



30.4.2012

Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

TEKNISTALOUDELLINEN TIEDEKUNTA

TUOTANTOTALOUDEN OSASTO

CS31A9001 Kandidaatintyö ja seminaari - Innovaatio- ja teknologiajohtaminen

TRIZ – Systemaattinen teknisten ongelmien ratkaisumenetelmä

TRIZ - Systematic method for solving technical problems

Kandidaatintyö

Sampsa Tikkala

Mikko Wilska

TIIVISTELMÄ

Tekijät: Sampsa Tikkala, Mikko Wilska	
Työn nimi: TRIZ – Systemaattinen teknisten ongelmien ratkaisumenetelmä TRIZ – Systematic method for solving technical problems	
Osasto: Tuotantotalous	
Vuosi: 2012	Paikka: Lappeenranta
Kandidaatintyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 34 sivua, 6 taulukkoa ja 16 kuvaa Tarkastaja: tutkijaopettaja Kalle Elfvengren	
Hakusanat: TRIZ, tuotekehitys, teknisten ongelmien ratkaiseminen, innovointi, ristiriita	
Keywords: TRIZ, product development, solving technical problems, innovation, contradiction	
<p>Tämän kandidaatintyön tavoitteena on kartoittaa TRIZ-menetelmää teknisen ongelmanratkaisuprosessin työkaluna, sekä antaa lukijalle yleiskatsaus menetelmän työkaluista ja hyödyistä esimerkkien avulla. Työ vastaa kysymyksiin: Soveltuuko TRIZ tekniseen ongelmanratkaisuun? Miten TRIZ:in koulutus tulisi toteuttaa?</p> <p>Työn teoria pohjautuu alan julkaisuihin sekä yritysten raportoimiin tuloksiin. Havainnollistavina esimerkkeinä on käytetty kirjallisuudesta löytyneitä, sekä itse havaittuja ongelmia ratkaisuihin.</p> <p>Työ on toteutettu kirjallisuustyönä. Työn tuloksena toteamme, että TRIZ soveltuu hyvin tekniseen ongelmanratkaisuun tarjoten perinteistä ongelmanratkaisua tehokkaammat menetelmät. TRIZ korostaa ongelmia aiheuttavien ristiriitojen etsimistä, analysointia ja täydellistä poistamista. Menetelmällä voidaan lisätä ja nopeuttaa innovaatioiden syntyä, koska ristiriidan ratkaisussa voidaan hyödyntää jo muissa patenteissa käytettyjä ratkaisumalleja.</p>	

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn tavoite.....	1
1.2	Rajaukset	1
1.3	Työn rakenne.....	1
2	TRIZ YLEISESTI	3
2.1	Historia	3
2.2	Ongelmanratkaisu perinteisin menetelmin.....	4
2.3	Miksi TRIZ?.....	5
2.4	TRIZ verrattuna perinteiseen ongelmanratkaisumenetelmään.....	6
2.5	Toimintaperiaate.....	8
2.6	Hyödyt.....	9
3	TYÖKALUT	11
3.1	Ristiriita.....	11
3.2	Resurssit	13
3.3	Ideaaliratkaisu	14
3.3.1	Psykologinen inertia	14
3.3.2	Pienet älykkäät ihmiset	15
3.3.3	STC	16
3.4	Ratkaisu.....	17
3.4.1	Innovaatioiden viisi tasoa	18
3.4.2	Innovatiiviset periaatteet.....	19
3.4.3	Ainekentät.....	20
3.4.4	Tietokannat	22
3.5	Kehityslait	23
3.5.1	Laki kehityksen epätasaisuudesta	23
3.5.2	Integroituminen ylemmän tason systeemiin	24
3.5.3	Makrotasolta mikrotasolle siirtyminen	24
3.5.4	Ainekenttien käytön lisääminen.....	25
3.5.5	Systeemin laajeneminen ja supistuminen	25
3.5.6	Systeemin evoluution neljä vaihetta	26
3.6	ARIZ.....	27
4	TRIZ:IN IMPLEMENTOINTI KÄYTÄNNÖSSÄ.....	28
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
6	YHTEENVETO	31
7	LÄHTEET	32
	LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

3D	kolmiulotteinen
ARIZ	Algoritm resheniya izobretatelskikh zadatch
F	Kenttä ainekentän kuvaajassa
IFR	Ideal final result
LCD	Liquid crystal display
LED	Light emitting diode
STC	Size, time and cost
TIPS	Theory of inventive problem solving
TRIZ	Teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch
TV	Televisio

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena on tarkastella soveltuuko TRIZ tekniseen ongelmanratkaisuun ja tarjota tiivis perehdyttämispaketti TRIZ:istä henkilöille, joilla ei ole aikaisempaa kokemusta tästä teknisten ongelmien ratkaisumenetelmästä. Työ tarjoaa lukijalle yleisen käsityksen menetelmän tarjoamista hyödyistä ja toimintaperiaatteista. Lukija saa perusvalmiudet menetelmän soveltamiseksi yksinkertaisiin ongelmiin ja tehostamaan luovaa ajattelua.

Työ vastaa kysymyksiin: Soveltuuko TRIZ tekniseen ongelmanratkaisuun? Miten TRIZ:in koulutus tulisi toteuttaa?

1.2 Rajaukset

TRIZ:in periaatteista ja työkaluista on valikoitu helpoimmin sisäistettävät. TRIZ:iin liittymättömät tuotekehitysmenetelmät on rajattu pois. Lisäksi työn laajuuden rajoittamiseksi TRIZ:in eri haaroista on esitelty vain ARIZ ja sekin on käsitelty hyvin lyhyesti. 40 innovatiivista periaatetta ja 76 ainekenttiin liittyvää vakioratkaisua ovat tärkeä osa perinteistä TRIZ:iä. Kaikkia näitä kohtia ei tarkastella erikseen, vaan joukosta on valittu muutama menetelmien toimintaperiaatteiden havainnollistamiseksi.

TRIZ:iä käytetään paljon teollisessa muotoilussa, etenkin aksiomaattisen suunnittelun ohessa, mutta tässä työssä ei käydä läpi TRIZ menetelmää muotoilun ongelmien ratkaisemisessa. Ristiriidoista hallinnollinen ristiriita (tilanne jossa ihmiset tunnistavat ongelman, mutta eivät tiedä sen syytä) on rajattu pois, sillä se ei liity teknisten systeemien ristiriitojen ratkaisuun.

1.3 Työn rakenne

Työssä esitellään ensin perinteinen yrityksen ja erehdyksen ongelmanratkaisumenetelmä, jota verrataan TRIZ-menetelmään. Vertailun jälkeen luodaan yleiskatsaus TRIZ:in toimintaperiaatteeseen ja hyötyihin. Yleiskatsauksen jälkeen alkaa tarkempi perehtyminen TRIZ:in työkaluihin ja menetelmiin. Nämä esitellään helpoimmin sisäistettävästä ristiriidan konseptista alkaen. Menetelmien ja työkalujen toimintaa on havainnollistettu käytännön esimerkeillä. Lopuksi

tarkastellaan menetelmän implementointia käytäntöön ja kootaan työn tuloksia johtopäätöskappaleessa.

2 TRIZ YLEISESTI

2.1 Historia

TRIZ:in (teoriya resheniya izobretatelskikh zadatch, englanninkielinen akronyymi: TRIZ theory of inventive problem solving) on kehittänyt venäläinen merivoimien luutnantti Genrich S. Altshuller. Menetelmän kehitys alkoi vuonna 1946. (Barry, Domb ja Slocum 2006) Jo 14-vuotiaana ensimmäisen patenttinsa julkaissut Altshuller toimi 1940-luvulla merivoimien patenttivirusossa keksintöjen tarkastajana. Hän tutki tuhansia patenteja ja havaitsi, että hyvin erilaisia ongelmia oli ratkaistu lähes samankaltaisilla ratkaisuilla. Näistä ratkaisujen ryhmistä muodostuivat myöhemmin 40 innovatiivista periaatetta. (Altshuller, Shulyak ja Rodman, S., 2005 s. 11-12) Altshuller huomasi myös, että kaikkien teknisten systeemien kehitys noudattaa tiettyjä kehityslakeja (Shulyak s. 2). Hän havaitsi myös, että parannettaessa yhtä systeemin ominaisuutta, toinen ominaisuus yleensä kärsii (Altshuller et al. 2005 s. 11-12). Altshuller hyödynsi havaintojaan kehittäessään useita patenteja armeijalle, näistä patenteista esimerkiksi tapa paeta sukellusveneestä julistettiin heti sotasalaisuudeksi (Altshuller 1996 s. 170).

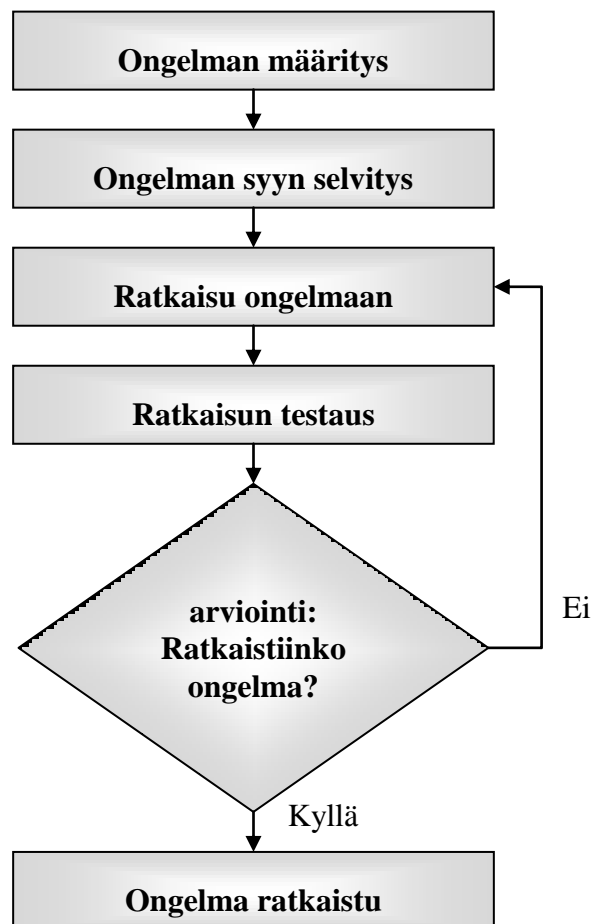
Vuonna 1956 julkaistiin "Psychology of inventive creation", joka oli ensimmäinen artikkeli TRIZ:istä. Altshuller tutki miten innovaatio oli saanut alkunsa 200 000 eri patentissa. Näiden havaintojen pohjalta hän julkaisi teknisen ongelman konseptin, ideaalisen systeemin konseptin ja 40 innovatiivista periaatetta. (Altshuller et al. 2005 s. 11-12) Altshullerin johdolla avattiin 1971 Neuvostoliiton Bakuun ensimmäinen TRIZ-opetuslaitos sekä TRIZ-kehityskeskus. Laitoksen perustaminen aloitti TRIZ-liikkeen ja uusia instituutioita perustettiin suurimpiin kaupunkeihin Neuvostoliiton alueella. Vuonna 1989 perustettiin TRIZ-yhdistys, jonka presidentiksi Altshuller valittiin. (Altshuller et al. 2005 s. 11-12)

Kylmän sodan jälkeen TRIZ levisi myös Neuvostoliiton ulkopuolelle. 1995 Altshuller instituutio perustettiin Bostoniin Yhdysvaltoihin. (Altshuller et al. 2005 s. 11-12) Tämän jälkeen TRIZ alkoi yleistyä myös länsimaissa ja nykypäivänä se on käytössä useissa monikansallisissa yrityksissä kuten Samsungilla, Fordilla, General Electricillä ja Siemensillä.

2.2 Ongelmanratkaisu perinteisin menetelmin

Ihmiset ovat kautta aikain ratkaisseet ongelmia yrityksen ja erehdyksen kautta. Joskus ratkaisu on löytynyt ensimmäisellä yrityksellä, toisinaan on voinut kulua vuosia ja tuhansia yrityksiä ennen ratkaisun löytymistä. Systemaattisuuden puuttuessa tällainen kvantitatiivinen kehitysprosessi voi usein olla tehotonta. (Altshuller 1996 s. 54)

Perinteinen yritykseen ja erehdykseen perustuva ongelmanratkaisutapa on esitetty kuvassa 1. Ensimmäinen vaihe on ongelman määrittäminen, jonka jälkeen selvitetään ratkaistavan ongelman perimmäinen syy. Ongelmanratkaisun kolmannessa vaiheessa etsitään ratkaisu ongelmaan ja neljännessä vaiheessa tätä ratkaisua testataan käytännössä. Viimeisessä vaiheessa ratkaisun toimivuutta arvioidaan. Jos ongelmaa ei valitulla ratkaisulla saada poistettua tyydyttävästi, palataan kolmanteen vaiheeseen eli ratkaisun etsintään ja toistetaan tämä iteraatiokierros niin monta kertaa kuin on tarve. (Yeoh 2009 s. 12) Esimerkiksi ladattavan akun kehitykseen tarvittiin arviolta yli 10 000 kokeilua ennen lopullisen ratkaisun löytymistä (Cameron 2010 s. 5).

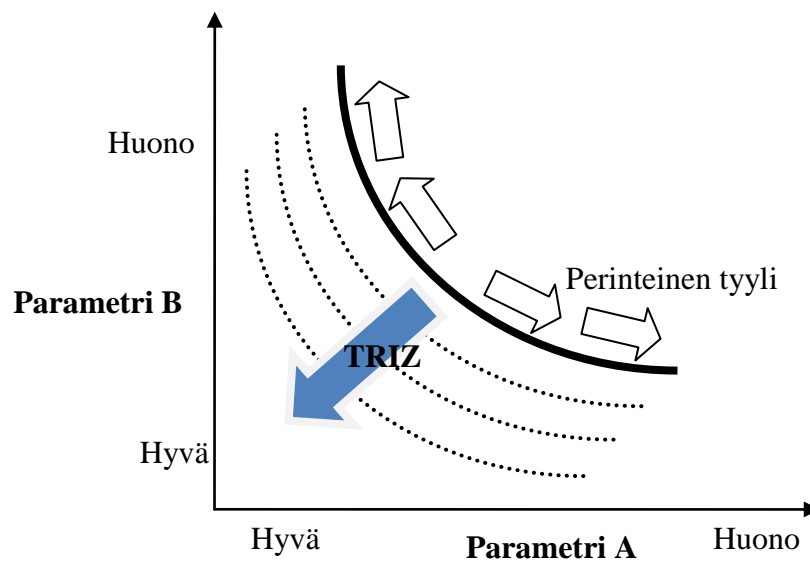


Kuva 1. Perinteinen ongelmanratkaisuprosessi (Yeoh 2009 s. 12)

2.3 Miksi TRIZ?

“Vaikka maailmassa on niinkin paljon suunnittelutoimintaa, tavoista joilla ihmiset suunnittelevat on verrattain vähän tietoa. Suunnittelun taitoa on pidetty jonakin joka löytyy jollain asteella jokaiselta ihmiseltä, mutta vain harva on erityisen lahjakas suunnittelija.” (Cross 2008 s. 19) Vaikka yleinen käsitys luovuudesta ja keksimisestä on tällainen, kouluissa opetetaan muita luovuutta vaativia aineita kuten musiikkia ja taiteita (Altshuller 1996). Altshuller kehitti TRIZ:in löydettyään teknisten systeemien kehityksestä säännönmukaisuuksia, joiden pohjalta hän muodosti teknisten systeemien kehityslait. Tuntemalla nämä kehityslait ongelmien ratkaisu ja sitä kautta teknisten systeemien kehitys voidaan toteuttaa systemaattisesti ja tehokkaasti. (Altshuller 1996 s. 54)

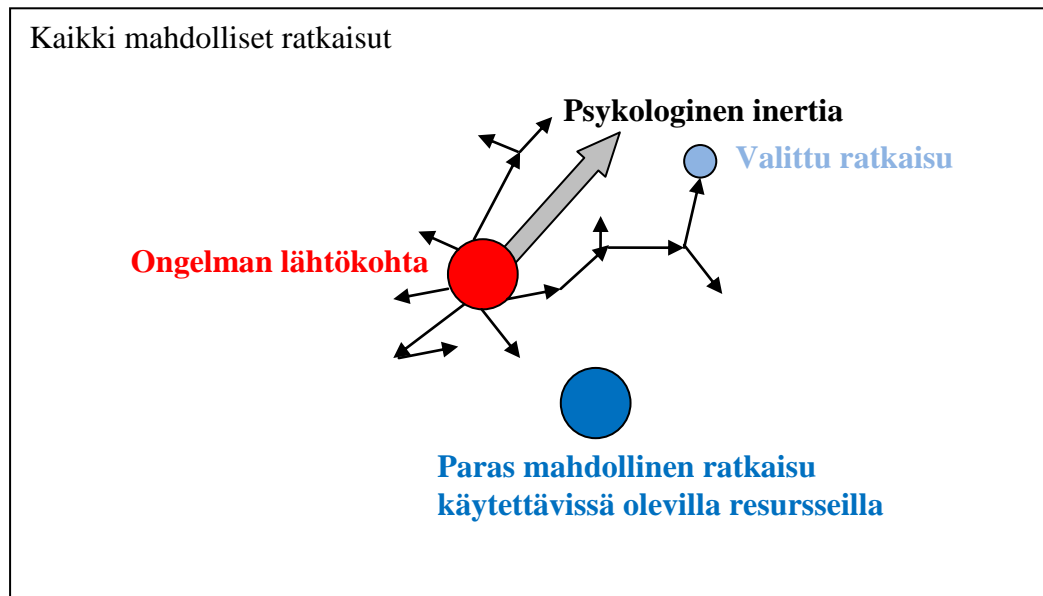
“Suunnittelupäätökset kaikille paitsi kaikista yksinkertaisimmille tuotteille vaativat aina kompromisseja teknisen suorituskyvyn osalta.” (Lewis, Chen ja Schmidt 2006 s. 171) TRIZ haastaa tämän teknisen suunnittelun perusolettamuksen. Perinteisessä systeemien kehittämisen ajatteluprosessissa (kuva 2) hyväksytään parametrin A huononeminen, kunhan parametri B paranee tarpeeksi. Noudattaen TRIZ:in periaatteita esille nousseet ristiriidat voidaan ratkaista, jolloin sekä parametri A että parametri B paranevat ja systeemin ideaalisuus kasvaa. (Mann 2000)



Kuva 2. TRIZ tavoite (Orloff 2003 s. 4)

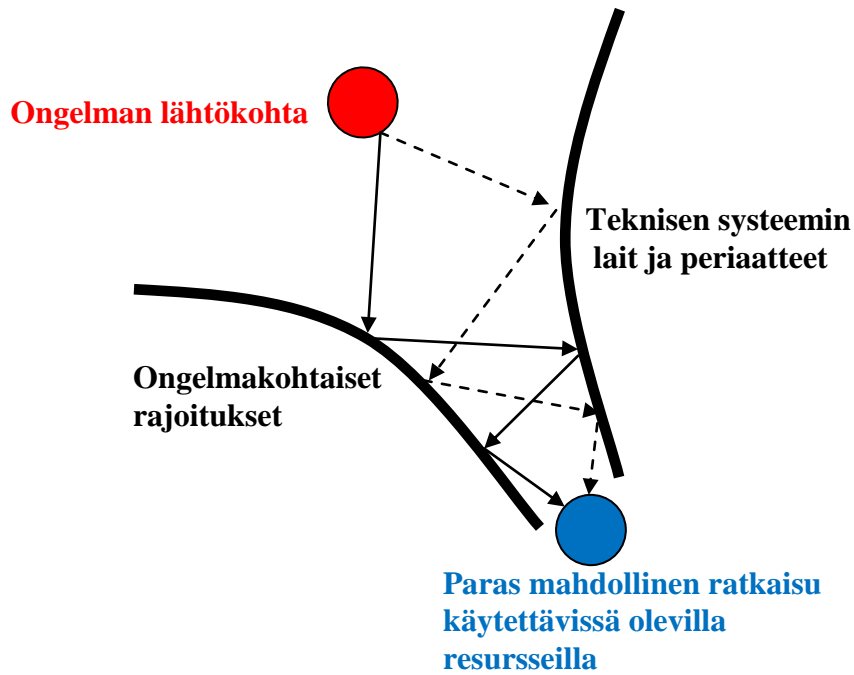
2.4 TRIZ verrattuna perinteiseen ongelmanratkaisumenetelmään

Suurin osa innovoinnista suoritetaan vielä nykyäänkin kvantitatiivisilla menetelmillä, esimerkiksi aivoriihessä (kuva 3) (Orloff 2003 s. 4-5). Menetelmän toiminta perustuu suuren ideamäärän keräämiseen. Näistä suurin osa hylätään ja joukosta poimitaan muutama, joista uskotaan saatavan paras lopputulos. (Cross 2008 s. 48) Aivoriihen tyyppinen innovointi tuottaa toimivia ratkaisuja, mutta usein toiminta on hyvin tehotonta (Orloff 2003 s. 4-5).



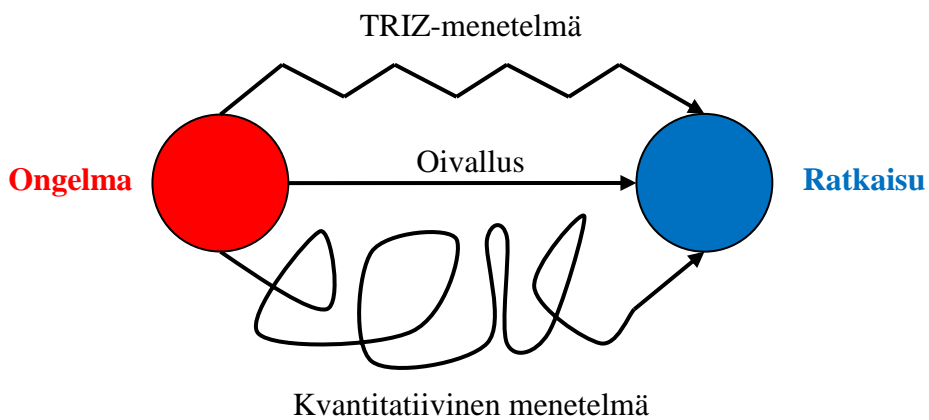
Kuva 3. Aivoriihi kvantitatiivisin menetelmin (Young 2004 s. 2)

TRIZ on sen sijaan kvalitatiivinen teoria, sillä sen tavoitteena on vähentää tarpeettomien kehitysehdotusten syntyä (kuva 5). Parasta mahdollista ratkaisua etsiessä tehokkainta olisi keskittyä ristiriitojen poistamiseen käyttäen saatavilla olevia tai muokattuja resursseja, menettelyjä ja vastaavuuksia. (Orloff. 2003 s. 4-5)



Kuva 4. Ratkaisun löytäminen TRIZ-menetelmällä (Young 2004 s. 3)

TRIZ:issä kehitysehdotuksia pystytään suuntaamaan teknisten systeemien kehityslakien ja periaatteiden avulla (kuva 4). Perinteisillä menetelmillä vastaavasti ajatellaan tavoitetta ja muodostetaan mahdollisia ratkaisuja. (Orloff 2003 s. 4-5) Kuvassa 5 on esitetty molemmat menetelmät ja lisäksi oivallus, jossa ratkaisu keksitään suoraan. Oivallus voi tapahtua riippumatta käytettävästä menetelmästä ja sen todennäköisyys kasvaa lähestyttäessä ratkaisua. (Adunka 2007a s. 1)



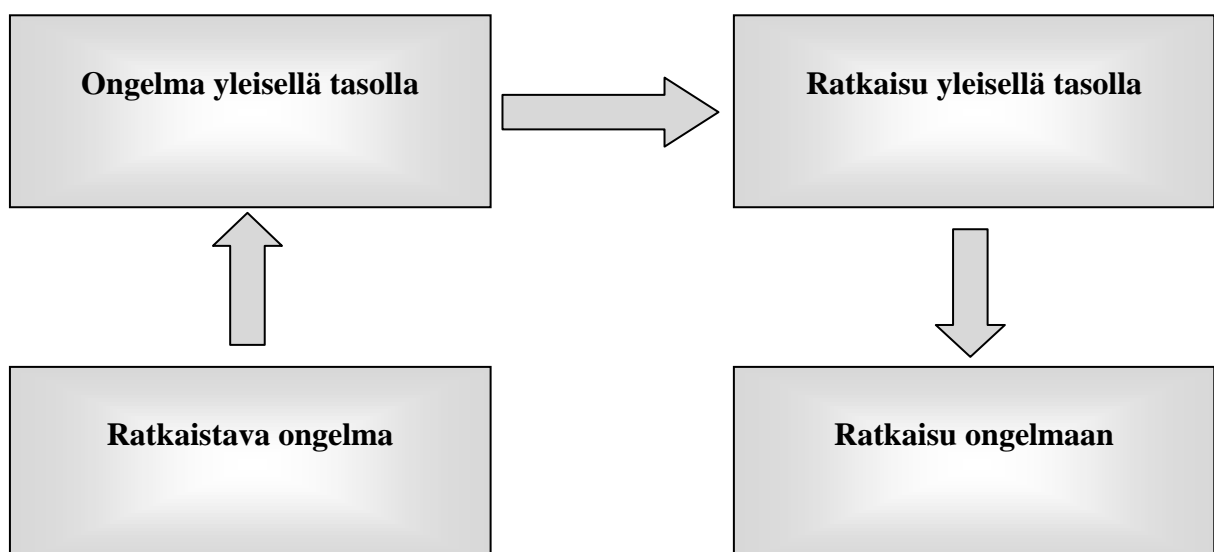
Kuva 5. Menetelmien erot (Adunka 2007b s. 3)

Muutokset yritysten toimintaympäristössä tapahtuvat yhä kiihtyvällä tahdilla. Pysyäkseen mukana tässä muutoksessa yrityksen on pystyttävä kehittämään tuotteitaan ja prosessejaan mahdollisimman tehokkaasti. (Heikkilä 2005 s. 82) TRIZ:in avulla tuotekehityksen panostukset voidaan ohjata tehokkaammin oikeaan suuntaan. Tehostuneen tuotekehityksen ansiosta uudet ratkaisut saadaan patentoitua ja otettua käyttöön ennen kilpailijoita. Tämän seurauksena yritys pystyy pitämään toimintansa kilpailukykyisenä ja kasvattamaan kilpailuetuaan.

2.5 Toimintaperiaate

Nykyään opiskelijat oppivat koulussa valtavasti asioita. Altshullerin mukaan kouluissa opetetun tiedon käytön tehokkuus on vain muutamia prosentteja maksimista. Tämä johtuu opetustavasta, jossa ilmiöt selitetään, mutta esimerkkejä käytännön sovelluksista harvoin käydään läpi. Hankalien ongelmien ratkaisussa tärkeintä ei ole valtava tietovarasto, vaan kuinka tehokkaasti henkilö pystyy tietojaan käyttämään. (Altshuller 1996 s. 74-75)

TRIZ perustuu oletukseen: lähes jokainen innovatiivinen ongelma, joka kehittäjille tulee vastaan, on jo ratkaistu aiemmin. Löytääkseen tämän ratkaisun kehittäjän on ensin muutettava ratkaistava ongelma yleisempään muotoon (kuva 6). Yleiselle ongelmalle ratkaisu voi löytyä miltä tahansa tekniseltä alalta. Kun yleinen ratkaisu on löytynyt, on tehtävänä enää muokata se juuri kehittäjän ongelmaan sopivaksi. (Barry et al. 2006) Seuraavaksi kaksi TRIZ:in toimintaperiaatetta kuvaavaa esimerkkiä.



Kuva 6. TRIZ:in periaate (Barry et al. 2006)

Ratkaistava ongelma on rakennuksen tuuletus kuumalla säällä. Rakennuksen tuuletusluukkujen on oltava kiinni kylmällä säällä ja avoinna kuumalla. Yleisellä tasolla tämä ongelma on muotoa: kuinka saada kiinteässä olomuodossa oleva objekti liikkumaan lämpötilan mukaan. Ratkaisu löytyy peruskoulun fysiikasta, kunhan vain osaamme etsiä sitä yleisen ongelman muodossa. Lämpölaajeneminen, eli eri aineet laajenevat erilaisessa suhteessa lämpötilan muutokseen nähden. Rakennuksen tuuletusluukut tulee suunnitella siten, että jos lämpötila saavuttaa tietyn pisteen, niin luukut avautuvat lämpölaajenemisen johdosta.

Seuraavana ongelmana on taskulampun paristojen loppuminen. Perinteisen ajatustavan mukaan tavoiteltaisiin paristojen kehittämistä pitkäikäisemmiksi. Tämä johtuu psykologisesta inertiasta, ihmisillä on taipumus rajata ratkaisuvaihtoehtoja sen mukaan, miten asioita on tehty aina ennenkin. Mutta vaikka uudet paristot kestäisivät pitempään kuin nykyiset, loppuisi niistä silti jossain vaiheessa virta. TRIZ tarjoaa useita työkaluja ratkaisun etsintään, tässä tapauksessa innovatiivisten periaatteiden (liite 1) 10. kohta tarjoaa meille ratkaisun: vaikutus etukäteen. Sijoitetaan lamppuun jo valmistusvaiheessa mekanismi, jolla sähköä voidaan tuottaa. Rungon sisään sijoitettu magneetti liikkuu lamppua heiluttaessa käämin läpi edestakaisin luoden elektromagneettista energiaa, joka ohjataan akun kautta led-valaisimeen. Kuvan 7 lampun paristojen loppumisen ongelma on näin ratkaistu lopullisesti. (Chang 2011 s. 5)



Kuva 7. Paristoton taskulamppu (Chang 2011 s. 5)

2.6 Hyödyt

TRIZ tarjoaa universaalit työkalut ja prosessit antaen jotain useimmille ongelmien ratkaisijoille. Altshuller arvioi TRIZ:in tekevän erittäin luovista ihmisistä kolme kertaa luovempia ja vähemmän luovista ihmisistä 10 kertaa luovempia. (Gadd 2011 s. 19) Hyötyjä on listattu taulukossa 1.

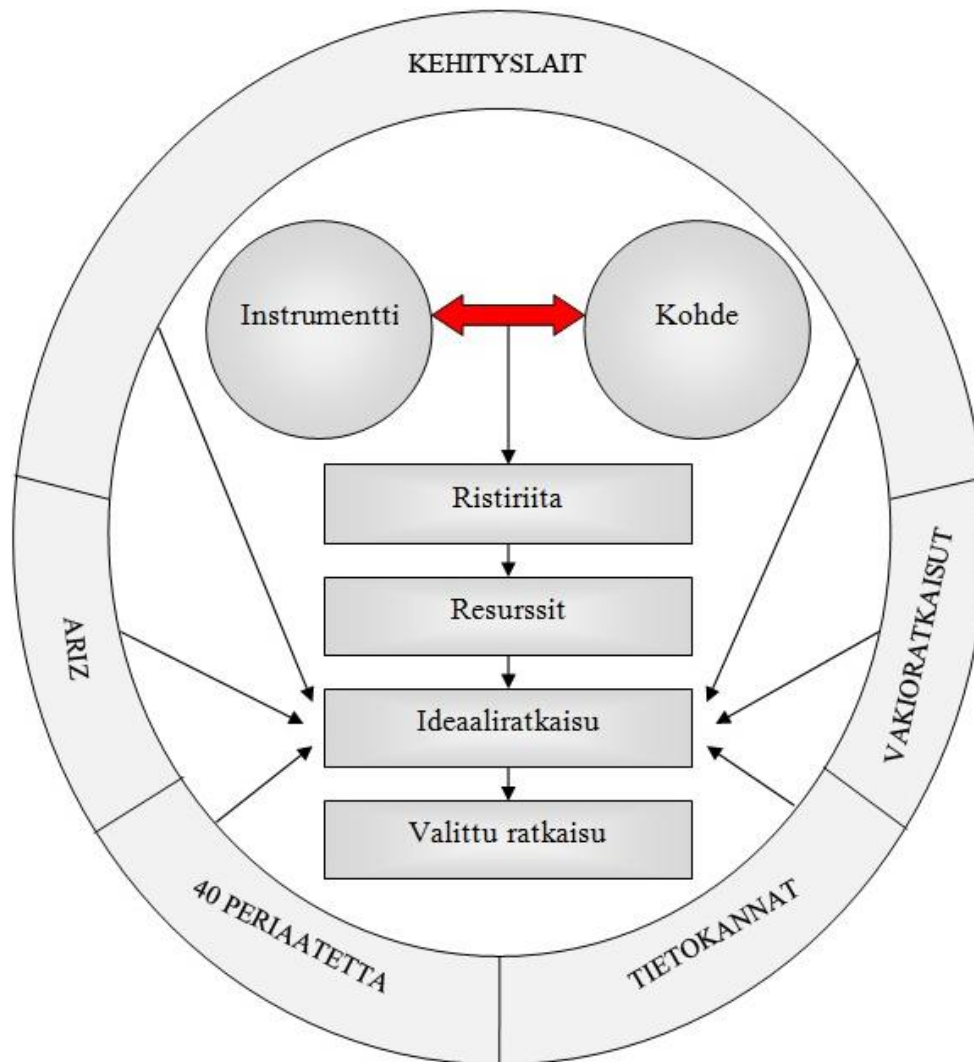
Taulukko 1. TRIZ:in hyötyjä (Cameron 2010 s. 4)

TRIZ:in työkalut ovat tehokkaita	Hyödyt
Teknisten ristiriitojen ratkaisuun	Pystytään systemaattisesti löytämään ratkaisuja, joiden keksiminen muuten saattaisi kestää jopa vuosia
Ongelmien syiden selvittämiseen	Oikein määritetty ongelman syy mahdollistaa parhaan ratkaisun löytämisen
Uusien teknisten systeemien suunnitteluun	Työkalut muodostavat toimivan systemaattisen rakenteen uusien systeemien suunnittelulle
Nykyisten teknisten systeemien parantamiseen	Ratkaisemalla ristiriitoja sekä hyödyntämällä systeemin sisäisiä ja ulkoisia resursseja voidaan nykyisiä systeemejä parantaa huomattavasti
Teknisten systeemien kehityksen ennustamiseen	Kehityslakien avulla pystytään ennustamaan systeemien kehityksen suunta ja näin ollen kohdistamaan tuotekehityksen voimavarat tehokkaasti
Tulevien ongelmien ennustamiseen ja ennaltaehkäisyyn	Etsimällä ristiriitoja systeemeistä pystytään ennustamaan tulevia ongelmia ja löytämään niihin ratkaisuja mahdollisimman aikaisin

TRIZ:in perustyökalujen ja menetelmien käytön pystyy omaksumaan nopeasti ja niiden avulla voidaan ongelmanratkaisuprosessille (esimerkiksi aivoriihelle) antaa systemaattisempi rakenne, vaikka kaikki osallistujat eivät TRIZ:iä entuudestaan tuntisikaan (Gadd 2011 s. 20). Yksinkertaisilla menetelmillä kuten STC:llä ja pienillä älykkäillä ihmisillä voidaan lisätä ryhmän mielikuvitusta ja löytää tätä kautta täysin uusia ratkaisumalleja.

3 TYÖKALUT

Seuraavaksi esittelemme tähän työhön valitut TRIZ -työkalut. Työkalujen väliset suhteet ilmenevät kuvasta 8. Jos lukijalla ei ole aikaisempaa kokemusta TRIZ:istä, suosittelemme palaamaan tähän kuvaan jokaisen työkalun kohdalla, jotta menetelmän kokonaiskuva hahmottuu selkeämmin.

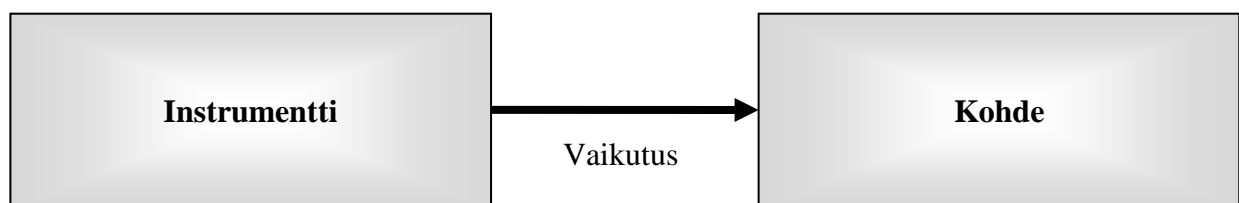


Kuva 8. TRIZ työkalut (Rantanen 2002 s. 32)

3.1 Ristiriita

Ristiriita on TRIZ:in keskeisin ja tunnetuin käsite (Prickett 2012 s. 253). Jokaisesta innovatiivisesta ongelmasta voidaan löytää ainakin yksi ristiriita (Rousselot 2012 s. 231). Altshullerin tutkimusten mukaan innovatiivinen ratkaisu tekniseen ongelmaan vaatii aina näiden ristiriitojen poistamista systemistä (Prickett 2012 s. 253). Huolellisen ristiriitojen määrittelyn jälkeen ratkaisua on huomattavasti helpompi etsiä esimerkiksi myöhemmin tässä työssä esiteltävän ristiriita-matriisin avulla.

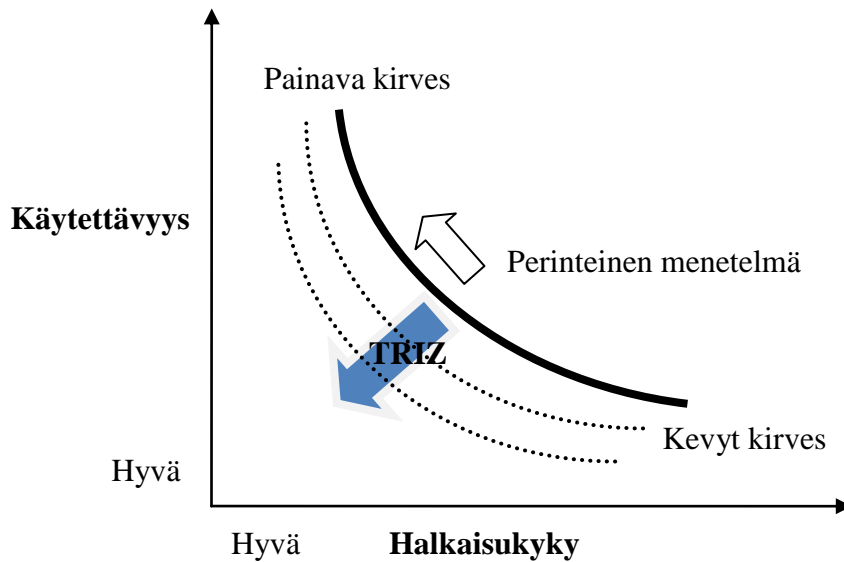
Ristiriidat jaetaan kahteen pääkategoriaan: teknisiin ja fysikaalisiin ristiriitoihin (Fresner, Jantschgi, Birkel, Bärnthaler ja Krenn 2010 s. 130). Tekninen ristiriita vaikuttaa yleensä useaan osaan systeemissä tai koko systeemiin. Fysikaalinen ristiriita vaikuttaa aina vain yhteen osaan systeemissä (Altshuller 1996 s. 21). Teknisessä ristiriidassa systeemin kaksi parametria ovat ristiriidassa keskenään. Esimerkiksi kannettavassa tietokoneessa tulisi samaan aikaan olla kirkas näyttö ja hyvä akkukesto. Fysikaalisessa ristiriidassa yhdeltä parametrilta tarvittaisiin samanaikaisesti useita ominaisuuksia. Esimerkiksi kahvikupin tulisi olla kuuma, jottei kahvi jäähydy ja viileä jotta siihen voi koskea (Fresner et al. 2010 s. 130). Toisena esimerkkinä lentokoneen pyörät, joita tarvitaan lähdössä ja laskeutumisessa, mutta niistä on haittaa lennon aikana (Young 2004 s. 3).



Kuva 9. Instrumentti ja kohde (Rantanen 2002 s. 43)

Ristiriitojen etsintä alkaa valitsemalla systeemistä instrumentti ja kohde. Instrumentti vaikuttaa kohteeseen muokaten sen ominaisuuksia (kuva 9). Joskus instrumentin ja kohteen valinta voi olla helppoa, mutta toisinaan se vaatii tarkkaa pohdiskelua. Väärin valitut instrumentti ja kohde johtavat korkeintaan huonoon ratkaisuun. Sama komponentti voi olla instrumentti tai kohde, riippuen systeemin osasta, jota tarkastellaan. (Rantanen 2002 s. 40-44) Seuraavaksi ristiriitoja selventävä esimerkki.

Halonhakkuuta tutkittaessa, yksi systeemin kehittämisessä esiin nouseva ristiriita on kirveen halkaisukyky – käytettävyys. Tämä ristiriita on tekninen ristiriita, sillä siinä parannettaessa yhtä parametria toinen huononee. Tästä teknisestä ristiriidasta pääsemme kohti fysikaalista ristiriitaa. Kirveen halkaisukyky paranee jos sen painoa kasvatetaan, mutta liian painava kirves on hankala käyttää. Tämä ristiriita on fysikaalinen ristiriita, sillä siinä saman parametrin tulisi samaan aikaan saada vastakkaisia arvoja: painon pitäisi olla suuri ja pieni. Perinteinen tuotekehitysajattelu pyrki vain löytämään optimaalisen suhteen halkaisukykyyn ja käytettävyyden välille (kuva 10). Fiskars ratkaisi tämän teknisen ristiriidan käyttämällä hyväkseen kirveen varren geometristä tilaa. Valmistamalla kirves ontolla varrella siirtyi painopiste lähemmäs terää lisäten halkaisukykyä ja samalla kokonaisuus keveni lisäten käytettävyyttä. (Rantanen 2002 s. 30)



Kuva 10. Käytettävyyden ja halkaisukykyyn suhde

3.2 Resurssit

Resurssi on muutos, joka poistaa ristiriidan (Rantanen 2002 s. 64). Kehittyessään systeemin tulisi käyttää enenevässä määrin saatavilla olevia resursseja. Tällaisia resursseja voivat olla mitkä tahansa materiaalit tai voimat systeemin sisällä ja läheisyydessä. (Prickett 2012 s. 257) Ongelmanratkaisijan tulee listata ja selvittää tarkasti kaikki resurssit, jotka ovat käytössä tai saatavilla (Moehrle 2005 s. 286-287). Usein ratkaisu ongelmaan voi löytyä jo pelkällä resurssien perusteellisella tunnistamisella (Hipple 2005 s. 24). Resurssien pääkategoriat ovat: aineet, kentät, tila, aika, informatiiviset ja toiminnalliset (Moehrle 2005 s. 286-287).

Esimerkkinä aiemmin huomaamatta jääneistä piiloresursseista käytämme tässä suuria roskasäiliöitä. Jättemäärän kasvaessa tarvittiin suurempia roskasäiliöitä, tila oli kuitenkin rajallinen. Lisäksi suuret roskasäiliöt lisäsivät hajuhaittoja. Ratkaisu ongelmaan oli ottaa geometrinen tila roskasäiliön alta käyttöön. Näin saadaan aikaan roskasäiliö, josta suurin osa on maan alla ja maan pinnalle jää vain pieni luukku roskien tiputusta varten. Lisäksi alhaisempi lämpötila maan alla vähentää hajuhaittoja. (Rantanen 2002 s. 67) Systeemin kehittyessä muodostuu usein näkymättömiä aineiden, vuorovaikutusten ja ominaisuuksien reservejä, joilla ristiriitoja voidaan ratkaista. Käyttämällä resursseja päästään lähemmäs ideaaliratkaisua. (Rantanen 2002 s. 64) Roskasäiliön muodon kehittyttyä, saadaan painovoima tehokkaammin puristamaan roskaa kasaan. Käytämme siis painovoimaa ideaalisuutta lisäävänä resurssina. (Rantanen 2002 s. 67)

3.3 Ideaaliratkaisu

Ideaaliratkaisu on täydellinen ratkaisu, jota ei kuitenkaan voida ikinä täysin saavuttaa. Kehittäjän tulee ongelmaa ratkaistessaan kuvitella ensin ideaaliratkaisu. Ideaaliratkaisua kehittäessä tulisi kuvitella kaiken olevan mahdollista ja esineiden toimivan tahtosi mukaan. Tämän jälkeen selvitetään, kuinka ideaaliratkaisuun päästään mahdollisimman pienillä muutoksilla nykyisessä systeemissä. (Altshuller 1996 s. 70-73) Ideaaliratkaisu ohjaa näin kehittäjää ratkaisun etsinnässä oikeaan suuntaan (Kraev 2007b). Tämän ansiosta näennäisesti vahvoja ratkaisuja voidaan systemaattisesti rajata pois, jos ne eivät ohjaa systeemiä kohti ideaaliratkaisua (Moehrle 2005 s. 287).

$$\text{Ideaalisuus} = \frac{\text{Hyötyjen summa}}{\text{Hinnan ja haittojen summa}} \quad (1)$$

Kuten ideaalisuuden laskukaava 1 osoittaa, ideaalisuutta voi kasvattaa kolmella tavalla (Kraev 2007b):

1. kasvattamalla hyödyllisiä vaikutuksia
2. laskemalla hintaa tai muita haitallisia ominaisuuksia
3. kahden ensimmäisen tavan yhdistelmä

Käytännössä ideaalisuuden tavoittelu tarkoittaa ristiriitojen ratkaisua, uusien resurssien hyödyntämistä, osien vähentämistä ja uusien fysikaalisten, kemiallisten ja geometrinen ilmiöiden ja vaikutusten käyttämistä. Haitalliset vaikutukset eivät kuitenkaan saa lisääntyä näiden uusien resurssien käytöstä. (Kraev 2007b) Kehittäjän tulee pyrkiä kohti ideaaliratkaisua sillä pitkällä aikavälillä tarkasteltuna systeemit kehittyvät aina kasvavan ideaalisuuden suuntaan (Prickett 2012 s. 254).

3.3.1 Psykologinen inertia

Ihmisillä on vahva taipumus psykologiseen inertiaan. Inertia johtuu kulttuurillisen ja opetuksellisen taustamme, kokemuksemme sekä maalaisjärjen käytöstä (Fey, Rivin 2005 s. 5). Psykologisen inertian seurauksena teemme oletuksia ongelmasta, resursseista ja ratkaisuista. Yleensä nämä oletukset tapahtuvat ilman, että tiedostamme niitä. Inertian seurauksena asetamme omia rajoituksia ja näistä johtuen ajatusprosessimme kohdistuu johonkin tiettyyn suuntaan (Kuva 4), emmekä pysty

näkemään yksinkertaista ratkaisua ongelmaamme. Psykologinen inertia voimistuu iän myötä henkilön saadessa lisää kokemusta. (Cameron 2010 s. 3)

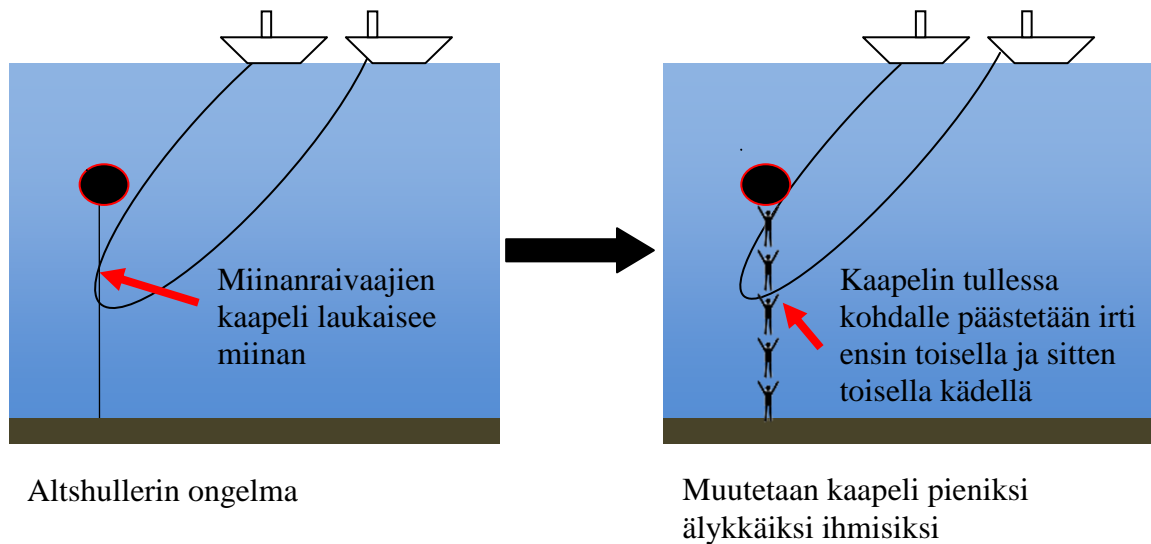
Hyvä esimerkki inertian aiheuttamista ongelmista löytyy 1970 luvulta Neuvostoliitosta, jossa suunniteltiin miehittämätöntä kuulentoa. Tarkoituksena oli lähettää maahan videokuvaa kuun pimeältä puolelta. Valaisimeksi tiedemiehet valitsivat hehkulampun. Ongelmaksi muodostui, ettei hehkulampun lasikupu kestäisi laskeutumista kuuhun. Tiedemiehet pohtivat joukolla, kuinka lasikupua voitaisiin vahvistaa tarpeeksi. Lopulta ongelmallinen tilanne raportoitiin projektin johtajalle. Hänen ensimmäinen kysymyksensä oli: "Mikä on hehkulampun lasikuvun tehtävä?". Vastaus oli helppo - pitää yllä tyhjiötä hehkulangan ympärillä. Kuussa on kuitenkin jo valmiiksi täydellinen tyhjiö, lasikupua ei siis tarvittu lainkaan. Psykologinen inertia esti projektin henkilöitä havaitsemasta kuussa käytettävissä olevia itsestään selviä resursseja. (Fey, Rivin 2005 s. 5)

TRIZ tarjoaa useita tehokkaita työkaluja psykologisen inertian vaimentamiseen. Seuraavaksi näistä työkaluista käydään läpi kaksi helppoa ja tehokasta menetelmää: pienet älykkäät ihmiset sekä SCT.

3.3.2 Pienet älykkäät ihmiset

Pienet älykkäät ihmiset -menetelmä vaatii vahvaa mielikuvitusta. Tarkoituksena on kuvitella kuinka ongelma ratkeaisi, jos käytettävissä olisi elottomien materiaalien sijasta pieniä älyllisiä ihmisiä. Kuinka nämä pienet ihmiset toimisivat ja ajattelisivat ratkaistakseen ongelman? Tällä tavoin voidaan muodostaa ideaaliratkaisu, jollaista ei välttämättä psykologisen inertian vuoksi muuten keksittäisi. Ideaaliratkaisun muodostamisen jälkeen kehitetään tekninen ratkaisu, joka kykenee toimimaan samoilla periaatteilla kuin hahmoteltu ideaaliratkaisu. (Altshuller 1996 s. 100-106)

Altshuller käytti tätä menetelmää, kun hänelle annettiin tehtäväksi suunnitella merimiinoille parempi kaapeli. Kuten kuvassa 11 on esitetty, miinanraivaus suoritettiin laivojen väliin viritetyllä raivauskaapelilla, joka takertuu miinan kaapeliin. Tämän seurauksena miina räjähtää tai nousee pintaan. Altshullerin tuli suunnitella kaapeli, joka pystyttäisiin edelleen kytkemään miinaan, mutta raivauskaapeli ei takertuisi siihen. Havainnollistaakseen ongelmaa ja vähentääkseen psykologista inertiaa hän kuvasi miinan kaapelin pieninä älykkäinä ihmisinä, jotka pitivät toisistaan kiinni. Tämän menetelmän ansiosta hän pystyi heti hahmottamaan ratkaisun. Pienet älykkäät ihmiset päästäisivät ensin toisen kätensä irti, jotta kaapeli pääsee käsien väliin ja ottaisivat taas ensimmäisellä kädellään kiinni. Tämän jälkeen ei tarvitsisi kuin päästää toinen käsi irti, jolloin raivauskaapeli vapautuu takertumatta miinan kaapeliin. (Gadd 2011 s. 16-17)



Kuva 11. Merimiina ongelma (Gadd 2011 s. 16-17)

Lopullinen ratkaisu on esitetty kuvassa 12. Kaapelin kehityksen ansiosta miinanraivauskaapeli päästää raivauskaapelin lävitseen eikä merimiinaa pystynyt enää helposti havaitsemaan ja tuhoamaan. Ratkaisun periaatetta käytetään nykyisin laajalti. (Gadd 2011 s. 16-17)



Kuva 12. Altshullerin ratkaisu merimiinan kaapeliin (Gadd 2011 s. 16-17)

3.3.3 STC

Yksi tapa rikkoa psykologista inertiaa on STC (size = koko, time = aika, cost = hinta) -menetelmä. Ratkaistaessa ongelmaa tulisi miettiä mitä tapahtuu, jos osien tai systeemin kokoa kasvattaisi tai pienentäisi huomattavasti. Mitä tapahtuisi jos aikaa olisi rajattomasti käytettävissä tai vain pieni hetki? Ja mitä tapahtuisi jos meillä olisi ääretön määrä rahaa systeemin parantamiseen tai vastaavasti ratkaisu ei saisi maksaa mitään. (Altshuller 1996 s. 94-99)

Aikaisemmassa esimerkissä kuulennolle hehkulamppua suunnitelleet tiedemiehet olisivat tämän menetelmän avulla voineet löytää ratkaisun. Tarkasteltaessa lampun lasikuvun valmistusta kustannusten näkökulmasta, on tiedemiesten mietittävä kuinka toimia, jotta kustannukset olisivat nollla. Tämä ei nykyisellä teknologiolla onnistuisi muuten kuin jättämällä lasikupu kokonaan pois. Henkilöt siis pakotetaan ajattelemaan tuttuun ajatusmallien ulkopuolella.

3.4 Ratkaisu

Ratkaisussa tulee huomioida, että tekniset systeemit koostuvat toisiinsa liittyvistä osista ja kokonaisuuksista. Parantamalla yhtä osaa systeemissä, saattaa se vaikuttaa negatiivisesti muihin osiin. (Altshuller 1996 s. 15) Esimerkiksi auton turvallisuutta voi parantaa käyttämällä paksumpaa terästä, mutta se tekee autosta painavamman nostaten auton kulutusta (Rantanen 2002 s. 47). Ratkaisussa tulee pyrkiä ideaalisuuteen systemaattisesti, ei tyytyä kompromisseihin (Rantanen 2002 s. 116). Auton turvallisuutta on ideaalisempaa parantaa käyttämällä kevyitä ja kestäviä rakenteita kuten hiilikuitua (40. innovatiivinen periaate - komposiitti, liite 1), näin auton turvallisuus paranee ja paino laskee parantaen samalla auton taloudellisuutta.

Valittua ratkaisua tulee ennen lopullista päätöstä analysoida seitsemällä ratkaisun arviointiperusteella, jotka on esitetty taulukossa 2. Näiden perusteella arvioidaan komposiittirakenteiden käyttöä auton rungossa. Jos vaihtoehtoisia ratkaisuja on useita, tulee niitä verrata näiden arviointiperusteiden avulla keskenään. (Rantanen 2002 s. 83)

Taulukko 2. Ratkaisujen seitsemän arviointiperustetta (Rantanen 2002 s. 83)

Ratkaisun arviointiperuste	Esimerkki: auton turvallisuus
1. Ratkeako keskeinen ristiriita?	Kyllä, turvallisuus paranee eikä kulutus kasva
2. Poistuuko haitallinen ominaisuus?	Ei, auto kuluttaa edelleen, eikä ole täysin turvallinen
3. Pysyykö/syntykö uusia hyödyllisiä ominaisuuksia?	Kyllä, auton turvallisuus paranee, paino vähenee, kulutus pienenee, kiihtyvyys paranee
4. Syntykö uusia haitallisia ominaisuuksia?	Kyllä, auton hinta saattaa nousta
5. Tuleeko systeemistä monimutkaisempi?	Ei
6. Onko huomaamatta jääneitä resursseja hyödynnetty?	Voidaan samalla tehdä autosta aerodynaamisempi, parantaa taloudellisuutta
7. Vastaako ratkaisu muita, tehtäväkohtaisia kriteerejä?	Kyllä

3.4.1 Innovaatioiden viisi tasoa

Tutkittuaan patenteja Altshuller luokitteli innovaatiot viiteen luokkaan (taulukko 3). Luokittelu näihin ryhmiin tapahtuu systeemin muutoksen voimakkuuden ja tarvittavan tiedon mukaan. (Kraev 2006a s. 1-4) Taulukossa 3 on esitelty tasojen vaatimukset ja määrietykset, sekä tasoa on havainnollistettu television innovaation eri tasoilla.

Taulukko 3. Innovaation tasot (Gadd 2011 s. 26; Kraev 2006a)

Taso ja osuus kaikista patenteista				
		Kuvaus	Vaatimukset ja osuus kaikista patenteista	Esimerkki
1. taso	32 %	Ilmeinen sovellus	Vaatii systeemiin liittyvää osaamista	Elektromekaaninen TV
2. taso	45 %	Pieni parannus	Vaatii tietoa muilta systeemiin liittyviltä alueilta kyseiseltä teollisuuden alalta, ratkaisee teknisen ristiriidan	Kuvaputki mustavalko TV
3. taso	18 %	Merkittävä parannus	Vaatii tietoa muilta teollisuuden aloilta, ratkaisee fysikaalisen ristiriidan	Kuvaputki väri TV
4. taso	4 %	Uusi teknologia	Ratkaisee ristiriitoja ja tarjoaa paremman lähestymistavan ideaaliratkaisulle, sisältää mullistavan ratkaisun, joka vaatii tietoa eri tieteen aloilta	LCD/LED/Plasma TV
5. taso	<1 %	Uuden ilmiön tai aineen löytäminen	Mahdollistaa uusien teknologioiden kehittämisen hyödyntäen löydettyä ilmiötä. Ratkaisee ristiriitoja ja tarjoaa paremman lähestymistavan ideaaliratkaisulle.	3D TV

Tietämys viidestä innovaation tasosta tehostaa kehitysprosessia tiettyä systeemiä kehitettäessä. Analysoimalla systeemin nykyistä tilaa ja määrittelemällä haluttu kehityksen taso, voidaan helpommin määritellä ne tavat, joilla tavoitteeseen päästään. Esimerkiksi, jos halutaan saavuttaa systeemillä viides taso, on parannuksia etsittävä uusimmista tieteen saavutuksista. (Kraev 2006a s. 5)

3.4.2 Innovatiiviset periaatteet

Tutkittuaan satojatuhansia patenteja Altshuller tiimeineen kehitti 40 innovatiivisen periaatteen listan (liite 1). Nämä periaatteet tarjoavat yleiset ratkaisut teknisten ristiriitojen ongelmiin alasta riippumatta. (Belski 2009 s. 104) Ilman syvällisempää TRIZ:in tuntemusta periaatteita voi hyödyntää esimerkiksi etsimällä ratkaisua ongelmaan erikseen jokaisen periaatteen pohjalta (Hipple 2005 s. 26-27). Ristiriita-matriisin avulla ratkaisujen etsintä on kuitenkin tehokkaampaa kuin pelkällä periaatteiden käytöllä (Belski 2009 s. 104). Tulee myös huomioida, että näiden 40 innovatiivisen periaatteen ja ristiriita-matriisin parametrien numeroinnit voivat vaihdella lähteestä riippuen.

Vaikka ongelman ristiriita saataisiinkin selvitettyä, usein ratkaisun etsiminen on hankalaa. Tätä varten Altshuller kehitti ristiriita-matriisin. (Altshuller 1996 s. 120) Matriisi koostuu 39 ominaisuudesta, eli parametrista, joista kaksi valikoituu, kun ristiriita on määritelty. Ensimmäinen ominaisuuksista on se, jota halutaan parantaa ja toinen se joka huononee tämän seurauksena. Matriisista löytyy näiden ominaisuuksien risteyksestä lista periaatteista, joita käyttämällä ristiriita saadaan ratkaistua. (Altshuller 1996 s. 120)

Seuraava esimerkki osoittaa ristiriita-matriisin hyödyllisyyden. Eräällä juna-asemalla on yksi työntekijä, jonka tehtävänä on kirjata junien kuljettamien tukkilastien puun määrä kuutioina. Junia tulee päivässä vain muutama, mutta ne pysähtyvät asemalle vain viideksi minuutiksi ja tukkivaunuja voi olla useita. Tehtävänä on siis mitata ja kirjata ylös jopa 100 puun tiedot alle viidessä minuutissa. Tukit ovat kaikki samanpituisia, mutta niiden halkaisijat vaihtelevat. Huonoja ratkaisuja tähän ongelmaan olisivat esimerkiksi lisähenkilöstön palkkaus tai tukkien keskimääräisen halkaisijan arviointi ja kappalemäärän laskeminen. Näissä ratkaisuissa yksi ominaisuus paranee ja toinen huononee. (Altshuller 1996 s. 110-111)

Tarkastellessamme tukkien keskimääräisen halkaisijan arviointia, voimme todeta laskennan nopeuden kasvavan, mutta tarkkuuden kärsivän. Näiden kahden valitun ominaisuuden (nopeus paranee ja menetämme informaatiota) avulla voimme etsiä ratkaisua TRIZ-matriisista (liite 2). Ratkaisuvaihtoehdoiksi saamme nopeuden ja informaation menetyksen risteyskohdasta seuraavat: päinvastoin tekeminen ja kopiointi. Tässä ongelmassa sovellamme kopioinnin periaatetta, työntekijän tulee asettaa tukkivaunun perään mittatikku ja ottaa valokuva, jossa näkyvät sekä mittatikku, että tukkien päät. Puun määrän voi laskea valokuvien avulla junan lähdettyä. (Altshuller 1996 s. 110-111)

3.4.3 Ainekentät

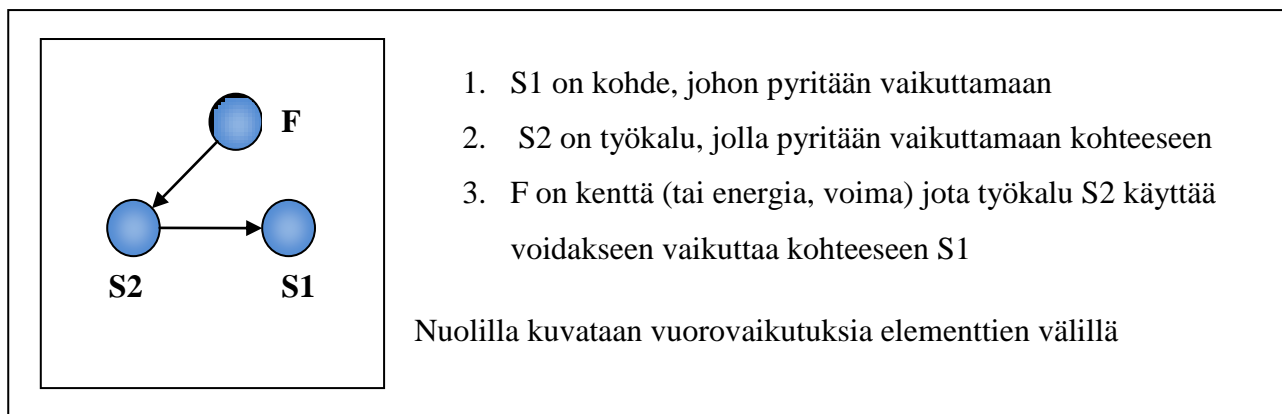
Ainekenttiin (substance fields) liittyvät vakioratkaisut (standard solutions) ovat joukko yleisiä sääntöjä ja kaavoja, joilla pyritään löytämään ja ratkaisemaan vastaan tulevia yleisiä teknisiä ongelmia (Kraev 2007a). Vakioratkaisuja on yhteensä 76 kappaletta ja ne ovat erityisen tehokkaita kolmannen tason innovatiivisten ongelmien ratkaisussa. (Terninko, Domb ja Miller, 2000 s. 1) Vakioratkaisuilla on kaksi tehtävää: ne auttavat parantamaan nykyisiä systeemejä ja luomaan uusia. (kuva 13). (Shulyak s. 5)

Vakioratkaisuilla saavutetut kolmannen tason innovatiiviset ratkaisut vaativat yleensä teknologioiden yhdistelyä eri aloilta. Tuloksena parannettu systeemi voi aiheuttaa huomattavia muutoksia alalla. Ratkaisut ovat lisäksi usein selvästi kyseisen teollisuudenalan hyväksytyjen ideoiden ja periaatteiden ulkopuolella. (Terninko et al. 2000 s. 1)

Taulukko 4. Ainekenttien suunnittelussa käytettävät kentät (Kraev 2007a)

Lyhenne	Kenttä	Esimerkkejä kentän vaikuttavista voimista
F_{Me}	Mekaaninen	Paine, voima, painovoima
F_{Th}	Lämpö	Lämpötilan lisäys tai vähennys
F_{Ch}	Kemiallinen	Kemialliset reaktiot, jotka muuttavat kohdetta
F_E	Sähköinen	Sähköinen kenttä, sähkövirta, sähkömagneettinen aalto
F_M	Magneettinen	Magneettikenttä
F_{Bi}	Biologinen	Biologinen vuorovaikutus elementtien välillä
F_{Au}	Ääni	Akustiikka, ääniaallot, äänen taajuus

Ainekentän “kenttä” -sana sisältää kaikki mahdolliset aineiden väliset reaktiot ja vaikuttavat voimat. Näitä kenttiä on yhteensä seitsemän (taulukko 4). Yhdistämällä aineiden ja kenttien vuorovaikutukset graafiseksi kuvaajaksi voidaan mallintaa systeemien toiminta mahdollisimman yksinkertaisesti (kuva 13). Kentän lyhenne yhdistetään ainekentän kuvaajassa F-kirjaimen alaindeksiksi. (Kraev 2007a)



Kuva 13. Yksinkertainen malli ainekenttien kuvaamisesta (Kraev 2007a)

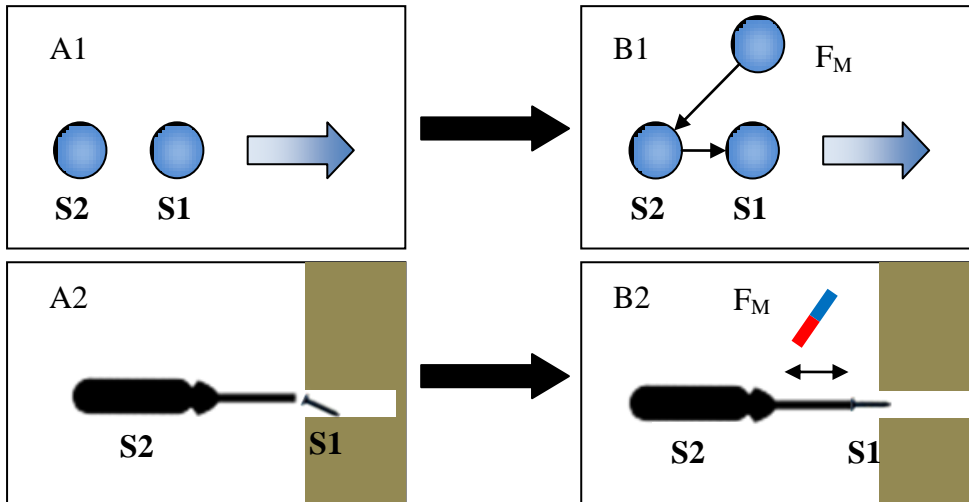
Vakioratkaisut kuuluvat TRIZ:in haastavimpiin työkaluihin. Tässä työssä nämä 76 vakioratkaisua on yhdistetty helpommin ymmärrettäviksi seitsemäksi yleisratkaisuksi (taulukko 5). (Mao, Zhang ja Abourizk 2007)

Taulukko 5. Ainekenttien seitsemän yleisratkaisua (Mao et al. 2007)

Yleisen ratkaisun numero ja mitä se sisältää

1. Jos ainekentästä puuttuu komponentteja, lisää ne.
2. Muokkaa ainetta S2 poistaaksesi tai vähentääksesi haitallista vaikutusta.
3. Muokkaa kohdetta S1 siten, että se ei ole yhtä herkkä haitalliselle vaikutukselle.
4. Muuta olemassa olevaa kenttää vähentääksesi tai poistaaksesi haitallisen vaikutuksen.
5. Poista, neutralisoi tai eristä haitallinen vaikutus käyttäen toista vastavaikutteista kenttää.
6. Lisää kenttä, joka aiheuttaa positiivisen vaikutuksen.
7. Laajenna ainekentän mallia ketjuksi.

Esimerkkinä ainekentän rakentamisesta on ongelma, jossa kohde S1 on ruuvi, joka täyttyy saada kiristettyä syvän horisontaalisen reiän pohjaan työkalulla S2. Tilanne on kuvattu kuvassa 14 sekä ainekentän esityksenä (A1 ja B1) että käytännön tilanteena (A2 ja B2). Haasteeksi muodostuu, ettei työkalun pää pidä ruuvia kiinni mitenkään. Näiden kahden komponentin välillä ei siis ole tarvittavaa vuorovaikutusta. Ongelma voidaan ratkaista 2. yleisratkaisun avulla eli muokkaamalla työkalua S2 siten, että se kumoaa painovoiman aiheuttaman haitallisen vaikutuksen. Ruuvimeisselin teräsvarren voi helposti magnetisoida. Näin saadaan aikaan magneettinen vuorovaikutus, joka pitää ruuvin kiinni ruuvimeisselissä mahdollistaen kiinnityksen reiän pohjaan. (Kraev 2007a s. 2)



Kuva 14. Ainekenttä ja ratkaisu (Kraev 2007a)

Seuraavaksi esittelemme yleisratkaisujen käyttöä. Hiekan siirtäminen pelkällä kuorma-autolla on mahdotonta, sillä hiekka ei itsestään siirry kuorma-auton lavalle. Ensimmäisen yleisratkaisun mukaisesti lisätään ainekenttään komponentti, tässä tapauksessa kaivuri, joka hoitaa mekaanisen (F_{Me}) lastaustyön. Vastaavasti lämpimässä ilmassa betoni kuivuu nopeammin, mutta sen halkeamisvaara kasvaa. Viides yleisratkaisu toimii tässä tilanteessa hyvin: lisätään kenttä, joka eristää haitallisen vaikutuksen. Asettamalla vedenpitävä paperi (F_{Me}) betonin päälle voidaan kuivumista hidastaa, eikä halkeamia pääse syntymään. (Mao et al. 2007)

3.4.4 Tietokannat

Resurssien havaitsemisen apuvälineenä voidaan käyttää TRIZ-tietokantoja. Näitä tietokantoja on olemassa lukuisia, osa niistä on maksullisia ja osaa voi käyttää ilmaiseksi. Seuraava Oxford Creativityn käyttämä esimerkki havainnollistaa TRIZ:in tietokantojen tehokkuuden. Pöydälle asetetaan vesilasi, jossa on vettä. Jokaisella henkilöllä on kaksi minuuttia aikaa keksiä ja kirjoittaa paperille mahdollisimman monta tapaa, joilla veden voi poistaa lasista liikuttamatta sitä. Kahdessa minuutissa keskiverto henkilö keksii noin kahdeksan tapaa tyhjentää lasi vedestä. Kun 12 henkilön tulokset yhdistetään saadaan noin 15-25 ratkaisua. Näiden ratkaisujen määrä laskee kuitenkin 5-8 ratkaisun tasolle, kun samankaltaiset ratkaisut karsitaan pois. Ratkaisut, kuten täytetään lasi kivillä tai elohopealla, ovat yleisellä tasolla sama ratkaisu. Ne perustuvat veden syrjäyttämiseen painavammalla aineella. Ratkaisujen laatu riippuu paljolti siitä, minkä alan osaajia ryhmässä on. (Gadd 2011 s. 32-34)

Käytettäessä tietokantoja edellisen esimerkin ratkaisuun meidän on ensin määriteltävä mitä haluamme. TRIZ-tietokannat on rakennettu siten, että olisi tiedettävä kohde ja funktio. Kohde on nyt vesi eli yleisesti neste. Funktio on poistaa neste lasista eli nesteen olisi liikuttava. Kysymys kuuluu siis: “Kuinka liikuttaa nestettä?”. (Gadd 2011 s. 32-34) Oxford Creativityn TRIZ-tietokannasta tällaisella haulla (move liquid) löytyy yhteensä 168 erilaista tapaa liikuttaa nestettä. Löytyneitä tapoja ovat esimerkiksi: imeytyminen, haihtuminen kuumentamalla, haihtuminen laskemalla ympäristön painetta, syrjäytyminen tiheämmän aineen tieltä, räjäyttäminen, paineilmapuhallin, sifoni eli imujuoksutin ja pumppu. On täysin turhaa yrittää keksiä miten nestettä voi liikuttaa, sillä tällaisista tietokannoista löytyvät kaikki tunnetut tavat suorittaa kyseinen tehtävä.

3.5 Kehityslait

Altshuller löysi systeemien kehityksestä säännönmukaisuuksia, joiden perusteella hän julkaisi systeemien kehityslait. Tutkimalla systeemin nykyistä tilaa ja aikaisempaa kehitystä näiden lakien avulla, voi kehittäjä ennustaa systeemin kehityksen suuntaa. Systeemin kehityssuunnan ennustaminen tarjoaa huomattavan edun yrityksen tuotekehitykselle. (Smith 2001 s. 9)

Kehityslakien hyödyt (Rantanen 2002 s. 103):

1. teknisten ratkaisujen arviointi
2. muiden alojen ratkaisujen hyödyntäminen
3. psykologisen inertian vaimentaminen
4. merkittävien ongelmien löytäminen
5. ongelmien ratkaiseminen
6. kehityksen ennakointi.

3.5.1 Laki kehityksen epätasaisuudesta

Systeemin osat kehittyvät yleensä eri tahdilla. Mitä monimutkaisempi systeemi on, sitä epätasaisemmin se kehittyy (Kraev 2006b). Systeemin epätasainen kehitys synnyttää koko ajan ristiriitoja. Näiden uusien ristiriitojen ratkaiseminen pakottaa kehitystä eteenpäin. (Rantanen 2002 s. 94-95)

Polkupyörän kehityksessä oli huomattavaa epätasaisuutta. Varhaisessa versiossa polkupyörän polkimet olivat kiinni etupyörässä. Nopeutta haluttiin lisää ja etupyörän kokoa kasvatettiin. Raja tuli kuitenkin vastaan, kun jalat eivät enää yltäneet polkimille. Ratkaisu ristiriitaan “suuri pyörä koko - pieni pyörä koko” oli vaihteisto, jolla saatiin lisättyä nopeutta, mutta tärinä kasvoi suureksi. Seuraava ristiriita “lisää nopeutta - lisää tärinää” ratkaistiin ilmarenkailla. (Rantanen 2002 s. 95-98)

3.5.2 Integroituminen ylemmän tason systeemiin

Jokaisella teknisellä systeemillä on suurempi systeemi, johon systeemi kuuluu (supersysteemi) ja alempi systeemi, josta systeemi koostuu (alisysteemi). Muutos minkä tahansa tason systeemissä vaikuttaa muihin systeemeihin. Usein teknisiä ristiriitoja syntyy juuri siksi, että joku on unohtanut tämän lain. Siksi kehityksessä olisi huomioitava vaikutukset myös muiden tasojen systeemeihin. (Altshuller 1996 s. 32)

Kehittyessään systeemi integroituu yhä paremmin supersysteemiinsä. Tavallisesti tekninen systeemi pystyy toimimaan tehokkaasti vasta silloin, kun se yhdistetään muiden, samanlaisten tai erilaisten, systeemien kanssa polysysteemiksi. Käytännön esimerkki ovat erilaiset monikerrosrakenteet, kuten talon seinä, missä eri aineista koostuvat kerrokset parantavat lämmön ja äänen eristystä. Kahden systeemin muodostama bisysteemi on polysysteemin erikoistapaus. Nivelbussi koostuu kahdesta bussista jotka on yhdistetty toisiinsa. Integroitumisen laki selittää osan epäjohdonmukaisuuksista erillisten systeemien kehityksessä. (Rantanen 2002 s. 95-96)

Esimerkiksi hiilihapotettujen juomien valmistus on osaksi integroitunut supersysteemiinsä eli kuluttajiin. Ennen kaikki näistä juomista valmistettiin juomatehtailla. Nykyisin kotitalouksille myydään juomien hapotuslaitteita ja makukapseleita, eli valmistusprosessi on integroitunut kotitalouksiin. Samankaltaisia kehityssuuntia voidaan tulevaisuudessa odottaa 3D-tulostinten yleistyessä.

3.5.3 Makrotasolta mikrotasolle siirtyminen

Siirtyminen mikrotasolle, alemmaksi systeemin hierarkiassa, ja siirtyminen makrotasolle, integroituminen ylemmän tason systeemiin, ovat kaksi tavallaan vastakkaista kehityssuuntaa. Usein ne kuitenkin vaikuttavat yhdessä. Systeemin kehittyessä on maksimaalisesti hyödynnettävä sekä makro- että mikrotason resursseja. (Rantanen 2002 s. 97-98) Systeemin siirtyminen mikrotasolle lisää sen ideaalisuutta ja tästä syystä sitä tulisi tavoitella (Kraev 2007a).

Sukka, joka ei haise vaikka sen käyttäjä olisi aktiivinen koko päivän, on kehitetty tämän kehityslain mukaisesti. Toimintaperiaatteeltaan sukka on sellainen, ettei siihen voi lisätä osia tai sen käyttömukavuus laskee. Ratkaisua on siis haettava muokkaamalla osia, joista sukka koostuu. Mikrotasolle siirtyminen tarkoittaa esimerkiksi systeemin tai sen osien korvaamista aineella, joka pystyy suorittamaan tarvittavan tehtävän kentän F vaikuttaessa siihen. Sukkien valmistuksessa niiden kuituun lisättiin 19 nanometrin kokoisia hopeahiukkasia, jotka estävät mikrobien toimintaa ja hajun syntymistä. (Kraev 2007a)

3.5.4 Ainekenttien käytön lisääminen

Teknisen systeemin kehittyessä käytettävien ainekenttien ja niiden välisten vuorovaikutusten määrä kasvaa (Kraev 2006b). Ainekenttien käyttö on kuvattu aiemmin tässä työssä kappaleessa.

3.5.5 Systeemin laajeneminen ja supistuminen

Kehittyessään systeemi ensin laajenee eli osien ja vaikutusten määrä kasvaa. Laajentuminen tuo mukanaan ongelmia, joiden ratkaiseminen johtaa systeemin supistumiseen. (Rantanen 2002 s. 99-100)

Tietokoneen kehitys tarjoaa hyvän esimerkin systeemin laajenemisesta ja supistumisesta käytännössä. Aluksi koneissa oli vain vähän osia ja lisälaitteita. Tietokoneen kehittyessä siihen liitettävien lisälaitteiden ja osien määrä kasvoi huomattavasti. Verkkokortti, web-kamera, kaiuttimet ja ulkoinen kiintolevy ovat vain murto-osa kaikista nykyisin tarjolla olevista lisälaitteista. Lukuisten osien tuomat yhteensopivuusongelmat ja kasvanut tilantarve ovat pakottaneet systeemin taas supistumaan. Nykyisin useat yritykset valmistavat tietokoneita, jotka sisältävät kaikki tarvittavat osat yhdessä kompaktissa kokonaisuudessa. Systeemi voidaan näin myös optimoida toimimaan paremmin, sillä kaikki systeemin osat ovat valmistajan tiedossa.

3.5.6 Systeemin evoluution neljä vaihetta

Systeemin evoluutio alkaa osien valinnasta (taulukko 6). Osat valitaan siten, että haluttu funktio saadaan suoritettua. Systeemin luonnin jälkeen sen osia pyritään parantamaan tehokkuuden lisäämiseksi. Osien parantelun jälkeen dynamisoidaan systeemiä lisäparannusten aikaansaamiseksi. Viimeinen eli neljäs vaihe on systeemin itsenäinen mukautuminen. Tästä neljännessä vaiheesta voidaan esimerkkinä mainita satelliitti, sillä se ei voi lentää kiertoradalle avonaisena, vaan sen on purkauduttava lopulliseen muotoonsa vasta avaruudessa. Tämä viimeinen vaihe on vasta aluillaan, uusi teknologia tulee mahdollistamaan paljon uusia tämän suuntaisia sovelluksia. (Altshuller 1996 s. 35-36)

Taulukko 6. Systeemin evoluution neljä vaihetta (Altshuller 1996 s. 35-36)

Vaiheet	Kuvaus	Esimerkki
1. vaihe	Systeemin osien valitseminen	Valitaan lentokoneeseen tarvittavat osat
2. vaihe	Osien parantaminen	Parannetaan lentokoneen siipien aerodynaamisuutta ja moottoreiden tehoa
3. vaihe	Systeemin dynamisointi	Lentokoneen osista dynaamisia, kuten sisään vedettävät laskeutumistelineet ja kääntyvät moottorit
4. vaihe	Systeemin itsenäinen mukautuminen	Lentokone ei vielä saavuttanut 4. vaihetta. (Kantoraketti, joka pudottaa rakettimoottorinsa ja avaa aurinkokennot avaruudessa on hyvin varhainen esimerkki 4. vaiheesta)

Aikoinaan tarvittiin menetelmä pienten metallipallojen määrän mittaamiseen. Ratkaisuksi kehitettiin säiliö, jossa oli kaksi porttia. Alempi portti suljettiin ensin ja säiliöön syötettiin palloja. Säiliön täytyttyä tiettyyn pisteeseen asti, suljettiin ylempi portti, jolloin palloja ei enää päässyt porttien väliin. Avatessa alempi portti säiliö tyhjjeni ja sieltä tuli juuri porttien välisen tilavuuden verran palloja. Säiliön tyhjennyttyä alempi portti sulkeutui, ylempi avautui ja prosessi toistui. Systeemi oli kehityksen ensimmäisessä vaiheessa. Vuonna 1967 systeemiä parannettiin muuttamalla mekaaniset portit elektromagneettisiksi. Systeemin osia kehitettiin paremmiksi, eli sen kehitys oli vaiheessa kaksi. Tuntematta neljää kehityksen vaihetta, voisi jatkokehitys olla tässä vaiheessa hankalaa, sillä systeemi toimii jo erittäin tehokkaasti. Kolmas vaihe kehityksessä on dynamisointi. Elektromagneettisista porteista tulisi tehdä liikkuvia, jotta voidaan halutessa mitata erisuuruisia pallojen määriä. Tämä ratkaisu patentoitiinkin viisi vuotta elektromagneettisten porttien jälkeen. Kesti siis viisi vuotta keksiä, mihin suuntaan systeemiä tulisi kehittää. Tuntemalla systeemien kehitysten vaiheet, dynamisointi olisi voitu implementoida jo viisi vuotta aiemmin. (Altshuller 1996 s. 36-37)

3.6 ARIZ

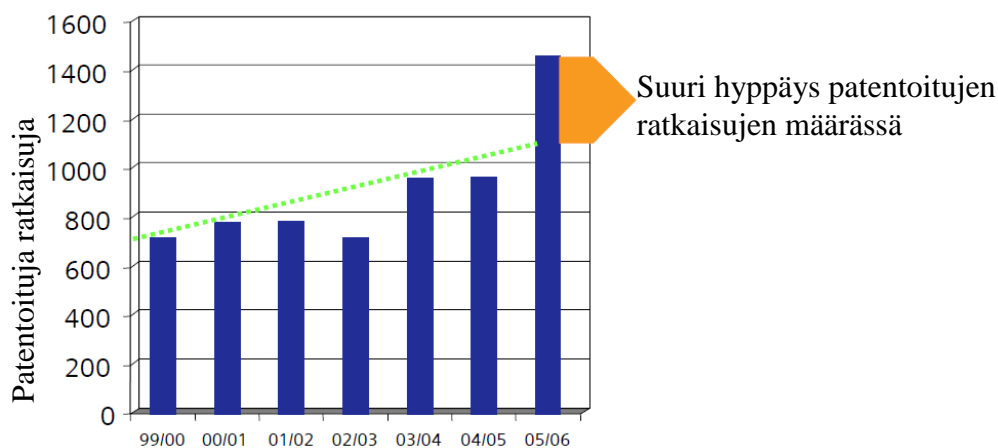
ARIZ (Algoritm resheniya izobretatelskikh zadatch) on monivaiheinen tarkasti määritelty prosessi monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseen (Shulyak s. 6). ARIZ on yksi TRIZ:in kehittyneemmistä tekniikoista. TRIZ:in työkaluja ei yleensä järjestetä askel askeleelta prosessiksi. Sen sijaan TRIZ tarjoaa erillisiä työkaluja joista ongelman ratkaisija valitsee sopivat riippuen ongelmasta ja tilanteesta. (Cameron 2010 s. 2) ARIZ puolestaan koostuu yleensä 9 päävaiheesta (Shulyak s. 6).

1. Analysoi ongelma
2. Analysoi ongelman malli
3. Muodosta ideaalinen lopputulos (IFR = ideal final result)
4. Ota käyttöön ulkoiset resurssit
5. Ota käyttöön informaatiotietopankki
6. Muuta tai muokkaa ongelmaa tarvittaessa
7. Analysoi metodia, joka poisti fysikaalisen ristiriidan
8. Ota löydetty ratkaisu käyttöön
9. Analysoi vaiheet, jotka johtivat ratkaisuun

ARIZ:issa hyödynnetään tehokkaasti kaikkia TRIZ:in ongelmanratkaisun keinoja ja menetelmän käyttö vaatii erittäin tarkkaa ongelman analysointia. Menetelmässä hyödynnetään tehokkaasti systeemiä sekä sen ali- ja supersysteemiä. Vaikka ARIZ on tarkoitettu monimutkaisimpien ongelmien ratkaisuun, kannattaa sitä käyttää harjoittelumielessä ensin yksinkertaisempiin ongelmiin. (Marconi 1998)

4 TRIZ:IN IMPLEMENTOINTI KÄYTÄNNÖSSÄ

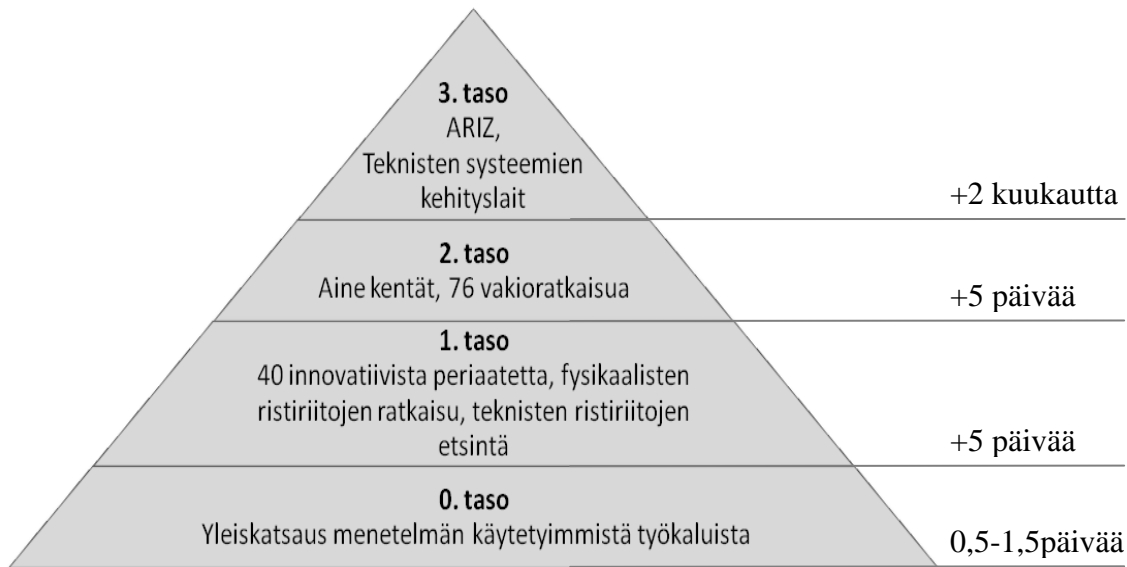
Automations and Drives on yksi Siemens AG:n suurimmista osastoista. Vuoden 2005 lopussa osasto etsi uusia tapoja tehostaa innovointia. Yhdeksi testattavista menetelmistä valittiin TRIZ. Menetelmä koulutettiin 244 työntekijälle, jotka muodostivat 25 työryhmää. Työryhmät jaettiin vielä kolmeen eri tehtävään: ratkaisuja tilauksesta, innovaatioita tilauksesta ja patenteja tilauksesta. TRIZ:in käyttöönoton seurauksena patentoitujen ratkaisujen määrä nousi huomattavasti tarkasteltavan vuoden 2004-2005 aikana, kuten kuvasta 15 näkyy. Lisäksi työntekijät kokivat uudet työkalut mielekkäiksi käyttää. (Adunka 2007a s. 1-3)



Kuva 15. TRIZ-menetelmän tuoma hyöty patentoitujen ratkaisujen määrään (Adunka 2007b s. 8)

Kokeilun perusteella yritys jakoi TRIZ:in neljään (0-3) koulutustasoon haastavuutensa perusteella. Nollataso sisältää yleiskatsauksen menetelmiin ja niiden periaatteisiin. Tämän tason koulutukseen menee johtotasolle puoli päivää ja insinööreille sopii hieman kattavampi yhden ja puolen päivän kurssi. Ensimmäinen taso sisältää TRIZ:in perustyökalujen käytön ja koulutuksen laajuus on viisi päivää. Perustyökaluista hieman haastavimmat ja harvemmin käytetyt edistyneet työkalut muodostavat toisen ryhmän, joiden koulutukseen kuuluu viisi päivää. Korkein eli kolmas taso kattaa haastavimmat TRIZ:in työkalut. Tämän korkeimman tason koulutus kestää kaksi kuukautta, jonka aikana on kolme viiden päivän yhtämittaista koulutusta ja koulutusten välissä itsenäistä työskentelyä. (Adunka 2007a s. 3)

Kuvassa 16 on esitetty koulutustasojen työkalut, joita on käsitelty tässä työssä (Adunka 2007a s. 3). Kuvassa esitetty myös kauanko menetelmää tulee harjoitella siirtyäkseen seuraavalle tasolle.



Kuva 16. Koulutustasot (Adunka 2007a s. 3)

Koulutuksen tulos riippuu paljolti aiheiden määrästä ja valituista työkaluista. Opetettavia kokonaisuuksia ei saa olla liian montaa, sillä muutaman työkalun hallitseminen tuottaa parempia tuloksia kuin yleinen tietämys useasta työkalusta. 3-5 työkalua on sopiva määrä viiden päivän kurssille. (Rantanen 2002 s. 121) Koulutettavat menetelmät tulee lisäksi valikoida tarkasti: peruskoulutuksessa on keskityttävä alempien koulutustasojen työkaluihin eikä eksyä esimerkiksi ARIZ:iin. Systeemien kehityslait muodostavat poikkeuksen, sillä vaikka ne kehittäjille ovatkin 3. tason työkalu, toimivat ne hyvin johtoportaan koulutuksissa. (Rantanen 2002 s. 121) (Adunka 2007a s. 3)

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

TRIZ:in keskeisin ajatus teknisten ongelmien ratkaisusta on ristiriitojen etsintä, analysointi ja täydellinen poistaminen. Kaikissa näissä vaiheissa hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti aiemmin kehitettyjä ratkaisumalleja. Kompromissien tekoa tulee välttää aina.

TRIZ tarjoaa laajan valikoiman työkaluja, jotka soveltuvat kaikille tekniikan aloille. TRIZ:in työkaluja voi käyttää systemaattisessa ongelmanratkaisussa ja ryhmätyöskentelyn tehostamiseen, vaikka vain yksi ryhmän jäsen tuntisi menetelmän entuudestaan. TRIZ:in avulla on mahdollista saada aikaan ratkaisuja, joita ei normaalisti tulisi ajatelleeksi.

Jo TRIZ:in perusmenetelmien tunteminen auttaa ajattelemaan uusilla tavoilla. Meidän tulee pyrkiä ajatustapojemme avartamiseen, sillä määrittämämme ongelmat eivät olisi enää ongelmia, jos pystyisimme ne ratkaisemaan nykyisellä ajattelutavallamme. Ajattelemalla eri tavalla kuin kilpailijat voidaan yritykselle luoda suuri kilpailuetu. TRIZ soveltuu kokonaisuudessaan tai osittain käytettäväksi kaikissa tekniikan aloihin liittyvissä yrityksissä. Systemien kehityslakien avulla voidaan lisäksi kohdistaa yrityksen kehittämisvoimavaroja tehokkaammin oikeaan suuntaan.

Kirjallista aineistoa TRIZ:istä löytyy maailmalta huomattava määrä. Vallitsevat kielet julkaisuissa ovat englantia ja erityisesti venäjää. Suomenkieliset julkaisut aiheesta ovat hyvin vähissä. Merkille pantavaa oli myös, että vaikka maassamme tällä hetkellä peräänkuulutetaan innovaatioiden ja pienten kasvuyritysten tärkeyttä, suomalaisilla yliopistoilla on vain harvoja teoksia TRIZ:iin liittyen.

TRIZ on levinnyt länsimaissa verrattain hitaasti, vaikka Aasiassa se on saavuttanut jo tukevan jalansijan. Suurimpia syitä menetelmän hitaaseen leviämiseen länsimaissa lienee alkuperämaasta Neuvostoliitosta johtuvat ennakkoluulot. Jotkin länsimaiset suuryritykset ovat kuitenkin ottaneet menetelmän käyttöön ja positiivisten tulosten ansiosta sen tunnettavuus on pikkuhiljaa parantunut.

Menetelmän työkalut voivat ensivaikutelmaltaan olla helppoja. Ilman kokemusta on kuitenkin hyvin haastavaa valita relevantit työkalut erilaisiin ongelmiin. Varsinkin ristiriidan etsintä voi aloittelijoille olla haastavaa. Huono ristiriidan määrittely johtaa lopulta vain huonoihin ratkaisuihin, minkä johdosta saattaa koko menetelmän toiminta tuntua tehottomalta. Vaikka TRIZ tehostaa teknisten ongelmien ratkaisuprosessia, ei se kuitenkaan poista ajattelun tarvetta kokonaan.

Työn tavoitteena oli tarjota lukijalle peruskäsitys TRIZ-menetelmän työkaluista ja periaatteista. Työn pohjalta lukija pystyy käyttämään TRIZ:iä perinteisen ongelmanratkaisun ohella ja hänen on helpompaa lähteä syventämään osaamistaan korkeamman tason TRIZ-työkaluihin.

6 YHTEENVETO

Tämän kandidaatintyön tavoitteena oli kartoittaa TRIZ-menetelmää teknisen ongelmanratkaisuprosessin työkaluna, sekä antaa lukijalle yleiskatsaus menetelmän työkaluista ja hyödyistä esimerkkien avulla. Työn pohjalta lukija pystyy käyttämään TRIZ:iä perinteisen ongelmanratkaisun ohella ja hänen on helpompaa lähteä syventämään osaamistaan korkeamman tason TRIZ-työkaluihin.

Työn tuloksena toteamme, että TRIZ soveltuu hyvin tekniseen ongelmanratkaisuun tarjoten perinteistä ongelmanratkaisua tehokkaammat menetelmät. TRIZ korostaa ongelmia aiheuttavien ristiriitojen etsimistä, analysointia ja täydellistä poistamista. Kaikissa näissä vaiheissa hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti aiemmin kehitettyjä ratkaisumalleja. Esimerkiksi siinä missä 20 ihmistä pystyy ideoimaan 15-25 tapaa tyhjentää vesilasi liikuttamatta sitä, löysimme yhdestä TRIZ-tietokannasta 168 erilaista tapaa veden liikuttamiselle. Haun suorittaminen kesti vain muutaman minuutin.

TRIZ tarjoaa laajan valikoiman työkaluja, jotka soveltuvat kaikille tekniikan aloille. Menetelmän työkalut voivat ensivaikutelmaltaan olla helppoja. Ilman kokemusta on kuitenkin varsin haastavaa valita relevantit työkalut erilaisiin ongelmiin. Varsinkin ristiriidan etsintä voi aloittelijoille olla haastavaa. Huono ristiriidan määrittely johtaa lopulta vain huonoihin ratkaisuihin, jonka johdosta saattaa koko menetelmän toiminta tuntua tehottomalta. Vaikka TRIZ tehostaa teknisten ongelmien ratkaisuprosessia, ei se kuitenkaan poista ajattelun tarvetta kokonaan.

Menetelmällä voidaan lisätä ja nopeuttaa innovaatioiden syntyä, koska ristiriidan ratkaisussa voidaan hyödyntää aiemmin muissa patenteissa käytettyjä ratkaisumalleja. Jo pelkkä TRIZ:in perustyökalujen tunteminen auttaa ajattelemaan uusilla tavoilla ja tätä kautta voidaan yritykselle luoda suuri kilpailuetu. Perustyökaluja voi käyttää systemaattisessa ongelmanratkaisussa ja ryhmätyöskentelyn tehostamiseen, vaikka vain yksi ryhmän jäsen tuntisi menetelmän entuudestaan.

7 LÄHTEET

ADUNKA R., 2007a. Lessons Learned in the Introduction of TRIZ at Siemens A&D. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: http://www.brainguide.ch/upload/publication/69/24uak/2b2ce0f7f59845ce39f30721e79651d3_1316609858.pdf.

ADUNKA R., 2007b-last update, Lessons Learned in the Introduction of TRIZ at Siemens Automation and Drivers. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: http://www.brainguide.de/upload/publication/69/24uak/e3e0f571b46f0159e2a6db5257b779aa_1316609873.pdf.

ALTSHULLER G., SHULYAK L. ja RODMAN S., 2005. 40 Principles Extended Edition: Triz Keys to Technical Innovation and Problem Solving . second edition edn. Worcester, MA: Technical Innovation Center, Incorporated.

ALTSHULLER G., 1996. And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving. second edition.

BARRY K., DOMB ja SLOCUM M.S., 2006 , TRIZ - What is TRIZ? [Viitattu 4.10.2012] Saatavissa: http://www.triz-journal.com/archives/what_is_triz/.

BELSKI I., 2009. Teaching Thinking and Problem Solving at University: A Course on TRIZ. Creativity and Innovation Management, 18(2), s. 101–108.

CAMERON G., 2010. Trizics: Teach Yourself Triz, How to Invent, Innovate and Solve "Impossible" Technical Problems Systematically. Saatavissa: http://books.google.fi/books?id=IAliDUEFtRQC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

CHANG H., JAHAU, 2011. Eco-Innovative Examples for 40 TRIZ Inventive Principles. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2003/08/a/01.pdf>

CROSS N., 2008. Engineering design methods: strategies for product design s. 19,48

FEY V. ja RIVIN I., 2005. Innovation on Demand. Saatavissa: http://books.google.fi/books?id=jYhWarqGMfYC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false:

FRESNER J., JANTSCHGI J., BIRKEL S., BÄRNTHALER J. ja KRENN, 2010. The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects. *Journal of Cleaner Production*, 18, s. 128–136.

GADD K., 2011. *TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving*. Saatavissa: http://books.google.fi/books?id=C1YVvYIeBDIC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false:

HEIKKILÄ J., 2005. Tuotanto murroksessa: strategisen johtamisen uusi haaste

HIPPLE J., 2005. The Integration of TRIZ with Other Ideation Tools and Processes as well as with Psychological Assessment Tools. 14(1), s. 22-33.

KEMPER LEWIS, WEI CHEN ja LINDA SCHMIDT, 2006. Decision making in engineering design. s. 171

KRAEV V., 2007a. Kraev's Korner: Inventive Standards & S-Field Models - Lesson 8. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2007/05/06/>

KRAEV V., 2007b. Kraev's Korner: System Ideality - Lesson 5. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2007/02/08/>

KRAEV V., 2006a. Kraev's Korner: Levels of Innovations - Lesson 2. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2006/11/05.pdf>

KRAEV V., 2006b. Kraev's Korner: System Evolution - Lesson 10. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2007/07/06/>

MANN, 2000. Design Without Compromise, Design for Life. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2000/05/d/>

MAO X., ZHANG X. ja ABOURIZK, 2007. Generalized solutions for Su-Field analysis. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2007/08/03/>

MARCONI J., 1998. ARIZ: The Algorithm for Inventive Problem Solving. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/1998/04/d/index.htm>

MOEHRLE M.G., 2005. How combinations of TRIZ tools are used in companies ? results of a cluster analysis. *R&D Management*, 35(3), s. 285-296.

ORLOFF M.A., cop. 2003. Inventive thinking through TRIZ: a practical guide s. 4-5 Saatavissa: http://books.google.fi/books?id=ywSEQAJsjmkC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

PRICKETT P., 2012. The development of a modified TRIZ Technical System ontology. Computers in Industry, 63(3), s. 252-264.

RANTANEN K., 2002. TRIZ -menetelmän hyödyntäminen tuotekehityksen ajatusmallina s. 30-116

ROUSSELOT, 2012. Towards a formal definition of contradiction in inventive design. Computers in Industry, 63(3), s. 231-242.

SHULYAK L., Introduction to TRIZ. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/2006/11/05.pdf>

SMITH L.R., 2001. Six Sigma and the evolution of quality in product development, Six Sigma Forum Magazine 2001, s. 28-35.

TERNINKO J., DOMB ja MILLER J., 2000. The seventy-six standard solutions, with examples section one. [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: http://www.triz-journal.com/archives/2000/02/g/article7_02-2000.PDF

THE TRIZ JOURNAL, 2001-last update [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://www.triz-journal.com/archives/1997/07/> [4/18, 2012].

YEOH T.,SAN, 2009. TRIZ - Systematic Innovation in Manufacturing s. 12 Saatavilla: http://books.google.fi/books?id=04Fn-KZCqNQC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

YOUNG JU K., 2004. The Method for Encoupling Design by Contradiction Matrix of TRIZ, and Case Study. s. 2-3 [Viitattu 4.11.2012] Saatavissa: <http://portales.puj.edu.co/jagular/Method.pdf>

1. Kohteen jakaminen (segmentointi)

Jaetaan kohde itsenäisiksi osiksi.

2. Osan erottaminen

Poistetaan häiriötä aiheuttava osa kohteesta, tai erotetaan tärkein osa kohteesta.

3. Paikallinen laatu

Muuta kohteen rakenne yhtenäisestä ei yhtenäiseksi, muuta ulkoinen ympäristö (tai vaikutus) yhtenäisestä, ei yhtenäiseksi.

4. Epäsymmetrisyys

Muuta kohteen muoto symmetrisestä epäsymmetriseksi, tai lisää sen symmetrisyyttä.

5. Yhdistäminen tai sulauttaminen

Tuo lähemmäksi (tai yhdistä) identtiset tai samanlaiset osat, tai kokoa ne tekemään yhtäaikaista toimintoja.

6. Monitoimisuus, universaalisuus

Tee osat tai rakenne suorittamaan useita toimintoja, eliminoi muiden osien tarve.

7. Sisäkkäin sijoittaminen

Sijoita kohteet sisäkkäin, laita jokainen osa järjestyksessä sisäkkäin tai ohita osa siihen tehdystä reiästä.

8. Vastapaino, noste

Kompensoi kohteen paino, tai yhdistä se toisen osan kanssa joka tarjoaa nostetta.

9. Vastavaikutus etukäteen

On tarpeellista tehdä vaikutus kumpaankin hyödylliseen ja haitalliseen liikkeeseen, haitallinen liike tulee korjata vastavaikutuksella.

10. Vaikutus etukäteen"

Tee jo etukäteen tarvittava muutos tai sijoitus osaan (joko kokonainen tai osittainen)

11. "Truvatyynty"

Valmistele turvatoimet etukäteen kompensoimaan kohteen suhteellisen alhaista luotettavuutta.

12. Tasapotentiaali

Rajoita kohteen liike potentiaalientässä (muuta toiminta olosuhteita eliminoidakseksi tarvetta nostaa tai laskea kohdetta painovoima kentässä)

13. Päinvastoin

Käännä ongelman ratkaisuja päinvastoin (esim. viilentämisen sijaan kuumenna kohdetta tai tee liikkumattomista osista liikkuvia)

14. Pallot ja käyrät

Suorien pintojen sijaan käytä kaarevia pintoja, siirry lineaarisesta liikkeestä kiertävään liikkeeseen, käytä keskipakovoimaa.

15. Dynamisointi

Salli tai suunnittele kohteelle optimaalinen toiminta ympäristö.

16. Osittainen tai ylimääräinen vaikutus

Jos 100 % tavoitteesta on vaikea saavuttaa annetulla ratkaisulla, niin yritä ratkaista hieman vähemmän tai hieman enemmän samalla ratkaisulla ja näin saattaa olla ongelman ratkaiseminen huomattavasti helpompaa.

17. Toinen ulottuvuus

Muuta kohdetta tai jotakin kulmaa kaksiulotteisesta kolmiulotteiseen tilaan.

18. Mekaaninen värähtely

Laita kohde värähtelemään, muuta värähtelyn lähdettä tai tapaa värähdellä.

19. Jaksoittainen vaikutus

Jatkuvan vaikutuksen sijaan muuta vaikutus jaksottaiseksi tai muuta jaksotusta tai laita taukoja pulssien väliin.

20. Jatkuva vaikutus

Tee kaikki osat työskentelemään täydellä työmäärällä kokoajan.

21. Yli hyppääminen (ohitus)

Suorita prosessi tai tietyt vaiheet prosessista (esim tuhoavat tai haitalliset) suurella nopeudella.

22. Haitta hyödyksi

Käytä haitallisia tekijöitä saadaksesi aikaan positiivisen vaikutuksen tai torjuaksesi muita haitallisia tekijöitä.

23. Palaute

Ota palaute käyttöön (tarkistaa edellisiä vaiheita) parantaaksesi prosessia.

24. "Välittäjä"

Käytä välittäjää kantamaan artikkeli tai käytä välittäjä prosessia.

25. Itsepalvelu

Tee kohde palvelemaan itseään tekemällä ylimääräisistä hyödyllisiä tehtäviä tai käyttämään hukatut resurssit energiana tai aineina.

26. Kopiointi

Käytä kalliiden, hauraiden ja harvinaisten osien sijaan edullisia kopioita.

27. Halpa ja lyhytikäinen

Korvaa kallis osa useilla halvoilla osilla uhraamalla tiettyjä ominaisuuksia kuten esimerkiksi käyttöikä.

28. Vaikutuksen tehostaminen

Vaihda mekaaniset välineet sensoreihin (esim. optinen, akustinen), vaihda sähköisiin, magneettisiin tai sähkömagneettisiin kenttiin tai käytä kentän aktivoivia aineita.

29. Pneumatiikka ja hydraulikka

Käytä kiinteiden osien sijaan kaasua tai nestettä (esim. puhallettavat, nestettyt, ilmatyynyt, hydrostaattiset, hydro-reaktiiviset)

30. Joustavat rakenteet ja ohuet kalvot

Käytä joustavia rakenteita ja ohuita kalvoja kolmiulotteisten rakenteiden sijaan.

31. Huokoiset materiaalit

Tee kohteesta huokoinen, lisää huokoinen elementti tai päällyste, hyödynnä huokoisuutta paremmin.

32. Värimuutokset

Vaihda kohteen tai ulkoisen ympäristön väriä tai läpinäkyvyyttä.

33. Homogeenisuus

Tehdä kohteesta interaktiivinen annetun samaa materiaalia olevan (tai samanlaisten ominaisuuksien omaavan) kohteen kanssa

34. Hävittäminen ja palauttaminen

Hankkiudu eroon esineen osista jotka ovat jo täyttäneet tehtävänsä tai palauta toiminnassa kuluvia osia.

35. Parametrien muutokset

Muuta kohteen fysikaalinen tila (esim. kaasu, neste, kiinteä) tai sen fysikaalisia ominaisuuksia.

36. Faasimuutokset

Hyödynnä faasimuunnosten aikana tapahtuvia ilmiöitä.

37. Lämpölaajeneminen

Hyödynnä materiaalien lämpölaajentumista tai -supistumista)

38. Vahvat hapettimet

Korvaa tavallinen ilma rikastetulla hapella, puhtaalla hapella, ionisoidulla hapella tai otsonilla.

39. Inertinen ympäristö

Korvaa normaali ympäristö inerttisellä, lisää inerttisiä lisäaineita.

40. Komposiitit

Muuta homogeeninen (useiksi) komposiitti rakenteiksi

		Liikkuvan esineen paino	Liikkumattoman esineen paino	Liikkuvan esineen pituus	Liikkumattoman esineen pituus	Liikkuvan esineen alue	Liikkumattoman esineen alue	Liikkuvan esineen tilavuus	Liikkumattoman esineen tilavuus	Nopeus	Voima (Intensiteetti)	Stressi ja paine	Muoto	Esineen koostumus	Lujuus	Liikkuvan kohteen vaikutuksen kesto	Liikkumattoman kohteen vaikutuksen kesto	Lämpötila	Valaistuksen voimakkuus	Liikkuvan esineen energian käyttö	Informaation häviö
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	24
Liikkuvan esineen paino	1	+	-	15, 8, 29,34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	10, 24, 35
Liikkumattoman esineen paino	2	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-	10, 15, 35
Liikkuvan esineen pituus	3	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	1, 24
Liikkumattoman esineen pituus	4	-	35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-	24, 26,
Liikkuvan esineen alue	5	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	30, 26
Liikkumattoman esineen alue	6	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-	30, 16
Liikkuvan esineen tilavuus	7	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	2, 22
Liikkumattoman esineen tilavuus	8	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-	-
Nopeus	9	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	13, 26
Voima (Intensiteetti)	10	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	35, 10, 21	-	19, 17, 10	-
Stressi ja paine	11	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-
Muoto	12	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	9, 40, 28	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	-
Esineen koostumus	13	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	-
Lujuus	14	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26	-	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	-
Liikkuvan kohteen vaikutuksen kesto	15	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	10
Liikkumattoman kohteen vaikutuksen kesto	16	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	+	19, 18, 36, 40	-	-	10
Lämpötila	17	36,22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	-
Valaistuksen voimakkuus	18	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	10, 13, 19	26, 19, 6	-	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	32, 35, 19	+	32, 1, 19	1, 6
Liikkuvan esineen energian käyttö	19	12,18, 28,31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	+	-
Informaation häviö	24	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	-	19	-	+

HUOM! Tästä matriisista puuttuvat parametrit 20-23 ja 25-39