mukaisesti vuorovaikutusverkon solmukohta. Tämä skaalautumattoman vuorovaikutusverkkomallin mukainen rakenne varmistaa pieni maailma -efektin vuorovaikutusverkossa. Jokainen tiimin jäsen on enintään kahden vuorovaikutuslinkin päässä toisistaan tiimin pirstaloitumisesta huolimatta. Kuvasta 9 (2) nähdään kuinka tiimiläiset etäännyvät toisistaan tiimin johtajan epäonnistuessa pitämään tiimin yhtenäisenä. Pisimmillään kahden tiimiläisen välillä saattaa olla useampia vuorovaikutuslinkkejä. Tällöin tiimin sisäisestä tehokkaasta kommunikaatiosta tulee haastavaa. Vahva johtaja ei kuitenkaan kokonaan pysty kompensoimaan tiimin kasvun aiheuttamia haasteita. Tämä korostuu erityisesti tiimin koon kasvaessa reilusti yli kuuden hengen. Mitä enemmän kommunikaatio ja asiat kulkevat tiimin johtajan kautta, sitä vaikeampi johtajan on hallita kokonaisuuksia. Tutkimukset ovat laajalti osoittaneet, että ihmisen aktiivinen työmuisti pystyy käsittelemään 3-5 asiaa kerrallaan (Cowan, 2010). Tiimin johtajan linkittyessä kaikkiin tiimin jäseniin on mahdollista syntyä tilanne, jossa hänen prosessointikykynsä rajallisuus hidastaa tiimin toimintaa. Riskinä on myös kuvan 9 (1) mukainen vuorovaikutuslinkkien eriarvoistuminen tai ääritapauksessa katkeaminen tiimin johtajan ja osan tiimin jäsenten välillä. Näin tiimi saattaa klusteroitua pienemmiksi osiksi. Se voidaan estää lisäämällä tiimiin hierarkisia rakenteita tai jakamalla tiimi kahdeksi alatiimiksi kuvan 9 (3) mukaisesti. Silloin ei voida kuitenkaan puhua tiimityöskentelystä vaan tiimistä tulee oma organisaationsa ilman todellisen tiimityöskentelyn etuja.

Tiimirakenteen pirstaloitumisella voidaan myös selittää tiimin jäsenten yhteenkuuluvuuden tunteen vähenemistä tiimikoon kasvaessa. Pirstaloituneessa tiimissä etäisimmät tiimin jäsenet saattavat olla useamman linkin päässä toisistaan. Mitä useamman linkin päässä kaksi tiimiläistä ovat toisistaan, sitä pienemmällä todennäköisyydellä he ovat tiiviisti tekemisissä toistensa kanssa. Tällöin heidän välilleen ei pääse muodostumaan läheisiä siteitä ja kollektiivinen yhteenkuuluvuuden tunne vähenee. Yleistäen, kun tiimin jäsenten välinen keskiarvollinen etäisyys vuorovaikutuslinkeissä kasvaa, tiimin jäsenten yhteenkuuluvuuden tunne pienenee. Samaa perustelua voidaan käyttää vapaamatkustajaefektiin. Mitä kauempana tiimin jäsen on toisesta tiimin jäsenestä vuorovaikutusverkossa, sitä todennäköisemmin he eivät ole tietoisia toistensa tekemisistä. Tästä johtuen heidän on vaikeampi varmistaa toistensa kontribuutio tehokkaan tiimityön puolesta. Tiimin sisäisen valvonnan monimutkaistuessa on mahdollista muodostua tilanne, jossa yksi tiimiläinen irtautuu kaikista tiivistä vuorovaikutuksista muiden tiimiläisten huomaamatta. Näin kukaan ei ole valvomassa hänen työpanostaan ja syntyy mahdollisuus tiimin sisäiseen vapaamatkustamiseen. Molemmat edellä kuvatut tekijät lisäävät myös konfliktien riskiä. Kun tiimiläiset eivät seuraa tiivistä muiden tiimiläisten tekemistä, väärinymmärrysten riski kasvaa. Väärinymmärryksiä lisää myös kommunikaation kulkeminen useamman linkin kautta kahden tiimin jäsenen välillä. Väärinymmärrysten määrän kasvun voidaan katsoa lisäävän riskiä tiimin sisäisiin konflikteihin (Albanese ja Van Fleet, 1985).

Tässä kappaleessa mainitut asiat viittaavat selkeästi tiimin koon merkitykseen tiimin tehokkuudessa. On kuitenkin huomioitava, että jokainen tiimi on yksilöllinen. Vaikka sosiologiset tutkimukset ja näiden matemaattiset tulokset antavat viitteke-

hyksen tehokkaan tiimin muodostamiseen, ei niiden avulla voi vetää täysin suoria johtopäätöksiä yksittäisen tiimin tehokkuudesta. Tiimin toimintaan vaikuttaa huomattavasti sen jäsenet. Yksi ihminen voi käytännössä pilata tiimin tehokkuuden, vaikka tiimi muuten olisi rakennettu hyvin. Toisaalta pari hyvin tiimiorientoitunutta tiimin jäsentä voi kääntää heikomminkin rakennetun tiimin tehokkaaksi. Yrityksiä luoda matemaattisia laskukaavoja yksittäisen tiimin optimaaliselle koolle tunnetaan muutamia (Georgiadis, 2015) (Liang et al., 2008) (Tohidi ja Tarokh, 2006). Nämä eivät kuitenkaan huomioi tarpeeksi laajasti tiimin jäsenten yksilöllistä vaikutusta tiimidynamiikkaan tuodakseen lisää informaatiota sosiologisten tutkimusten rinnalle. Vaikka tiimityöskentely on nykyään tärkeä osa organisaatiota, ei tiedettävästi ole vielä kehitetty matemaattista mallia yksittäisen tiimin tehokkuuden ja dynamiikan tarkkaan arviointiin.

## 3.2 Matemaattinen tiimirakennemalli

Jo muutamien vuosikymmenten ajan on ollut havaittavissa selkeä tiimikokojen kasvu useilla aloilla (Guimera et al., 2005) (Wang ja Barabási, 2021). Vaikka sosiologisten tutkimusten tulokset kannustavat käyttämään pieniä tiimejä, monet organisaatiot ja ryhmät ovat vastanneet yhä kompleksisemmiksi muodostuneiden ongelmien ja kilpailun aiheuttamaan paineeseen kasvattamalla tiimikokoja. Tällöin myös tiimien vuorovaikutusrakenteista on tullut monimutkaisempia. Empiiristen tutkimusten pohjalta tiedetään, että tiimikoon kasvu aiheuttaa tiimin pirstaloitumista. Ei kuitenkaan ole olemassa mallia, jolla tätä pystyttäisiin tutkimaan tarkasti. Tämän kappaleen tarkoituksena on pohtia, kuinka matemaattista tiimirakennemallin kehittämistä tulisi lähestyä.

Kenties tunnetuin yritys mallintaa kasvavan tiimirakenteen muodostumista on Roger Guimerán ja hänen tiiminsä vuonna 2005 kehittämä matemaattinen malli (Guimera et al., 2005). Ryhmä pyrki mallintamaan luovien alojen tiimien muodostumista sekä kuinka pienen alan sisällä työntekijät valikoituvat tiimeihin (musikaaliproduktiot). Mallin perusajatus on merkittävä. Se huomioi, ettei tiimin kasvaessa linkkejä muodostu sattumanvaraisesti tiimin jäsenten välille. Ryhmä päätteli keräämänsä datan perusteella, että linkkien muodostumisen todennäköisyys perustuu tiimiläisten aiempaan yhteistyöhön. Tämä malli seuraakin hyvin tarkasti Albertin ja Barabásin kappaleessa 2.2 esiteltyä skaalautumatonta vuorovaikutusverkkomallia (Albert ja Barabási, 2000). Vaikka malli on vielä karkea, viitoittaa se tietä mahdolliseen skaalautumattoman vuorovaikutusverkkomallin hyödyntämiseen tiimirakenteen mallintamisessa.

Small world- ja skaalautumaton vuorovaikutusverkkomalli nousevatkin esille tiimirakenteen mallinnusta pohdittaessa. Mallien on todettu toimivan hyvin monien todellisten vuorovaikutusverkkojen mallinnuksessa. Varsinkin skaalautumaton vuorovaikutusverkkomalli pystyy kuvaamaan kuinka homogeeninen objektien ryhmä kasvaessaan muodostaa hubeja sisältävän rakenteen. Skaalautumaton malli kykenee kuvaamaan myös hierarkisen järjestelmän muodostumista. On kuitenkin huomioitava, että kyseisiä malleja käytetään usein mallintamaan suuria makrotason systeemejä. Tällöin karkeallakin mallilla saadaan riittävän tarkkoja tuloksia. Kun tiimirakenteen

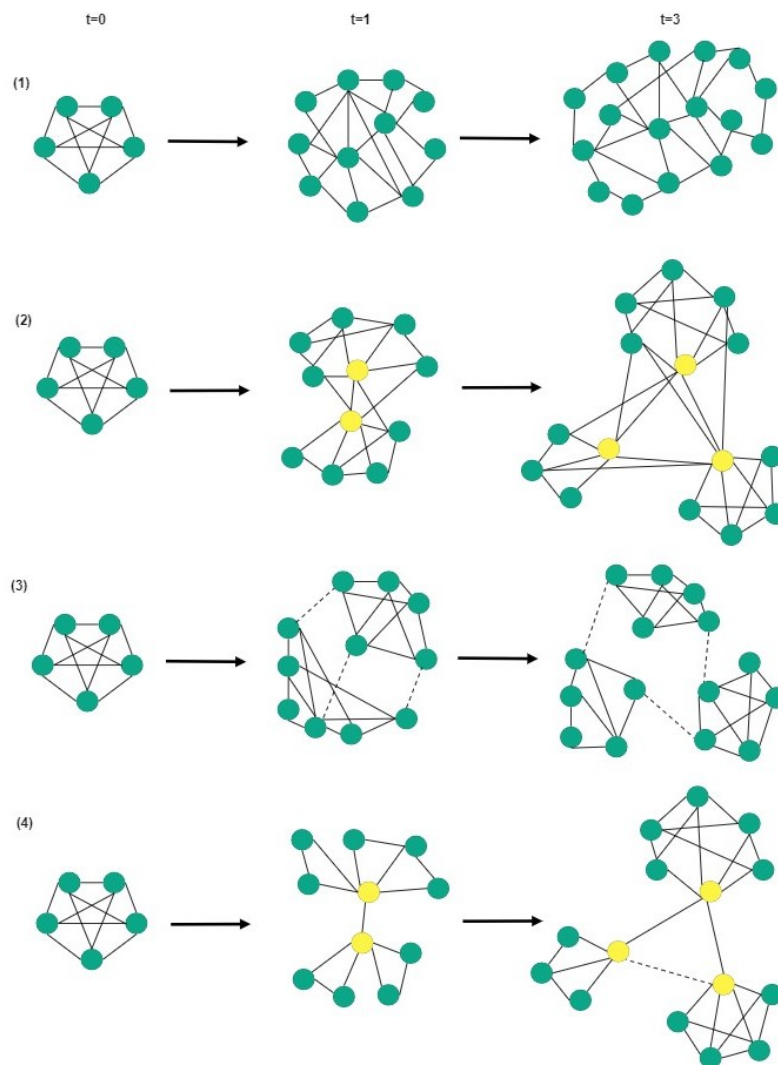
mallinnuksessa objektien lukumäärä on yleensä pieni, vain noin 5-20, mallilta vaaditaan huomattavaa tarkkuutta jo pienessäkin mittakaavassa. Skaalautumattomassa vuorovaikutusverkkomallissa tarkkuutta voidaan lisätä tiimiläisten kelpoisuuden määrittämisellä toisin kuin Guimerán ja hänen tiiminsä mallissa. On kuitenkin hyvin todennäköistä, ettei kelpoisuutta saada määriteltyä niin tarkasti, että skaalautumaton vuorovaikutusverkkomalli toimisi suoraan tiimirakenteen mallintamiseen.

Lähimmäksi tarkkaa skaalautumattoman vuorovaikutusverkkomallin mukaista tiimirakennemallia päästään kun kelpoisuutta kuvataan useammalla muuttujalla. Ihmisten muuttaminen numeraaliseksi systeemiksi on kuitenkin aikojen saatossa osoittautunut haastavaksi. Käytännössä tämä on kuitenkin osittain mahdollista tietäen yksinkertaistuksin. Yksi tapa on esittää muuttujat binaarisesti tai kapealla diskreetillä asteikolla. Muuttujille tulisi asettaa painoarvot ja laskea tätä kautta kelpoisuuskerroin jokaiselle tiimin jäsenelle. Muuttujiksi voisi määritellä esimerkiksi tiimin jäsenen luonteen, ulospäinsuuntautuneisuuden, kokemuksen, aseman tiimin sisällä sekä projektin kannalta oleelliset taidot. Tämäkään ei todennäköisesti vielä riitä tarkan mallin luomiseksi. Kelpoisuus kuvaa kuinka todennäköisesti tiimin jäsenen muodostaa linkkejä muiden tiimin jäsenten kanssa yleisellä tasolla. Ongelmaksi kuitenkin muodostuu, ettei kelpoisuus huomioi ihmisten tapaa muodostaa linkkejä pienessä mittakaavassa osittain epärationaalisesti. Skaalautumattoman vuorovaikutusverkkomallin perusteella kahden suuren kelpoisuuden omaavan tiimin jäsenen välille tulisi todennäköisyyksien mukaisesti lähes varmasti muodostua linkki. Todellisuus ei kuitenkaan ole näin yksinkertainen. Kilpailuasema, eri näkemykset tai eri luonnetyypit saattavat esimerkiksi aiheuttaa tilanteen, jossa linkkiä ei muodostu. Toimivan mallin tulisi kuitenkin pystyä kuvaamaan miten tällaiset tilanteet vaikuttavat tiimidynamiikkaan ja sen rakenteeseen.

Lisäämällä malliin sovellettu klusterikerroin, pystytään mallintamaan tätä ihmisille tyypillistä ominaisuutta paremmin. Klusterikertoimen tulisi huomioida eri muuttujien vaikutus kahden tiimiläisen välisen linkin muodostumisen todennäköisyydelle. Muuttujina voisi käyttää samoja muuttujia kuin kelpoisuuden kanssa. Näiden avulla kuitenkin pitäisi määritellä, mitkä muuttujayhdistelmät edistävät kahden tiimiläisen välisen linkin muodostumista ja mitkä muuttujat sopivat heikosti yhteen. Klusterikertoimeen pitäisi sisältyä myös rationaalinen osa. Jos tiimin sisällä on useampi keskeneräinen projekti, todennäköisesti saman projektin parissa työskentelevien välille muodostuu linkit. Klusterikerroin kuvaisi tällöin myös nimensä mukaisesti tiimin sisäistä klusteroitumista. Klusterikertoimen ollessa lähellä vakiota kaikkien tiimiläisten välillä, klustereiden muodostumisen todennäköisyys olisi pieni. Vastavasti klusterikertoimen vaihdellessa tiimiläisten välillä huomattavasti, klustereiden muodostumisesta tulisi todennäköisempää.

Ilman varsinaista mallia ja sen testaamista on kuitenkin vaikea arvioida kuinka tarkasti kelpoisuudella ja sovelletulla klusterikertoimella tiimirakennetta pystytään mallintamaan. Kuva 10 pyrkii kuvaamaan neljää hypoteettista tiimin kehityssuuntaa, joita kyseinen malli karkeasti voisi ennustaa. Suunnat kuvaavat erilaisten kelpoisuuksien ja klusterikertoimien oletettua vaikutusta tiimin kehitykseen. On kuitenkin huomioitava, että hypoteesi ei tarkasti määrittele jokaista tiimin jäsentä erikseen vaan yrittää hahmottaa vuorovaikutusverkon kokonaiskehitystä. Mitä pienempiä tiimejä

tällaisella mallilla haluttaisiin tarkastella, sitä tarkemmin yksittäisen tiimin jäsenen muuttujat pitäisi määrittellä. Tämä onkin mahdollisen mallin haaste. Onko mahdollista määrittää muuttujat ja näiden vaikutus kelpoisuuteen ja klusterikertoimeen niin tarkasti, että mallilla pystyttäisiin saamaan tarvittava tarkkuus? Samalla tulisi myös ymmärtää ettei mallista voi tehdä liian monimutkaista sen käytettävyyden kustannuksella. Toisaalta toimiva malli saattaisi uudistaa tiimi- ja organisaatiokenttien tutkimuksen. Esimerkiksi Monte Carlo -simulaation avulla edellä kuvatulla mallilla pystyttäisiin nopeasti ja ilman raskaita empiirisiä tutkimuksia testaamaan kuinka erilaiset tiimikoot, rakenteet ja tiimin jäsenet toimitisivat keskenään.



Kuva 10: Neljä hypoteettista kehitysuuntaa tiimin kasvulle.

- (1) Klusterikertoimet vakiot. Objektien kelpoisuudet vakiot.
- (2) Klusterikertoimet vakiot. Objektien kelpoisuudet vaihtelevat.
- (3) Klusterikertoimissa eroja. Objektien kelpoisuudet vakiot.
- (4) Klusterikertoimissa eroja. Objektien kelpoisuudet vaihtelevat.

## 4 Yhteenveto

Tässä työssä on pyritty selittämään sosiologisessa tutkimuksessa havaittuja tehokkaan tiimirakenteeseen vaikuttavia ilmiöitä matematiikan ja vuorovaikutusverkkojen avulla. Työn tarkoituksena on ollut selvittää kuinka tiimirakenteita tulisi käyttää osana organisaatorakenteita. Lisäksi työssä on pohdittu olisiko matemaattista mallinnusta mahdollista käyttää yksittäisten tiimien tehokkuuden arviointiin. Samassa yhteydessä esiteltiin todellisten vuorovaikutusverkkojen mallintamiseen käytettyjä vuorovaikutusverkkomalleja.

Tehokkaan tiimirakenteen tarkastelun keskiössä on ollut tiimin koon vaikutus tiimin sisäiseen kommunikaatioon. Työssä on perusteltu kuinka homogeenisen vuorovaikutusverkon ylläpitämisen työläys aiheuttaa tiimin vuorovaikutusverkon pirstaloitumista yli kuuden hengen tiimeissä. Pirstaloitumisen avulla pystyttiin selittämään vahvan johtajan merkitystä suuremmissa tiimeissä samoin kuin liian suurten tiimien tehottomuutta. Tiimirakenteen matemaattista mallia on pyritty lähestymään small world- ja skaalautumattomien vuorovaikutusverkkomallien avulla. Työn tavoitteena on ollut pohtia voisiko sovellettu klusterikerroin ja kelpoisuus toimia tiimirakenteen mallintamisessa.

Tulosten perusteella organisaation sisäisten tiimien jatkuva kasvu on epätehokas tapa kasvattaa tiimien tehokkuutta. Sosiologinen tutkimus osoittaa yleisesti tiimien olevan tehokkaimmillaan 5-8 henkilön kokoisina. Tässä työssä osoitettiin jo 11 henkilön tiimin pitämisen yhtenäisenä olevan käytännössä mahdotonta. Organisaatioiden tulisikin panostaa tiimin jäsenten taitoon ja yhteensopivuuteen tehokkuuden kasvuun pyrkiessä.

Lisäksi tässä työssä on pohdittu voitaisiinko pienikokoisen tiimin rakennetta mallintaa matemaattisesti riittävän tarkasti. Seuraava askel olisi tehdä kattavaa tutkimusta sovelletun klusterikertoimen ja kelpoisuuden mahdollisesta käytettävyydestä organisaation sisäisen tiimirakenteen mallintamisessa. Mahdollisten tulosten näyttäytyessä positiivisina, mallin luomista voitaisiin harkita. On kuitenkin huomattava, että tarkan mallin luominen vaatisi huomattavan määrän empiristä lisätutkimusta ja testausta. On myös mahdollista, että tarpeeksi tarkan mallin luominen ei nykyisellä vuorovaikutusverkkojen tietämyksellä ole vielä mahdollista.

Tämä työ osoittaa, että organisaation sisäisen tiimityön tutkimus on jatkossakin tärkeää. Tiimirakenteiden ja -dynamiikan ymmärryksen ja tietämyksen lisääntyminen auttaa tiimien rakentamisessa. Tämä kuitenkin edellyttää tutkimustuloksilta selkeyttä ja vahvaa perustaa. Tällä hetkellä tiimikokojen jatkuva kasvu viittaa siihen, ettei sosiologisten tutkimusten tuloksia oteta tarpeeksi vakavasti. Matematiikka ja vuorovaikutusverkot voivat olla siinä tulevaisuudessa apuna.

## Viitteet

- Robert Albanese ja David D Van Fleet. Rational behavior in groups: The free-riding tendency. *Academy of Management review*, 10(2):244–255, 1985.
- Réka Albert ja Albert-László Barabási. Topology of evolving networks: local events and universality. *Physical review letters*, 85(24):5234, 2000.
- Richard D Alexander. The evolution of social behavior. *Annual review of ecology and systematics*, pages 325–383, 1974.
- Gerald Alexanderson. About the cover: Euler and königsberg’s bridges: A historical view. *Bulletin of the american mathematical society*, 43(4):567–573, 2006.
- Albert-Laszlo Barabasi. *Linked: How everything is connected to everything else and what it means*. Plume, 2003.
- Albert-László Barabási ja Réka Albert. Emergence of scaling in random networks. *science*, 286(5439):509–512, 1999.
- Ginestra Bianconi ja A-L Barabási. Competition and multiscaling in evolving networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 54(4):436, 2001.
- John Adrian Bondy, Uppaluri Siva Ramachandra Murty, et al. *Graph theory with applications*, volume 290. Macmillan London, 1976.
- Nelson Cowan. The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current directions in psychological science*, 19(1):51–57, 2010.
- Dennis J Devine, Laura D Clayton, Jennifer L Philips, Benjamin B Dunford, ja Sarah B Melner. Teams in organizations: Prevalence, characteristics, and effectiveness. *Small group research*, 30(6):678–711, 1999.
- Peter Drucker. *Management challenges for the 21st century*. Routledge, 2012.
- George Georgiadis. Projects and team dynamics. *The Review of Economic Studies*, 82(1):187–218, 2015.
- Roger Guimera, Brian Uzzi, Jarrett Spiro, ja Luis A Nunes Amaral. Team assembly mechanisms determine collaboration network structure and team performance. *Science*, 308(5722):697–702, 2005.
- Casey Ichniowski ja Kathryn Shaw. Beyond incentive pay: Insiders’ estimates of the value of complementary human resource management practices. *Journal of Economic Perspectives*, 17(1):155–180, 2003.
- Jon R Katzenbach ja Douglas K Smith. *The wisdom of teams: Creating the high-performance organization*. Harvard Business Review Press, 2015.

- Carl E Larson, Carl Larson, ja Frank MJ LaFasto. *Teamwork: What must go right/what can go wrong*, volume 10. Sage, 1989.
- Pierre Jinghong Liang, Madhav V Rajan, ja Korok Ray. Optimal team size and monitoring in organizations. *The Accounting Review*, 83(3):789–822, 2008.
- Stanley Milgram. The small world problem. *Psychology today*, 2(1):60–67, 1967.
- Henry Mintzberg. *Structure in fives: Designing effective organizations*. Prentice-Hall, Inc, 1993.
- Mark Newman, Steven Strogatz, ja Duncan J Watts. Random graphs with arbitrary degree distributions and their applications. *Physical review E*, 64(2):026118, 2001.
- Mark Ed Newman, Albert-László Ed Barabási, ja Duncan J Watts. *The structure and dynamics of networks*. Princeton university press, 2006.
- Mark EJ Newman ja Duncan J Watts. Scaling and percolation in the small-world network model. *Physical review E*, 60(6):7332, 1999.
- Hamid Tohidi ja Mohammad Jafar Tarokh. Productivity outcomes of teamwork as an effect of information technology and team size. *International Journal of Production Economics*, 103(2):610–615, 2006.
- Dashun Wang ja Albert-László Barabási. *The Science of Science*. Cambridge University Press, 2021.
- Duncan J Watts ja Steven H Strogatz. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *nature*, 393(6684):440–442, 1998.
- Duncan J Watts, Peter Sheridan Dodds, ja Mark EJ Newman. Identity and search in social networks. *science*, 296(5571):1302–1305, 2002.
- Michael A West. *Effective teamwork: Practical lessons from organizational research*. John Wiley & Sons, 2012.
- Susan A Wheelan. Group size, group development, and group productivity. *Small group research*, 40(2):247–262, 2009.
- Stephen J Zaccaro, Andrea L Rittman, ja Michelle A Marks. Team leadership. *The leadership quarterly*, 12(4):451–483, 2001.