

Tapani Jokinen

Tuotekehitys



Aalto-yliopisto
Teknillinen korkeakoulu

ISBN 978-952-60-3320-4

URL: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>

Elektroninen julkaisu perustuu teokseen Tapani Jokinen: Tuotekehitys 6. painos (2001), ISBN951-672-313-6 ja on sen korjattu, päivitetty laitos. Tätä elektronista julkaisua saa vapaasti käyttää mainitsemalla lähteen.

Lukijalle

Tämän kirjan tavoitteena on antaa lukijalle kokonaisvaltainen kuva tuotekehitystyöstä. Kirjassa on käsitelty tuotekehitystyön luovan työn osuutta huomattavasti laajemmin kuin varsinaista kehitystyön toteuttamista.

Menneinä aikoina tuotekehitystyötä on yrityksissä suoritettu lähinnä vastaan tulevien tilanteiden ohjaamana. Tänä päivänä tuotekehitystoiminta liitetään tiiviisti muuhun tuotantoprosessiin ja markkinointiin. Näin systemaattisten suunnittelumenetelmien tarve on kasvanut.

Kirjan sähköinen verkkoversio perustuu loppuunmyydyn kirjan painettuun kuudenteen painokseen vuodelta 2001. Sähköinen versio on tarkistettu ja paikoin päivitetty. Piirroksista huomattavan osan on tehnyt Seppo Ollikainen. Kiitän kaikkia saamastani avusta.

Otaniemessä, elokuussa 2010

Tekijä

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	9
1.1	Tuotekehitystoiminta	9
1.2	Suunnittelumenetelmät	10
1.3	Kirjallisuutta	11
2	TUOTEKEHITYKSEN TYÖVAIHEET.....	14
2.1	Yleiskatsaus	14
2.2	Tuotekehitysprojektin käynnistäminen.....	17
2.3	Luonnostelu	21
2.3.1	Tehtävänasettelun analysointi. TT-menetelmä	23
1.	Analyysointi.....	23
2.	T-menetelmä.....	24
2.3.2	Tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen.....	27
2.3.3	Ratkaisujen etsiminen	30
1.	Tehtävän yleistäminen.....	30
2.	Tehtävän jako toiminnoiksi	31
3.	Ideoiden syntyminen.....	32
4.	Tietoisuus ja alitajunta.....	36
5.	Unet ja ongelmien ratkaiseminen	37
6.	Ideointimenetelmät ja ideoinnin pääsäännöt	39
7.	Aivoriihi.....	40
8.	Gordonin aivoriihi	42
9.	Kirjallinen aivoriihi 635	43
10.	Muuntelumenetelmä	44
11.	Synektiikka	46
12.	Tuplatiimi	59
13.	Tuumatalkoot.....	64
14.	Kuunteleminen.....	68
15.	Fysikaalisen ilmiön systemaattinen analysointi	71
2.3.4	Osatoimintojen ratkaisujen yhdistäminen.....	73
2.3.5	Ratkaisuluonnos.....	75

2.3.6	Ideoiden arvostelu.....	75
1.	Karkea arvostelu.....	76
2.	Painoarvotaulukko.....	78
3.	S-diagrammi.....	82
2.3.7	Ratkaisun testaus.....	86
2.3.8	Hyväksyttäminen.....	87
2.4	Kehittely.....	89
2.4.1	Kehittelyn työvaiheet.....	90
2.4.2	Arvoanalyysi.....	93
2.5	Viimeistely.....	96
2.6	Kirjallisuutta.....	99
3	VALVONTA.....	101
3.1	Ganttin janakaavio.....	101
3.2	Toimintaverkot.....	102
3.2.1	Lohkoverkko.....	103
3.2.2	Nuoliverkko.....	104
3.2.3	Toimintaverkkojen säännöt.....	106
3.2.4	Toimintaverkon aikalaskenta.....	106
3.3	Kirjallisuutta.....	113
4	ERGONOMIA JA TUOTEKEHITYS.....	114
4.1	Mitä ergonomia on.....	114
4.2	Ihmisen mitat ja havaintotoiminnan periaatteet.....	115
4.3	Laitteiden ergonominen suunnittelu.....	117
4.3.1	Sijoitus.....	117
4.3.2	Kädensijat.....	118
4.3.3	Ohjaus- ja säätölaitteet.....	119
4.3.4	Näyttölaitteet.....	121
4.3.5	Teollinen muotoilu.....	124
4.4	Kirjallisuutta.....	125
5	LUOTETTAVUUS.....	127
5.1	Komponenttien luotettavuus.....	128
5.2	Järjestelmän luotettavuus.....	133
5.3	Kirjallisuutta.....	136
6	TUOTEKEHITYSTYÖN TULOSTEN SUOJAAMINEN.....	137
6.1	Patentti.....	137
6.1.1	Patentoitavuus.....	138

6.1.2	Patentilla saavutetut oikeudet	139
6.1.3	Patenttihakemus ja sen käsittely	139
6.1.4	Patentin hyödyntäminen	143
6.1.5	Työsuhdekeksinnöt	143
6.2	Hyödyllisyysmalli	144
6.3	Mallisuoja	145
6.3.1	Malli	146
6.3.2	Mallin rekisteröimisen edellytykset	147
6.3.3	Mallin rekisteröiminen	148
6.4	Integroidun piirin piirimallisuoja	150
6.5	Tekijänoikeussuoja	150
6.6	Tavaramerkkisuoja	151
6.7	Toiminimisuoja	152
6.8	Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa	153
6.8	Kirjallisuutta	153
7	OPTIMOINNIN PERUSTEET	155
7.1	Johdanto	155
7.2	Terminologiaa	157
7.3	Yhden muuttujan funktion vapaita optimointimenetelmiä	160
7.3.1	Tyhjentävä haku	161
7.3.2	Jaksottainen tyhjentävä haku	162
7.3.3	Dikotominen haku	163
7.3.4	Fibonaccin haku	164
7.3.5	Kultaisen leikkauksen hakumenetelmä	167
7.4	n-muuttujan vapaita optimointimenetelmiä	168
7.4.1	Tyhjentävä haku	170
7.4.2	Satunnainen haku	170
7.4.3	Jaksottainen tyhjentävä haku	172
7.4.4	Jaksottainen satunnainen haku	173
7.4.4	Ristikkohaku	175
7.4.5	Univariaattinen haku	176
7.4.6	Satunnainen kulku	178
7.4.7	Gradienttimenetelmä	178
7.4.8	Partan-menetelmä	181
7.5	Sidottuja optimointimenetelmiä	183
7.5.1	Lineaarinen ohjelmointi	184

7.5.2	Vapaiden optimointimenetelmien sovellutuksia.....	186
7.5.3	Kohdefunktion muokkaaminen.....	186
7.5.4	Geneettinen optimointi	191
7.6	Esimerkki	193
7.7	Kirjallisuutta	199

1

JOHDANTO

1.1 Tuotekehitystoiminta

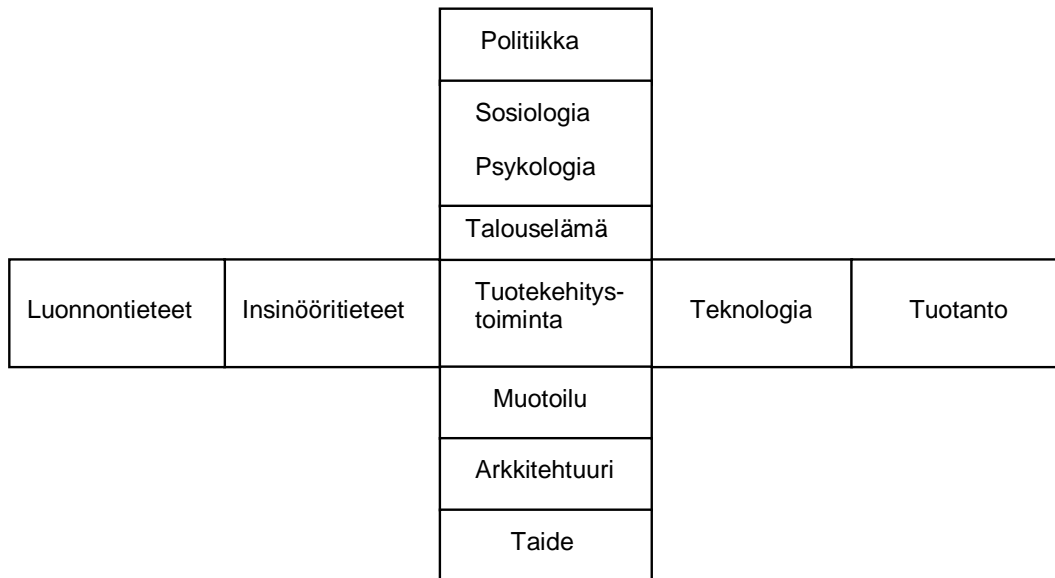
Onnistunut tuotekehitystoiminta on yrityksen menestymisen yksi keskeisimmistä edellytyksistä. Yrityksen on huolehdittava jatkuvasti tuotekehityksestä. Muussa tapauksessa tulee ennen pitkää aika, jolloin tuotteet ovat vanhentuneita, myynti vähenee ja viimein loppuu kokonaan.

Tuotteen elinikä eli se aika, jona tuotetta valmistetaan ja markkinoidaan, vaihtelee suurestikin ollen yleensä muotitavaroilla lyhyt ja teollisuuden investointitavaroilla näitä huomattavasti pidempi. Yleisesti on nähtävissä, että tuotteiden elinikä on useilla aloilla lyhenemässä.

Tuotekehityksellä ymmärretään toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote. Tuotekehitys on monivaiheinen prosessi, käsittäen tuoteidean etsimisen, kehitysnäkymien, markkinoiden ym. tuotekehityshankkeen käynnistämiseen tarvittavien tietojen selvittämisen, varsinaisen tuotteen luonnostelun, yksityiskohtaisen suunnittelun, optimoinnin, työpiirustusten tekemisen, käyttöohjeiden laatimisen sekä tuotantomenetelmien kehittämisen.

Tuotekehityksessä pyritään täyttämään asetetut tavoitteet niin hyvin kuin on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista ja tarkoituksenmukaista. Tuotekehitystoiminnassa joudutaan tekemisiin lähes kaikkien ihmiselämän alueiden kanssa. Siinä tarvitaan luonnontiedon hyvää tuntemusta ja kykyä luovaan käytännön työhön. Tuotekehitystoiminta voidaan esittää kuvan 1.1 mukaisesti risteyskohtana, johon kulttuuri ja tekniikka vaikuttavat (*Penny* 1970).

Tuotekehityksessä voi olla kyse täysin uuden tuotteen suunnittelemisesta tai olemassa olevan tuotteen edelleen kehittämisestä niin, että tuotteesta tulee teknisesti aikaisempaa parempi ja valmistuskustannuksiltaan halvempi. Edelleen tehtävänä voi olla tunnetun järjestelmän sovittaminen toiseen tarkoitukseen. Tällöin joudutaan yksityisiä osia suunnittelemaan uudestaan, mutta ratkaisuperiaate säilyy entisenä eikä tavoitteena ole täysin uuden tuotteen suunnitteleminen.



Kuva 1.1 Tuotekehitystoiminta kulttuurin ja tekniikan vaikutuksen alaisena.

1.2 Suunnittelumenetelmät

Menneinä aikoina ei yrityksissä tuotekehitystä tehty erityisiä menetelmiä hyväksikäyttäen, vaan toiminta tapahtui enemmän vastaantulevien tilanteiden johdattamina. Tämä oli luonnollistakin, sillä suunnittelutyö on monitahoista luovaa työtä, joka ei menetelmällisesti eikä organisatorisesti ole asetettavissa jäykkiin kaavoihin.

Tarve yleisesti sovellettavien suunnittelumenetelmien kehittämiseen on kuitenkin lisääntynyt. Tähän on vaikuttanut tuotteiden eliniän lyheneminen, jolloin tuotekehityspanosta on lisättävä ja kiristynvä kilpailu toisaalta edellyttää alenevia kehityskustannuksia sekä halvempia ja laadultaan parempia tuotteita. Edelleen markkinoinnin ja valmis-

tuksen vaatimukset tulee ottaa suunnittelussa huomioon. Suunnitteluprosessi tulee näin liittää tiiviisti valmistukseen ja markkinointiin. Oikein suoritettuna tämä alentaa kustannuksia, lyhentää toimitusaikoja ja tuottaa aikaisempaa kilpailukykyisempiä tuotteita.

Tuotekehitys tieteenä on nuori. Se on saanut alkunsa 1940 ja 50-lukujen vaihteessa pohjautuen *Kesselringin* (1954), *Tschochnerin* (1954), *Niemannin* (1975), *Matousekin* (1957) ja *Leyerin* (1963 - 1971) töihin. Viime vuosina tuotekehityksen tutkimus on syventynyt ja siitä on tehty väitöskirjoja. Näistä muutamia on sisällytetty oheiseen kirjallisuusluetteloon (ks. kappale 1.3). Suomenkielisistä tuotekehitystoimintaan ja ideointiin liittyviä kirjoja on useita mm. *Jaakkolan* ja *Tunkelon* (1987) ja *Virkkalan* (1994) kirjat sekä *Kivikon* (1977) luovuutta käsittelevä väitöskirja.

1.3 Kirjallisuutta

FUJITO, M. 2000. What is design?: definition of the contribution rate of the appeal indexes and design rate in product development. Helsinki, väitöskirja, Acta Polytechnica Scandinavica. IM series, No 9. TKK-DISS-1473.

HANSEN, O. 1997. Sustainable industrial product systems: integration of life cycle assessment in product development and optimization of product systems. Fredrikstad, Dr. tech. avhandling, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 180.

JAAKKOLA, J., TUNKELO, E. 1987. Tuotekehitys – ideasta markkinoille. Espoo, Weilin + Göös, Ekonomiasarja.

KESSELRING, F. 1954. Technische Kompositionslehre. Berlin, Springer.

KAULIO, M. 1997. Customer-focused product development: a practice-centered perspective. Göteborg, Doktoravhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie 1358.

KIVIKKO, L. 1977. Luovan toiminnan kehittämisen mahdollisuudet. Otaniemi, väitöskirja, Helsingin teknillisen korkeakoulun Tieteellisiä julkaisuja 61.

KÄRKKÄINEN, H. 1995. Asiakastarpeista tuotteiksi: kehitystoiminnan työvälineet. Helsinki, Metalliteollisuuden kustannus.

LEYER, A. 1963 - 1971. Maschinenkonstruktionslehre. Hefte 1 - 6 Technica-Reihe. Basel, Stuttgart, Birkhäuser.

LUNDQVIST, M. 1996. Organizing product development: formalising the informal in interdependent knowledge work. Göteborg, Doktoravhandlingar vid Chalmers tekniska högskola. Ny serie 1191.

MATOUSEK, R. 1957. Konstruktionslehre des allgemeinen Maschinenbaus. Berlin, Heidelberg, New York, Springer.

MÄKINEN, S. 1999. A strategic framework for business impact analysis and its usage in new product development. Espoo, väitöskirja, Acta Polytechnica Scandinavica. IM series, No 2. Diss. TTKK.

NIEMANN, G. 1975. Maschinenelemente, osa 1. 3. p. Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer.

NIHTILÄ, J. 1996. Integration mechanism in new product development. Espoo, väitöskirja, Acta Polytechnica Scandinavica. Mathematics, computing and management in engineering series, No 78. TTK-DISS-1068.

PAHL, G., BEITZ, W. 1984. Engineering Design. London, Design Council.

PENNY, R. K. 1970. Principles of engineering design. Postgraduate 46, s. 344-349.

STOKMANS, M. 1991. The relative importance of product attributes: consumer decision theories in new-product development. Delft, Diss. Technische Universiteit Delft.

TSCHOCHNER, H. 1954. Konstruieren und Gestalten. Essen, Girardet.

ULRICH, K., EPPINGER, S. 2003. Product design and development. 3rd edition, New York, McGraw-Hill.

VDI-Richtlinie 2222. 1977. Blatt 1, Konzipieren technischer Produkte. Düsseldorf, VDI-Verlag.

VIRKKALA, V. 1994. Luova ongelmanratkaisu. 3. täydennetty painos, Helsinki, prof. Vilko Virkkala, Vammalan kirjapaino.

2

TUOTEKEHITYKSEN TYÖVAIHEET

2.1 Yleiskatsaus

Tuotekehityshanke voidaan jakaa neljään toimintavaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Toimintavaiheet seuraavat toisiaan kaaviokuvan 2.1 mukaisesti.

Oikeiden tuotekehityshankkeiden **käynnistäminen** on yrityksen menestyksen kannalta hyvin oleellista. Tästä syystä ennen lopullista tuotekehityshankkeen toteuttamis päätöstä on huolellisesti selvitettävä uuden tuotteen kehittämiskustannukset, markkinointinäkyvät, saatavat tuotot sekä myös työterveydelliset ja ympäristönsuojelulliset kysymykset. Käynnistämisen vaihe päättyy myönteisessä tapauksessa **kehityspäätökseen**.

Vain osa kehityspäätöstä valmistelleista henkilöistä osallistuu varsinaiseen tuotekehitystyöhön. Mahdollisesti kaikki henkilöt ovat uusia. Tästä syystä **luonnosteluvaihe** aloitetaan tehtävän analysoinnilla. Lähtien kehityspäätöksestä laaditaan uudelle tuotteelle asetettavat vaatimukset ja tavoitteet. Tässä yhteydessä saattaa tulla ilmi seikkoja, joita ei osattu kehityspäätöstä tehtäessä ottaa huomioon, jolloin ennen lopullisen vaatimuslistan tekemistä joudutaan keskustelemaan kehityspäätöksen tekijöiden kanssa.

Vaatimuslistan jälkeen luonnostelu jatkuu ratkaisumahdollisuuksien etsimisellä. Jotta päästäisiin irti mahdollisista ennakkokäsityksistä, joita ongelman analysointivaihekin on saattanut synnyttää, on hyvä aloittaa työ tehtävän **yleistämällä**. Tällöin pyritään irtautumaan varsinaisesta tehtävästä. Esimerkiksi jos tehtävänä on suunnitella pakkauskone, niin tässä vaiheessa etsitään ratkaisuja tavaran varastoimiseksi ja lähettämiseksi riittävän suojattuna perille.

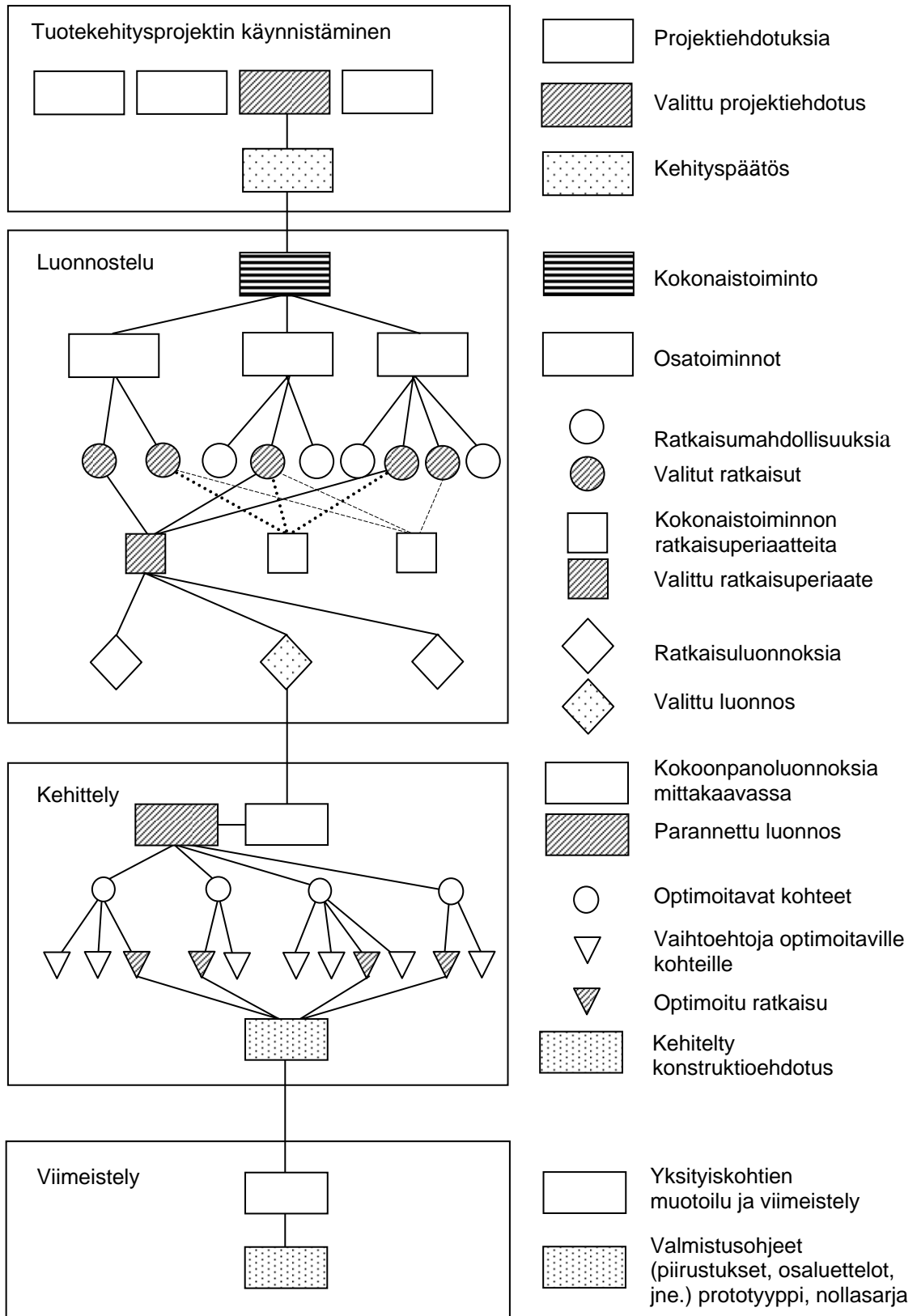
Yleistämisvaiheessa pyritään myös selvittämään tehtävän olennaiset ongelmat ja **kokonaistoiminto**. Seuraavassa vaiheessa kokonaistoiminto jaetaan **osatoimintoihin** ja näille etsitään **ratkaisumahdollisuuksia** käyttäen hyväksi ideointimenetelmiä.

Osatoimintojen ratkaisuista valitaan teknis-taloudellisten näkökohtien perusteella parhaimmat ja niitä yhdistelemällä etsitään **kokonaistoiminnon ratkaisuperiaatteita**. Vaihtoehtoiset ratkaisut **arvostellaan** vaatimus- ja toivelistan kriteerien perusteella. Yksi tai mahdollisesti useampikin ratkaisuperiaate kehitetään edelleen konkreettisiksi luonnoksiksi niin, että niiden teknis-taloudellinen arvostelu on riittävän luotettavasti suoritettavissa. Tulokseksi saadaan yksi tai useampi **ratkaisuluonnos**. Ratkaisuluonnoksista voidaan käytännössä yleensä aika- ja kustannussyistä kehittää lopulliseksi tuotteeksi vain yksi. Tästä syystä ratkaisuluonnokset on huolella arvosteltava parhaimman löytämiseksi.

Tuotteen **kehittely** alkaa valitun ratkaisun **kokoonpanoluonnoksen** laatimisella mittakaavassa. Tässä työssä havaitaan yleensä suunnitelmissa teknisesti ja taloudellisesti heikkoja kohtia, jotka pyritään ideoinnein poistamaan. Näin saadaan yksi tai useampi parannettu mittakaavainen suunnitelma.

Jos kehitettävänä on yrityksen toiminnan kannalta merkittävä tuote, etsitään tuotteesta valmistuskustannuksiin ja teknisiin ominaisuuksiin vaikuttavat oleellimmat osat, jotka **optimoidaan**. Optimoinnissa selvitetään vaihtoehtoiset raaka-aineet, edullisin geometria jne. Työmenetelminä käytetään usein arvoanalyysiä. Myös matemaattiset optimointimenetelmät tulevat kysymykseen yksityisten osien tai kokonaisuuksien edullisimman geometrian ratkaisemisessa.

Kun näin saadaan kaikki asetetut vaatimukset täyttävä konstruktio suunnitelluksi, päättyy kehitysvaihe ja tuloksena on **kehitetty konstruktioehdotus**. Jos vaatimuksia ei pystytä riittävän hyvin toteuttamaan, on kehitystyö aloitettava alusta ja valittava lähtökohdaksi uusi ratkaisuluonnos.



Kuva 2.1 Tuotekehitysprojektin toimintavaiheet.

Tuotekehitystapahtuman viimeisessä vaiheessa suoritetaan konstruktion **viimeistely**. Tällöin piirretään työpiirustukset, laaditaan osaluettelot, käyttö- ja huolto-ohjeet jne. Tässä vaiheessa konstruktion yksityiskohdat saavat lopullisen muotonsa. Sarjavalmistukseen tulevista tuotteista valmistetaan tavallisesti koekappale eli **prototyyppi**. Sen ominaisuudet tutkitaan ja tarkistetaan, että ne vastaavat asetettuja tavoitteita. Prototyypin jälkeen voidaan valmistaa vielä ns. **nollasarja**, jolla testataan suunniteltuja valmistusmenetelmiä ja josta saadaan lisää tietoa uuden tuotteen ominaisuuksista ja valmistushajonnasta.

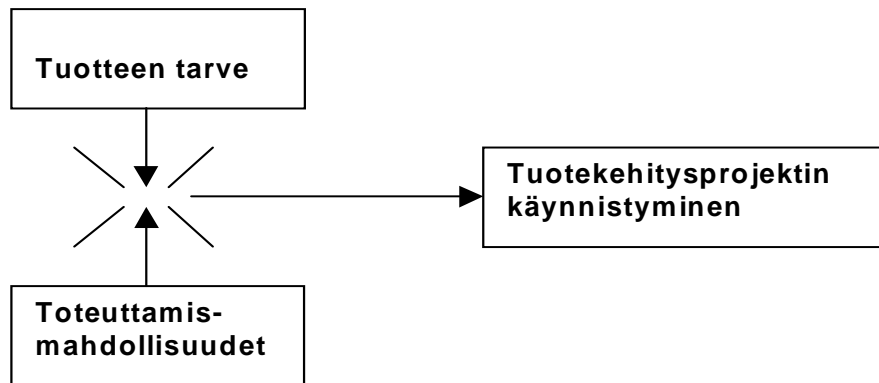
Jos kehiteltävänä on suuri ja kallis laite tai järjestelmä, kuten suurmuuntaja tai paperikonekäyttö, ei ole mahdollista valmistaa prototyyppiä. Tällöin epävarmimmista yksityiskohdista rakennetaan koekappaleita täydessä mittakaavassa tai pienoismallina, joiden testauksella vähennetään epäonnistumisen mahdollisuutta.

Kun viimeistelyvaihe on suoritettu loppuun, voidaan tehdä lopullinen päätös tuotannon aloittamisesta.

Seuraavissa kappaleissa käydään yksityiskohtaisemmin läpi tuotekehitystapahtuman neljä työvaihetta sekä niissä käytettäviä työmenetelmiä.

2.2 Tuotekehitysprojektin käynnistäminen

Uuden tuotekehitysprojektin käynnistämisen perusedellytyksenä on, että on olemassa tuotteen **tarve** ja mielikuva sen **toteuttamismahdollisuudesta** (kuva 2.2). Pelkkä tarve ei ole riittävä. Esimerkiksi ikiliikkuja olisi hyvinkin tarpeellinen energian hinnan kasvassa, mutta kun toteuttamismahdollisuuksia ei ole, ei vakavasti otettavia tuotekehitysprojekteja käynnisty.



Kuva 2.2 Tuotekehitysprojektin käynnistymisen edellytyksenä on tarve ja idea sen toteuttamismahdollisuudesta.

Tarpeen ja toteuttamismahdollisuuksien havaitseminen voi tapahtua sattumalta tai systemaattisen hakutoiminnan tuloksena.

Sattumaan perustuvia tuotekehityshankkeita löytyy paljon, jotka lisäksi ovat osoittautuneet menestyksellisiksi. Pari esimerkkiä:

- Neolux lampun kehitystyö sai alkunsa siitä, että Teknillisen korkeakoulun professori *Erämetsä* erehdyksessä otti tavallisten silmälasien asemasta ns. neofaasilasit käydessään aterioimaan. Ruoka näytti selvästi herkullisemmalta näitä laseja käytettäessä. Erämetsä ihmetteli asiaa ja havaitsi, että hänen silmälasinsa vaikuttivat ruoan ulkonäköön.
- Penisilliinin kehittämisen alkusysäyksenä oli tri *Flemingin* havainto, etteivät bakteerit viihtyneet homepilkun lähellä, joka oli hänen apulaiseltaan vahingossa päässyt syntymään viljelmään.

Tuotekehitystoiminnan yhteydessä sattuu usein yllättäviä tapahtumia, jotka muuttavat projektin kulkua. Näin lopputulos on enemmän tai vähemmän toisenlainen kuin hanketta suunniteltaessa kuviteltiin. Tästä syystä:

- Odottamattomiin tapahtumiin on kehitystoiminnassa kiinnitettävä erityistä huomiota, mm. kokeita suoritettaessa tai laadittaessa käyttökokemusten raportointijärjestelmää.

- Tuotekehitystoiminnan tulee olla joustavaa niin, että asetettuja tavoitteita pystytään muuttamaan, jos ilmenee odottamattomia vaikeuksia tai uusia mahdollisuuksia.



Kuva 2.3 Sattumiin tulee kiinnittää huomiota.

Vaikka sattumat saattavat tuottaa kannattavia tuoteideoita, ei tuotekehitystä voida perustaa yksinomaan sattumiin, vaan uusien tuotteiden hakeminen tulee olla organisoitua ja systemaattista. Tuoteideoiden löytämiseksi tarvitaan tietoa yrityksen ulkopuolelta ja itse yrityksestä.

Tietoa yrityksen ja sen tuotteiden asemasta antavat **yrityksen ulkopuolelta** mm.:

- markkina-analyysit,
- asiakkaiden kyselyt ja tarjouspyynnöt,
- messujen herättämät vaikutelmat,
- kilpailijoiden tuotteiden analyysit,

- yleiset tekniikan kehityssuunnitteet (esim. automaation lisääntymisen tai työpaikkamäärän alentamisen aiheuttamat muutoksenäkymät ko. yrityksen tuotteisiin).

Yrityksen sisältä tarvitaan tietoa mm. seuraavista asioista:

- käytettävissä oleva tutkimus-, suunnittelu ja markkinointihenkilökunta sekä ammatti- ja apuhenkilökunta valmistusosastoilla,
- henkilökunnan tiedontaso,
- käytettävissä olevat tutkimustilat ja -laitteet,
- valmistusmahdollisuudet, vapaa valmistuskapasiteetti, olemassa olevat tuotantovälineet, alihankintojen käyttö
- omat ja kilpailijoiden patentit ja lisenssit,
- yrityksen taloudelliset mahdollisuudet,
- myyntiorganisaatio, asiakassuhteet, markkinointihenkilökunnan kokemus.

Edellä luetellut asiat muodostavat ns. **yrityspotentiaalin** eli ne voimavarat, joilla yritys voi toimia. Mikäli omat voimavarat eivät ole riittävät, niitä on vahvistettava tai vaihtoehtoisesti etsittävä **yhteistyökumppania**.

Tuoteideoiden systemaattisessa etsimisessä selvitetään ensin ne tuotealueet, joilla yrityksen potentiaaliset mahdollisuudet ovat suurimmat. Tuotealueelle voi olla tunnusomaista esimerkiksi, että ne täyttävät **tietyn toiminnon** tai että ne **toimivat tietyllä toimintaperiaatteella** tai että ne valmistetaan **tietystä raaka-aineesta** tai **tietyllä valmistusmenetelmällä** tai että ne markkinoidaan **tietylle asiakaspiirille**. Yrityspotentiaalin huolellinen analysointi selvittää myös osaltaan kannattavimpia tuotealueita. Samoin yrityksen asemasta yrityksen ulkopuolelta kerätyt tiedot antavat virikkeitä tuotealueista, joille toimintaa saattaisi kannattaa suunnata.

Tuotealueet arvostellaan käyttäen kriteerinä yrityksen toiminta-ajatusta ja edellä lueteltuja yrityksen ulkoisesta ja sisäisestä tilasta kerättyjä tietoja. Näin päädytään yhteen tai useampaan lupaavimpaan tuotealueeseen, joilta konkreettisia tuoteideoita etsitään.

Tuoteideoiden etsimisessä käytetään hyväksi ideointimenetelmiä, joita käsitellään yksityiskohtaisemmin luonnostelua käsittelevän kappaleen 2.3 yhteydessä. Ideoinnilla

pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon erilaisia ratkaisuja ajattelematta niiden toteuttamismahdollisuuksia tai mielekkyyttä yleensä.

Löydetyistä tuoteideista laaditaan **kehitysehdotus**, joka sisältää

- kehitettävän tuotteen kuvauksen,
- tekniset vaatimukset,
- taloudelliset vaatimukset (sallitut valmistus- ja käyttökustannukset),
- käytettävissä olevan kehityspanoksen,
- aikataulun.

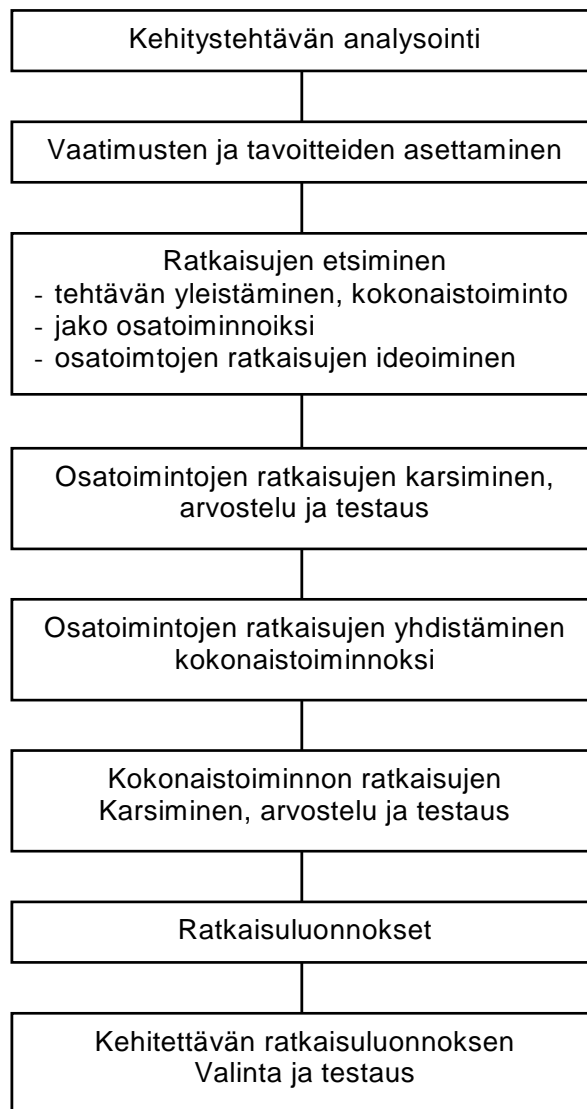
Yrityksen johto tekee lopullisen **kehityspäätöksen**. Riippuen yrityksen organisaatiosta ja kehitysehdotuksen laajuudesta voidaan päätös tehdä eri tasoilla. Jos kyseessä on olemassa olevan tuotteen vähäinen parantaminen, päätöksen tekee tuotekehitysosaston johto. Sen sijaan jos ehdotus koskee merkittävää olemassa olevan tuotteen korvaamista uudella tuotteella tai tuotealueen laajentamista, kehityspäätöksen tekee yrityksen korkein johto. Kun kehityspäätös on tehty, alkaa luonnosteluvaihe.

2.3 Luonnostelu

Tuotekehitysprosessin luonnosteluvaiheessa etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuluonnoksia kehitettävälle tuotteelle. Tässä vaiheessa ei vielä tehdä yksityiskohtaisia mittakaavaan laadittuja piirustuksia, vaan kuvat ovat ratkaisuperiaatteita selventäviä, enimmäkseen käsivaraisesti piirrettyjä luonnoksia. Luonnosteluvaiheen tärkeimmät työmenetelmät ovat erilaiset luovaan insinööriyön tekemiseen soveltuvat ideointimenetelmät.

Luonnostelu sisältää samat työvaiheet kuin mitä päätöksenteossa tai ongelman ratkaisemisessa käytetään. Päätöksentekoa ja ongelman ratkaisemista varten on laadittu useita menetelmiä. Nämä eroavat toisistaan lähinnä yksityiskohdissa ja eri työvaiheiden keskinäisessä painotuksessa. Ratkaisun yleinen kulku on samantyyppinen ja sisältää seuraavat vaiheet: ongelman havaitseminen, asiantietojen hankinta ja ongelman analysointi, vaatimusten ja tavoitteiden laatiminen, ratkaisuideoiden etsiminen, ideoiden karsiminen ja arvostelu, valittujen ratkaisujen testaus sekä lopullisen päätöksen tekemi-

nen. Seuraavassa esitettävät luonnostelun työvaiheet noudattavat VDI 2222:ssa esitettyjä sekä *Aaltosen, Pirjetän ja Uusi-Rauvan* (1978) esittämiä periaatteita. Kuvassa 2.4 työvaiheet on esitetty kulkukaaviona. Työvaiheet käsitellään kulkukaavion mukaisessa järjestyksessä muuten paitsi, että eri vaiheissa ideoitujen ratkaisujen karsinta, arvostelu ja testaus käsitellään viimeiseksi yhtenä kokonaisuutena. Luonnostelu alkaa kehitystehtävän analysoinnilla.



Kuva 2.4 Luonnostelun työvaiheet

2.3.1 Tehtävänasettelun analysointi. TT-menetelmä

1. Analysointi

Kehityspäätös ei yleensä sisällä kaikkea sitä tietoa, jota luonnostelussa tarvitaan. Tästä syystä luonnostelu aloitetaan tehtävän analysoinnilla. Analysointi on tarpeellinen myös siitä syystä, että useimmat luonnosteluun osallistuvat eivät ole olleet kehityspäätöstä tekemässä. Analysoinnissa pätee myös vanha sanonta “hyvin suunniteltu on puoleksi tehty”.

Analysoinnissa käydään huolella läpi kehityspäätös. Tällöin pyritään löytämään vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on ongelman **ydin**?
- Mitä usein kirjoittamattomia **toiveita ja odotuksia** on olemassa?
- Sisältyykö tehtävänasetteluun etukäteen asetettuja **rajoituksia**?
- Mitkä tiedot ovat kehitystyölle **avoimia**?

Kehityspäätöksen tulisi olla muodoltaan sellainen, että ongelman ratkaisulle ei asetettaisi ahtaita rajoja ja siten mahdollisesti estettäisi optimiratkaisun löytämistä.

Kehitystyön vaatimat reuna- ja alkuehdot on kirjoitettava muistiin. Näiden laatimisessa ovat seuraavat kysymykset hyödyllisiä:

- Mikä ominaisuus ratkaisulla tulee olla tai mikä tarkoitus ratkaisun tulee täyttää?
- Mitä ominaisuuksia ratkaisulla ei saa olla?

Analysointivaiheessa on hyvä selvittää myös seuraavat kohdat:

- **Mitä asiakkaat toivovat?** Näitä voidaan selvittää asiakaskyselyllä. Usein jo omat myyntihenkilöt tuntevat asiakkaiden tärkeimmät toiveet.
- Mitkä ovat omien vastaavien tuotteiden **heikot kohdat**? Niistä saa tietoa korjaustilastoista, asiakkaiden valituksista ja laadunvalvontaraporteista.
- Mitä suosituksia sisältyy markkinointialueen **standardeihin** ja mitä vaatimuksia sisältyy mahdollisiin **turvallisuusmääräyksiin**?

- Mitä vaatimuksia arvioitavissa oleva **tekniikan ja yhteiskunnan kehitys** tuo mukanaan?

2. TT-menetelmä

TT-menetelmä on japanilainen ryhmätyöskentelyyn perustuva ongelman analysointi-menetelmä. Kirjainyhdistelmä TT on lyhenne termeistä Team Think. Menetelmän kehitti alun perin japanilainen antropologi *Jiro Kawakita*. Hän on toiminut Tokion teknillisen korkeakoulun professorina. Kawakita kehitti TT-menetelmän alun perin oman opiskelunsa tueksi vuonna 1951 ja kutsui sitä KJ-menetelmäksi. Menetelmää käytetään nykyään laajasti Japanissa. Sitä pidetään tehokkaana ongelman analysointi- ja myös ratkaisumenetelmänä. Pääpaino menetelmässä on kuitenkin analysoinnissa, mutta kun ongelmaa on huolellisesti analysoitu ja pohdittu, niin se on käytännössä myös pitkälti ratkaistu.

TT-menetelmä perustuu ongelmaan liittyvien tosiasioiden esiin kaivamiseen ja niiden keskinäisten vaikutussuhteiden selvittämiseen.

On väitetty, että japanilainen tuotekehityshanke eroaisi eurooppalaisesta ja amerikkalaisesta ajankäytön suhteen. Eurooppalaisessa yrityksessä pieni ryhmä kehittää uutta tuotetta nopeasti prototyypivaiheeseen asti, kun taas japanilaiset pohtivat uutta tuotetta ja siihen liittyviä ongelmia huomattavasti pidempään ja laaja-alaisemmin yrityksen sisällä. Tästä on seurauksena se, että aikaa kuluu runsaasti ennen kuin päästään tuotannon aloittamiseen. Sitten kun tuotanto alkaa, se lähtee käyntiin nopeasti ja vähin virhein, sillä kaikki tuntevat tehdyt päätökset ja niiden perustelut. Eurooppalaiset ja amerikkalaiset sen sijaan tuhlaavat aikaa siinä, että kaikki hyväksyvät tuotekehitysryhmän tuloksen ja tietävät, miksi tulee toimia ehdotetulla tai päätetyllä tavalla. Myös virheiden korjaamiseen menee eurooppalaisilla japanilaisia enemmän aikaa. Koko projektin kesto on japanilaisilla ja eurooppalaisilla suunnilleen yhtä pitkä.

TT-menetelmä muodostuu seuraavista neljästä vaiheesta:

- tosiasioiden kerääminen ja sanallinen kuvaaminen,
- kerätyn aineiston ryhmittely,

- kaavion tekeminen,
- kaavion suullinen tai kirjallinen selittäminen.

Työ tehdään ryhmätyönä. Ryhmää vetää ohjaaja.

Tosiasioiden kerääminen ja sanallinen kuvaaminen

Tosiasiat ovat ongelmaan liittyviä muokkaamattomia tietoja. Esimerkiksi uuden kuntolaitteen kehittämisessä tosiasioita ovat “Uusi hyvä kuntolaite on ergonomisesti suunniteltu”, “Kuntolaitteen on oltava kestävä”, “Kuntoiluvälineet vaativat säilytystilan”, “Tehoa ja energian kulutusta on voitava mitata” jne. Tosiasiat kirjoitetaan paperilapuille, yksi asia lappua kohden. Keräämisen ja kirjoittamisen aikana ei keskustella, vaan jokainen kirjoittaa omasta mielestään asiaan liittyvät tosiasiat lapuilleen. Ainoastaan työskentelyn ohjaaja voi keskustella jäsenten kanssa jonkin tosiasian sanallisen muodon selkeyttämisestä, mutta hänkään ei saa yrittää vaikuttaa sen sisältöön.

Tosiasioiden todenperäisyydestä ei tule välittää. Jokainen kirjoittaa vain, miltä hänestä tuntuu. Jos tiedot eivät pidä paikkansa, paljastuu ne myöhemmin analyysiä tehtäessä.

Tosiasioiden ryhmittely

Kun uusia tosiasioita ei enää löydetä, levitetään laput pöydälle tai kiinnitetään seinälle kaikkien nähtäväksi. Kiinnitys käy kätevästi, jos lappuina käytetään liimareunaisia viestilappuja. Laput luetaan läpi useaan kertaan. Lappujen sanomaa tulee yrittää “kuunnella” ilman ennakkoasenteita. Jotkut laput tuntuvat kuuluvan yhteen ja ne siirretään vierekkäisiksi. Näin jatketaan niin kauan, kunnes lähes kaikki tosiasiat on saatu ryhmiteltyä jotenkin.

Tässä vaiheessa yleensä jää useita yksinäisiä lappuja, jotka eivät näytä sopivan yhteen muiden kanssa. Kuitenkin osa niistä sopii yhteen joidenkin ryhmien kanssa, jos ryhmien sisältöä laajennetaan.

Kun ryhmät on saatu tehtyä, ryhdytään laatimaan ryhmille niiden sisältöä kuvaavia otsikoita. Kun sopivasta otsikosta on päästy yksimielisyyteen, niputetaan ryhmän laput yhteen ja otsikkolappu laitetaan päällimmäiseksi. Kun kaikki otsikot on löydetty, tois-

tetaan ryhmittely ja otsikointi otsikkolapuille sekä yksinäisille lapuille. Tätä jatketaan, kunnes jäljellä on alle kymmenen ryhmää ja otsikkoa, jolloin keskinäisten vaikutusten ja suhteiden määrittäminen on mahdollista.

Tärkeää on, että keskustelua tosiasioiden ryhmittelystä jatketaan niin kauan, kunnes kaikki ryhmän jäsenet ovat yhtä mieltä siitä, että paras tulos on saavutettu.



Kuva 2.5 Tosiasioiden ryhmittely TT-menetelmällä

Kaavion tekeminen

Saadut pääryhmät pyritään sijoittelemaan siten, että ne muodostavat tarkoituksenmukaisen kokonaisuuden, ja että toisiinsa läheisesti vaikuttavat ryhmät ovat lähellä toisiaan. Ryhmien järjestystä vaihdellaan, kunnes niiden keskinäiset vaikutussuhteet ovat mielessä kirkastuneet.

Vaikutussuhteet kuvataan ryhmien välisillä nuolilla tai muilla vastaavilla merkeillä. Nuolia voidaan vahventaa, jos kaikki ovat yhtä mieltä voimakkaasta vaikutussuhteesta. Vaikutussuhteita ovat syyt ja seuraukset, riippuvuudet, yhteydet ja ristiriidat.

Kuvasta pyritään tekemään siisti ja selkeä. Tässä prosessissa paljastuu asiayhteyksiä, joita osanottajat eivät ehkä olisi tulleet muutoin ajatelleeksi.

Kaavion selittäminen

TT-menetelmän viimeinen vaihe on saadun kaavion tarkka ja selkeä selittäminen. Tämä tehdään ensin suullisesti, jolloin ongelma-alueesta saadaan yleiskuva. Tässä vaiheessa saattaa tulla mieleen ongelmaan liittyviä ratkaisuideoita. Tämä suusanallinen selitys kannattaa tehdä uudestaan niin monta kertaa, että selitys käy sujuvasti. Mikäli kaaviota ei voi selkeästi selittää, se on keskeneräinen tai huonosti tehty.

Seuraavaksi kaavio selitetään kirjallisesti. Henkilökohtaiset tulkinnat tulee erotella tosiasioista. Kirjallisen selityksen hahmottuessa saadaan useita uusia idean taimia tai ajatuksia.

TT-menetelmässä ryhmän jäsenten henkilökohtaiset asennoitumiset muuttuvat vähitellen yhdenmukaisemmiksi. Menetelmä johtaa näkemään ongelman keskeisen sisällön.

Kun kehitettävästä tuotteesta on kerätty tarvittava informaatio ja tuotteen kehitystehävän asettelu on analysoitu esimerkiksi TT-menetelmällä, laaditaan kehitettävälle tuotteelle vaatimukset ja tavoitteet.

2.3.2 Tavoitteiden ja vaatimusten asettaminen

Tavoitteet tulee asettaa hyvin korkealle, jotta saavutettavat tulokset voisivat olla hyviä. Ei riitä, että tavoitteeksi asetetaan yhtä hyvä tuote kuin markkinoiden paras tuote on kyseisellä hetkellä. Jos näin toimittaisiin, olisivat uudet tuotteet aina vähän vanhentu-

neita, sillä myös kilpailijat jatkuvasti kehittävät tuotteitaan ja kehitystyötä aloitettaessa markkinoiden paras tuote ei kehitystyön päättyessä olekaan enää paras.



Kuva 2.6 Tavoitteet on asetettava korkealle.

Tavoitteiden asettamisessa voidaan käyttää *Nadlerin* (1965) suosittelemaa menetelmää:

1. Unohdetaan tekniset ja taloudelliset rajoitukset ja määritetään teoreettinen ihanne-ratkaisu.
2. Otetaan huomioon tekniset mahdollisuudet ja määritetään näin rajoitettu ihanne-ratkaisu.
3. Otetaan huomioon taloudelliset mahdollisuudet ja määritetään teknistä ihanne-ratkaisua mahdollisimman paljon muistuttava ratkaisu.
4. Muotoillaan lopulliset tavoitteet niin, että tulos on mahdollisimman tasapainoinen.

Tavoitteita on yleensä hyvinkin runsaasti. Tällöin niiden keskinäinen tasapainottaminen on vaikea tehtävä. Ihmisellä on taipumus painottaa tavoitetta, joka on hänen kokemuksensa mukaan tärkeä ja jättää muut tavoitteet vähäisemmälle painoarvolle. Näin esimerkiksi suunnittelijat usein painottavat teknisiä ominaisuuksia, valmistusosastojen henkilöt valmistuksen helppoutta, myyntimiehet hintaa jne. Tästä syystä luonnosteluvaiheeseen tulee osallistua henkilöitä organisaation eri puolilta.

Tavoitteiden tasapainoisuutta arvioitaessa tavallisesti esiin tulevia näkökohtia ovat:

- **Suorituskyky**, kuten teho, vääntömomentti, jännite, suurin sallittu käynnistysaika ja -virta jne.
- **Hinta**. Halpa hinta ei ole asiakkaalle edullista, jos se saavutetaan käyttövarmuuden, käyttökustannusten ja suorituskyvyn kustannuksella. Toisaalta kaikki tekniset hienoudet eivät ole niiden edellyttämien kustannusten arvoisia.
- **Huolto**. Asiakkaan kustannuksia lisää pieni käyttövarmuus ja suuri vikaantumistiheys. Välttämättömät huoltotoimet tulisi voida suorittaa helposti ja ilman koneiston pysäyttämistä.
- **Turvallisuus**. Tuote ei saa aiheuttaa melua, saastetta tms. Sen tulisi olla turvallinen väärinkin käytettäessä.
- **Ulkonäkö**. Tekniikassa tarkoituksenmukainen on yleensä kaunis. Teollinen muotoilija pystyy useissa tapauksissa työllään alentamaan valmistuskustannuksia. Ulkonaisesti viimeistelty tuote antaa ostajalle vaikutelman, että tuote on viimeistelty muissakin suhteissa.
- **Kehityskustannukset**. Tuotekehityshankkeen kokonaiskustannukset tulisi luonnollisesti olla pienet ja hankkeen vaatima aika lyhyt.

- **Riski.** Tavoitteiden saavuttamisen todennäköisyys tulisi olla suuri ja tuotteisiin aina jäävien “lastentautien” vähäisiä sekä helposti poistettavia.

Myöhemmin etsittävien ratkaisuideoiden arvostelun helpottamiseksi ovat tavoitteet ja vaatimukset hyvä ryhmitellä kolmeen luokkaan:

1. **Kiinteät vaatimukset.** Nämä vaatimukset tulee ratkaisun ehdottomasti täyttää. Tällaisia ovat esim. suoritusarvot (jännitekestoisuus, kuormitettavuus jne.).
2. **Vähimmäisvaatimukset.** Näillä vaatimuksilla on raja-arvo, joka on saavutettava ja jonka ylittäminen tai alittaminen on toivottavaa (esim. hyötysuhteen alaraja, melutason yläraja jne.).
3. **Toivomukset,** jotka otetaan huomioon mahdollisuuksien mukaan. Toivomuksien täyttäminen saa aiheuttaa rajoitetun lisäkustannuksen.

2.3.3 Ratkaisujen etsiminen

1. Tehtävän yleistäminen

Tähän mennessä kehitettävä tuote on tarkkaan analysoitu, sille on asetettu vaatimukset ja tavoitteet. Näin kehitystyöhön osallistujille on muodostunut mielikuva, millainen tuotteen tulisi olla. Toisaalta valmistelutyö saattaa synnyttää ennakkokäsityksiä, jotka estävät vapaan ideoinnin. Tästä syystä ratkaisujen etsiminen aloitetaan tehtävän yleistämisellä. Yleistäminen helpottaa myös tehtävän olennaisimpien vaatimusten havaitsemista ja kokonaistoiminnon hahmottamista. Edelleen kun ongelmaa tarkastellaan kauempaa, löydetään helpommin epätavallisia ratkaisuja.

Esimerkki yleistämisestä. Tavoitteena olkoon kuljetinta käyttävän 50 kW, 380 V oikosulkumoottorin kehittäminen. Tällöin yleistämisvaiheessa unohdetaan yksityiskohdat ja tehtävän ydin muotoillaan: Suunnittele kuljettimen käyttömoottori. Tällöin kyseeseen tulevat muutkin moottorit kuin pyörivät oikosulkumoottorit esim. kommutaattorimoottorit tai lineaarimoottorit, joissa metallinen kuljetinhihna toimii moottorina.

Yleistäminen voidaan tehdä seuraavasti:

- Unohdetaan vaatimuslistan toivomukset ja sellaiset vaatimukset, joiden täyttäminen ei ole ehdottoman välttämätöntä.
- Muutetaan määrälliset vaatimukset laadullisiksi ja rajoitutaan vain olennaisiin kohtiin.
- Määritellään ongelman olennainen ydin uudestaan.

Yleistämistä ei pidä kuitenkaan tehdä liian pitkälle, jottei ongelman käsittely laajene liikaa. Välttämätön ja riittävä yleistämistaso riippuu kehitystehtävän yleisyysasteesta.

2. Tehtävän jako toiminnoiksi

Tuotteiden tulee täyttää jokin määrätty tehtävä tiettyjen reunaehtojen puitteissa. Tehtävä voidaan määrittää **toimintokuvauksella**, joka ilmaistaan kahdella tai kolmella sanalla, substantiivilla ja verbillä kuten “himentää valo”, “pestä astiat” tai “nostaa kuorma”. Kokemusperäisesti on havaittu, että toimintoajattelu helpottaa uusien ratkaisumahdollisuuksien löytämistä.

Ongelman ollessa monimutkainen kokonaistoiminto on syytä jakaa **osatoiminnoiksi** ja etsiä ensin ratkaisuja näille. Seuraavassa vaiheessa yhdistellään osatoimintojen ratkaisuja ja etsitään kokonaistoiminnon ratkaisumahdollisuuksia.

Esimerkiksi “pestä astiat” voidaan jakaa osatoiminnoiksi “täyttää vedellä”, “lisätä pesuainetta”, “kuumentaa vesi”, “pestä astiat”, “huuhdella astiat”, “kuivata astiat” ja “ohjata pesuprosessia”.

Jotta etsittäviä ratkaisumahdollisuuksia ei ohjattaisi tiettyyn suuntaan, tulee kokonaistoiminnon jakaminen osatoiminnoiksi tehdä mahdollisimman yleisessä muodossa. Jos kyseessä on täysin uusi tuote, jako osatoimintoihin ja osatoimintojen keskinäinen riippuvuus on tuntematon tai ainakin hyvin epävarmaa. Näin toimintorakenteen täydellisyys ja hienorakenteisuus riippuu tehtävän laadusta ja työntekijöiden kokemuksesta. Ennalta tunnettujen vastaavien tuotteiden toimintorakenteen selvittäminen voi usein olla suureksi avuksi.

3. Ideoiden syntyminen

Joillakin ihmisillä näyttää olevan paremmat edellytykset ja mahdollisuudet keksiä uusia ideoita kuin toisilla. Tuntuu paljon oikeudenmukaisemmalta, jos uusia ideoita syntyisi ahkeran työnteon ja ponnistelun tuloksena. Valitettavasti näin ei kuitenkaan ole asian laita. Idean täydellinen kehittäminen saattaa kyllä vaatia vuosikausien työn, mutta itse idea juolahtaa usein yhtäkkiä mieleen. Asiaa valaissee seuraava tarina kauppiasta, koronkiskurista ja kauppiaan kauniista tyttärestä.

Kauppias oli velkaa suuren summan rahaa vanhalle ja rumalle koronkiskurille. Kiskuri vaati maksua tai vaihtoehtoisesti kauppiaan tyttären kättä. Tämä ajatus kauhistutti sekä kauppiasta että tytärtä, jolloin ovela koronkiskuri ehdotti, että kohtalo saisi ratkaista asian. Hän laittaisi kiviseltä polulta kaksi eriväristä kiveä tyhjään rahapussiin, ja tytär nostaisi toisen niistä. Musta kivi tekisi hänestä kiskurin vaimon ja valkea kivi vapauttaisi hänet avioliittopakosta. Molemmissa tapauksissa kiskuri pyyhkisi kauppiaan velat pois. Sen sijaan kieltäytyminen heittäisi kauppiaan velkavankeuteen. Tyttö suostui, ja kiskuri laitto kaksi kiveä pussiin. Valpas tyttö huomasi kuitenkin, että kiskuri huijasi ja laitto pussiin kaksi mustaa kiveä. Mitä tytär tekisi?

Tällainen ongelmatilanne ei ratkea tyydyttävällä tavalla normaalia analyttistä ajattelua käyttäen. Tytöllä tuntui olevan kolme mahdollisuutta:

1. Kieltäytyä ottamasta kiveä.
2. Avata pussi ja osoittaa, että kiskuri on huijari.
3. Ottaa musta kivi säästääkseen isänsä vankilasta.

Näistä mikään ei ole hyvä. Kaksi ensimmäistä vievät isän telkien taakse ja kolmas tyttären epätoivottuun naimakauppaan. Jos sen sijaan irtautuu normaalista huolellisen loogisesta ajattelutavasta saattaa keksiä, mitä kivitarinan tyttö teki.

Tyttö työnsi kätensä pussiin ja otti kiven, mutta tipautti sen näytellen hermostunutta polulle muiden kivien sekaan. Sitten hän sopersi anteeksi ja totesi, että poimitun kiven värin pystyy helposti toteamaan jäljelle jääneen kiven väristä. Näin tyttö voitti itselleen ja isälleen vapauden.

Edward de Bono (1971) pitää tätä tarinaa erinomaisena esimerkkinä **luovasta ajattelusta, missä tarkastelunäkökulma on siirretty nostetusta kivistä jäljelle jäävään.** Kun ongelmaa ajatellaan loogisesti, ajatuksena on, että tytön täytyy nostaa kivi. Luovaa ratkaisijaa taas kiinnostaa noston jälkeen pussiin jäävä kivi. **Luovassa ratkaisemisessa tarkastellaan ongelmaa mahdollisimman monelta suunnalta.** Luova ratkaisija ei valitse suunnista yhtä lupaavampaa, johon suuntaan hän sitten jatkaisi, vaan hän pitää kaikki suunnat avoimina.

Luova ja looginen ratkaisutapa eivät ole toisiaan poissulkevia, vaan päinvastoin toisiaan täydentäviä. Kun loogisella päättelyllä ei löydetä ratkaisua ongelmaan, niin silloin käytetään luovaa ajattelua. Ratkaisun idun löydyttyä, voidaan idusta loogisesti kehittää lopullinen ratkaisu. Luovaa ajattelua voidaan verrata auton peruutusvaihteeseen. Normaalisti auton ajosta sen osuus on ehkä 1 %, mutta se on hyvin tarpeellinen joutuesamme esimerkiksi umpikadulle. Samalla tavalla ongelmanratkaisussa tarvitsemme luovaa ajattelua suuntaamaan ajatuksemme uusille urille, kun olemme joutuneet loogisella ajattelulla umpikujaan.

Ideoiden syntymiselle on usein tyypillistä, että ne syntyvät yhtäkkiä mieleen juolahtamalla. Vuosia kestävä työskentely saattaa vaikeuttaa ideoiden keksimistä, sillä vuosien aikana ajatukset ovat urautuneet ja vanhat ideat tuntuvat ainoilta mahdollisilta. Maailmassa on paljon työteliäitä tiedemiehiä, jotka etenevät loogisesti ja pikkutarasti tutkimuksissaan, mutta uudet löydöt ja ideat jäävät heiltä saavuttamatta.

Hyvin usein uudet ideat syntyvät, **kun havaintoaineisto ei pidä yhtä vanhan teorian kanssa** ja näin ollaan pakotettuja arvioimaan vanhat ajatukset uudestaan. Uusi tieto johtaa tällöin tavallisesti uusiin ideoihin. Toisaalta vanhalla teorialla pystytään usein selittämään uusikin tieto, joka tällöin vahvistaa vanhaa, mahdollisesti väärää teoriaa.

Uusikaan tieto ei ole välttämätöntä uusien ajatusten saamiseksi. **Vanhaa tietoa voidaan tarkastella uudesta näkökulmasta.** Näin teki *Albert Einstein*. Hän ei tehnyt kokeita eikä koonnut uutta tietoa ennen kehittämäänsä suhteellisuusteoriaa. Hän vain tarkasteli tietoa uudella tavalla. Kokeet, joilla syntynyttä teoriaa vahvistettiin, tehtiin vasta myöhemmin. Aluksi Einsteinin teoriat sopivat tosiasioihin vain vähän paremmin kuin aikaisemmat teoriat. Einsteinin teoria selitti paremmin Sirius-tähden lähettämän valon

aallonpituuden ja Merkurius-planeetan kiertorataan saatiin vähäinen tarkennus. Yksityiskohtina nämä olivat vähäisiä parannuksia, mutta Einsteinin uudesta tavasta tarkastella asioita oli seurauksena ydinenergian löytyminen.

Toinen esimerkki ajattelutavan muuttamisesta on lääketieteen alalta. Isorokkoa tutkittaessa yritettiin, kuten luonnollista on, selvittää miksi ihmiset sairastuivat siihen. Edward Jenner sen sijaan alkoi tutkia, miksi karjakot ilmeisesti eivät sairastuneet. Jenner havaitsi, että vaaraton lehmärokko suojeli karjakoja tappavaa isorokkoa vastaan. Tästä havainnosta oli seurauksena rokotteen keksiminen ja isorokko voitettiin.

Looginen ajattelu on perusluonteeltaan uusien ideoiden keksimisessä tehoton ja joskus ehkäiseekin ideoiden syntymisen. Luovassa ajattelussa voidaan huoletta elää satumaailmassa eikä tarvitse olla oikeassa. Vain lopuksi täytyy päätyä oikeaan johtopäätökseen, jotta idea olisi käyttökelpoinen. Eräs esimerkki tästä:

Marconi kehitti radiolaitteita ja hän pystyi yhä pidempiin lähetysetäisyyksiin lisäämällä lähettimen tehoa ja suunnittelemalla herkkiä vastaanottimia. Marconi alkoi suunnitella radioyhteyttä Atlantin yli. Alan asiantuntijat pitivät tätä mahdottomana, sillä heidän havaintojensa mukaan radioaallot kulkivat suoraviivaisesti valon tapaan. Tällä perusteella, loogisesti ajatellen, radioyhteys Atlantin yli ei ollut mahdollinen. Marconi ei todisteluista välittänyt, vaan jatkoi yrittämistään ja onnistui lopulta. Sen paremmin aikakauden asiantuntijat kuin Marconikaan eivät tietäneet, että riittävän pitkät radioaallot heijastuvat takaisin ionosfääristä, jossa on sähköisesti varautunut kerros. Tämä kerros teki radioyhteyden mahdolliseksi Atlantin yli. Marconi kuvitteli, että riittävän voimakkaalla lähettimellä ja herkällä vastaanottimella yhteys olisi mahdollinen. Hän oli väärässä, mutta tämä ajatus johti kuitenkin tulokseen, johon hän ei olisi päässyt, jos hän olisi alan asiantuntijoiden tapaan ollut koko ajan "täysin oikeassa".

Sattuma on hyvin monien ideoiden alku. Aikaisemmin käsiteltäessä tuotekehityshankkeen käynnistämistä esitettiin, miten sattuma on johtanut tuoteideaan. Toinen esimerkeistä koski Erämetsän neolux-lampun keksimiseen johtanutta havaintoa ja toinen Flemingin bakteeriviljelmään joutunutta hometta, josta sai alkunsa penisilliinin kehittäminen.

Kaksi esimerkkiä lisää sattumasta. *Hertz* keksi radioaallot, kun hän alkoi ihmetellä pientä kipinää huoneen toisella puolella olevassa laitteessa, joka ei ollut kytketty mitenkään yhteen hänen toisella puolella huonetta käyttämäänsä koelaitteeseen. *Röntgen* puolestaan keksi röntgensäteet, kun hän unohti fluoresoivan levyn pöydälle, jolla hän teki kokeita katodisädeputkella. Hertz ja Röntgen eivät olisi osanneet etsiä radioaaltoja ja röntgensäteitä, koska niitä ei tiedetty olevan olemassa.

Sattumaa luulisi olevan vaikea käyttää systemaattisesti hyödyksi. Näin ei kuitenkaan ole asianlaita. Sattumiin on kiinnitettävä huomiota. Silmät on pidettävä avoinna ja mieli uteliaana. Esimerkiksi Erämetsä, Fleming, Hertz ja Röntgen tekivät näin. He eivät poistaneet häiriöitä, jotka eivät kuuluneet sen hetkisiin kokeisiin, vaan kiinnostuivat niistä.

Voidaan ajatella, että sattuman tarkoituksena on uusien ideoiden luomisessa tuoda esiin sellaista, mitä ei muuten osattaisi etsiä. **Sattumia voidaan lisätä leikin avulla.** Leikin tulee olla päämäärätöntä, vailla suunnitelmia ja suuntaa. Tällainen näennäinen hyödyttömyys on vaikeaa ja estää monia leikkimästä.

Leikin aikana ideoita juolahtaa itsestään mieleen ja ideat synnyttävät uusia ideoita. Ne eivät ole loogisessa järjestyksessä. Jos leikkijä ei millään lailla yritä suunnata ideoita ja on riittävän utelias seuraamaan niitä, syntyy ideoita runsaasti. Ne eivät ole välttämättä hyödyllisen tuntuisia, mutta ne juolahtavat usein myöhemmin esiin ja tällöin niistä voi olla hyötyä.

James Clerk Maxwell, eräs suurimpia neroja luonnontieteen ja matematiikan alalla, leikki jatkuvasti. Kerrotaan, että hän saattoi illallisilla unohtaa vieraat ja leikkiä ruokailuvälineillä tai juomalasista heijastuvalla kuvalla. Teini-ikäisenä Maxwell oppi neulojen ja langan avulla piirtämään ellipsejä ja hän jatkoi eteenpäin selittämällä valon heijastumista koskevat lait. Hänen esitelmänsä hyväksyttiin esitettäväksi Edinburghin Royal Societyssä. Society ei kuitenkaan hyväksynyt polvihousuista esitelmöitsijää, ja niin toinen henkilö luki esitelmän Maxwellin puolesta.

Eräs keino edistää ideoiden sattumanvaraista vuorovaikutusta on seuraava vanha leikki.

Joukko ihmisiä kerääntyy keskustelemaan jostain ongelmasta. He pyrkivät sivuuttamaan loogiset esteet kertomalla mitä tahansa mieleen juolahtavaa. Kaikki ajatukset ovat sopivia eikä mikään ole liian järjetön. Jos innostus on hyvä, kasvaa todennäköisyys, että syntyy sattumanvaraisia ajatuksia ja ideoita, joita kukaan läsnäolija ei olisi muuten tullut ajatelleeksi.

Hyvä keino uusien ideoiden saamiseksi on asettua alttiiksi satunnaisille virikkeille kuljeskelemalla esimerkiksi näyttelyssä tai tavaratalossa, joka on täynnä asioita, joita ei tulisi tietoisesti etsineeksi. Kuljeskelu tulee tehdä romunkerääjän tavoin eli kerätään kaikki, mikä syystä tai toisesta kiinnittää huomiota, on se sitten hyödyllistä tai ei. Taka-alalla ajatuksissa on se ongelma, johon tarvitaan uutta ratkaisua. Tällainen kuljeskelu synnyttää usein mielle yhtymiä tai uusia ajatuksia taka-alalla olevan ongelman ratkaisemiseksi.

Ilmeisesti kaikille on tuttu seuraava tilanne. Olemme miettineet jonkin ongelman ratkaisemista eikä se ole ratkennut. **Kun ongelma jätetään, niin se yhtäkkiä ratkeaa,** vaikka emme sitä mietikään. Ongelma on hautunut alitajunnassamme ja mieleemme juolahtaa uusia mielle yhtymiä, jotka ratkaisevat ongelman. Tuttua on usealle myös, että kun teemme päätöksen jonkin asian suhteen, mutta päätämme samalla vielä nukkua yön yli, niin seuraavana aamuna havaitsemme uusia näkökohtia, joita emme osanneet ottaa aikaisemmin huomioon. Uusi, tarkennettu päätös on edellisen päivän ratkaisua parempi.

4. Tietoisuus ja alitajunta

Edellä kuvattu ongelman hauduttaminen ja sen ratkeaminen myöhemmin itsestään voidaan selittää (mutta ei todistaa) seuraavan ihmisen ajatustoimintaa kuvaavan mallin avulla.

Ihmisen ajatustoiminnan voidaan ajatella tapahtuvan kolmella eri tasolla. Välittömästi käytettävissä oleva tieto on **tietoisessa tajunnassa**, missä ajattelu tapahtuu analyytisesti, loogista päättelyä hyväksikäyttäen. Toinen ajatustoiminnan taso on **alitajunta**, joka sisältää aikaisemmat kokemukset, mutta se ei ole välittömästi käytettävissä. Alitajunnan ja tietoisesta tajunnan välissä on **esitajunta**, joka välittää tietoa alitajunnasta

tietoiseen tajuntaan. Tietoinen tajunta tavallisesti tulkitsee alitajunnasta tulevan tiedon epäloogiseksi tai epämielekkääksi. Tästä syystä alitajunnan ja tietoisien tajunnan väliin muodostuu **suodatin**, joka iän mukana voimistuu ja estää tiedon siirtymistä alitajunnasta tietoiseen tajuntaan. Kun ongelma jätetään hautumaan, esitajunta ja alitajunta työskentelevät edelleen ja uusi ratkaisumahdollisuus saattaa juolahtaa mieleen silloin, kun suodatin ei osaa olla varuillaan. Tämä tapahtuu usein seuraavana aamuna.

5. Unet ja ongelmien ratkaiseminen

Unet ovat kautta aikojen kiinnostaneet ihmisiä mystisen luonteensa vuoksi. Niistä on haettu ennusteita tulevista tapahtumista, vastauksia ongelmiin ja yhteyksiä ihmisen alitajuiseen minään.

Kenenkään aivot eivät nukkumisenkaan aikana ole lepotilassa. Niissä tapahtuu kaiken aikaa erilaisia tietojenkäsittelyprosesseja, jotka nukkumisen aikana poikkeavat kuitenkin hyvin paljon päiväajattelusta. Tämän voimme todeta unistammekin. Ne ovat vallattomia, usein epäloogisesti poukkoilevia prosesseja.

Jotkut muistavat unensa, tai ainakin osan niistä, helposti. Toiset taas väittävät etteivät he näe unia lainkaan. Totuus kuitenkin on, että harjoittelemalla voimme lähes kaikki oppia muistamaan useitakin unia joka yöltä.

Pitämällä päiväkirjaa näkemistään unista havaitsee, että unet käsittelevät usein samaa tieto- ja kokemusaineistoa, kuin mitä päivällä on tapahtunut. Kokemukset, huolet ja ongelmat siirtyvät tietoisesta ajattelustamme uniin. Unessa myös yritämme ratkaista päivällä kesken jääneitä ongelmia, tosin aivan toisella tavalla kuin valveilla ollessamme. Unet eivät välitä mistään säännöistä eivätkä estoista, jotka kahlitsevat meitä valveilla Ollessamme. Unissa yhdistyy mitä merkillisimpiä asioita toisiinsa ja asiat saattavat kääntyä päälaelleen.

Harjoittelemalla pystyy tiettyssä määrin hallitsemaan uniaan. Esimerkiksi Malesiassa asuu senoi-niminen heimo, jossa perheet aloittavat aamunsa kysymällä toisiltaan yön aikana nähdystä unista. Lapset opetetaan pienestä pitäen hallitsemaan unensa, voitta-

maan painajaisissa pelkoa aiheuttavat ilmiöt esimerkiksi erilaisten uniystävien avulla ja tekemään unissa mukavia asioita kuten vaikka lentämään. He pyrkivät aina vastustamaan ikäviä ja pahoja tapahtumia ja olioita unissaan ja pyrkivät miellyttäviin kokemuksiin. Erittäin tärkeä on uniystävän rooli. Jos nukkujalla on jokin ongelma tai hätä, hän voi aina pyytää ystäväänsä apuun ratkaisemaan tilanteen.

Aikaisemmin todettiin, että kun ongelma jätetään hautumaan, niin se ratkeaa itsestään, usein nukutun yön jälkeen. Ongelmien ratkaisemista unitilassa voidaan tehostaa seuraavalla menetelmällä.

1. Päivällä analysoi ja etsi vaihtoehtoisia ratkaisumahdollisuuksia ongelmaan. Kirjoita ratkaisut muistiin.



Kuva 2.7 Ratkaise ongelmiasi "uniystävän" kanssa.

2. Kun illalla menet nukkumaan, mieti vielä tuota ongelmaa hetken aikaa intensiivisesti. Kehitä sitten mielessäsi jonkinlainen “uniystävä”, jolle ajatuksissasi sitten kerrot ongelman. Kerro, miten haluaisit ongelman ratkeavan, mihin pyrit.
3. Unessasi ratkaisu saattaa tulla mieleesi ja herää. Tällöin on syytä kirjoittaa ratkaisu paperille, sillä uudestaan nukahtamisen jälkeen ratkaisu helposti unohtuu.
4. Vaikka et heräisikään etkä muistaisi varsinaisesta unitapahtumasta mitään, niin aamulla ratkaisu saattaa tulla itsestään mieleen tai kun ryhdyt miettimään ongelmaa, niin keksit uusia ratkaisuja, joita et edellisenä päivänä tullut ajatelleeksi.

6. Ideointimenetelmät ja ideoinnin pääsäännöt

Ideoiden tuottamista varten on kehitetty joukko erilaisia menetelmiä. Nämä voidaan jakaa kahteen pääryhmään:

- pääasiassa intuitioon perustuvat menetelmät
- systemaattiset eli diskursiiviset menetelmät.

Intuitiivisissa menetelmissä käytetään hyväksi yhtäläisyyksiä samantyyppisten, toisilla aloilla olevien ilmiöiden kanssa sekä alitajunnasta tietoisuuteen tulevia miellelyhtymiä. Tunnusomaista on, että melko monimutkaisetkin yhteydet yhtäkkiä kirkastuvat. Ratkaisuidea tai idean siemen juolahtaa mieleen tavalla, jota ei pysty täsmällisesti jälkikäteen kuvaamaan.

Diskursiiviset menetelmät ovat systemaattisia. Niissä tietoisesti analysoidaan ja yhdistetään erilaisia ideoita ja näin läpikäydään tietty ajatusketju. Apuvälineenä voidaan käyttää esimerkiksi kaavioita.

Diskursiivinen menetelmä ei ole intuitiivisen menetelmän vastakohta, sillä siinä usein ratkaistaan yksityiskohtia intuitiivisesti. Koko ongelma kuitenkin pyritään ratkaisemaan systemaattisesti pienin askelin ja määrättyssä järjestyksessä.

Eri ideoiden hakumenetelmille on hahmotettavissa joukko yhteisiä pääsääntöjä:

- **Ei saa tyytyä ensimmäiseen käyttökelpoiseen ideaan.** Ideoita tulee etsiä runsaasti. Tällöin kasvaa todennäköisyys, että joukossa on myös hyviä ideoita.
- **Ideoiden etsiminen ja niiden arvostelu on erotettava toisistaan.** Tämä pätee erityisesti intuitiivisten menetelmien yhteydessä. Intuitiivinen ajattelu edellyttää lennokasta mielentilaa ja sen saavuttaminen vie aikansa. Arvostelu hävittää lennokkaan mielentilan ja tuomitsee aluksi epärealistisilta tuntuvat ideat, joista edelleen kehitettäessä olisi saattanut tulla hyviäkin ratkaisumahdollisuuksia.
- **On pyrittävä tietoisesti pois totutuista ratkaisuista.** Tämä pätee erityisesti ongelman ollessa vaikea. Tällöin hyvä ratkaisu löytyy tavallisesti vasta, kun lähestymiskulma on aivan uusi.

Ideoiden hakumenetelmiä on lukuisia. Seuraavissa kappaleissa käsitellään intuitiivisesti painottuneista menetelmistä aivoriihi, Gordonin aivoriihi, kirjallinen aivoriihi 635, muuntelumenetelmä, synektiikka, tuplatiimi ja tuumatalkoot. Diskursiivisesti painottuneista menetelmistä käsitellään fysikaalisen ilmiön systemaattinen analysointi ja morfologinen analyysi.

7. Aivoriihi

Aivoriihi on tunnetuin ideointimenetelmä. Sen on kehittänyt *Alex P. Osborn* 1950-luvulla. Tavallisesti sitä käytetään ryhmätyömuotona, mutta sitä voi soveltaa myös yksilön työmuotona. Aivoriihi-istunnossa pyritään luomaan arvostelusta vapaa ilmapiiri niin, että eri kokemuspohjan omaavat jäsenet villejäkin ratkaisuideoita esittämällä synnyttäisivät mielleyhtymien ja muistikuvien kautta uusia ideoita. Menetelmä on yksityiskohtaisemmin seuraavanlainen.

Ryhmän kokoonpano

- Ryhmän suuruus tulisi olla 5...10 henkilöä, joiden kokemuspohja on erilainen. Jos ryhmäkoko on alle viisi henkilöä, on vaara, että henkilöiden näkökannat ja kokemukset eroavat toisistaan liian vähän ja ongelmaa tarkastellaan tällöin liian kapeasta näkökulmasta. Jos puolestaan henkilömäärä ylittää huomattavasti kymmenen henkilöä, jäsenet saavat liian harvoin puheenvuoron ja seurauksena on passiivisuutta. Ryhmää ei saa koota vain ongelma-alan ammattihenkilöistä. Ryhmässä tulee

olla jäseniä yrityksen eri osastoilta ja myös tekniikan ulkopuolelta niin, että ryhmän yhteinen kokemuspohja on laaja.

- Jäsenten tulisi olla organisatorisesti tasa-arvoisia, ei esimies-alainen suhteessa. Muussa tapauksessa ajatuksien estoton ilmaiseminen voi vaarantua.

Ryhmän johtaminen

- Ryhmälle määrätään johtaja, joka kutsuu ryhmän koolle. Johtajan tulee huolehtia, että jokainen saa puheenvuoron. Joskus on edullista, että puheenvuorot jaetaan kiertävässä järjestyksessä niin, että jokainen pakottautuu mukaan eikä kukaan puheliaampi yksinään esitä mielipiteitään. Johtajan tulee huolehtia hyvästä, lennokkaasta ilmapiiristä. Ideointia ei saa johdattaa mihinkään määrättyyn suuntaan. Vain jos ideointi tyrehtyy, puheenjohtaja antaa sysäyksen uuteen suuntaan.
- Ryhmälle määrätään sihteeri, joka kirjoittaa ideat muistiin. Sihteeriksi sopii henkilö, jonka vastuulla on asian jatkokäsittely.

Kokouksen kulku

Käsiteltävä ongelma ilmoitetaan jäsenille pari päivää ennen kokousta.

- Kokouksen alussa puheenjohtaja selostaa käsiteltävää ongelmaa ja idearikkaan ilmapiirin luomiseksi hän voi aloittaa ideoinnin muutamalla hausalla ja mielettömän tuntuksella ehdotuksella.
- Kokouksen aikana pätevät ideanhaun pääsäännöt: kritiikki kielletty, villit ideat toivottuja, paljon ideoita sekä jatketaan toisten ideoita. Ilman ahkeraa harjoittelua näitä sääntöjä ei opi. Kritiikitön ideointi on vaikeaa. Ideoiden toteuttamismahdollisuutta ei saa ajatella.
- Kokouksen sopiva pituus on 1...2 tuntia. Aivan lyhyttä kokousta ei kannata pitää, sillä on havaittu, että ideoiden loppuessa ja istuntoa kuitenkin jatkettaessa uusia hyviä ideoita alkaa yhtäkkiä tulla lisää.
- Ideat on hyvä kirjoittaa esimerkiksi piirtoheitinkalvolle niin, että jokainen näkee tullessa oikein ymmärretyksi.

Aivoriihi soveltuu ongelmiin, jotka ovat helposti omaksuttavissa ja joihin on olemassa lukuisia ratkaisuvaihtoehtoja. Edelleen aivoriihi on edullinen, kun halutaan löytää epätavallisia vaihtoehtoja tai yhtään toteuttamiskelpoista ratkaisua ei ole käytettävissä.

Aivoriihen etuna on se, että ongelmaa käsittelee laajapohjainen asiantuntijaryhmä ja ongelma tulee näin todennäköisesti monipuolisesti käsitellyksi. Ideointitilaisuus hyvin hoidettuna koetaan virkistäväksi ja hauskaksi.

Aivoriihen huomattavin haittapuoli on se, ettei laajoihin ja monipuolisiin ongelmiin pystytä syventymään lyhyen kokouksen aikana. Aivoriihi on myös kallis työmuoto, sillä sen jäsenluku on suurehko.



Kuva 2.8 Aivoriihi-istunto

8. Gordonin aivoriihi

Gordonin aivoriihi eroaa edellä selostetusta aivoriihimenetelmästä siinä, että varsinaista ideointi-istuntoa edeltää annetun, laajemman kysymyksen ympärillä käytävä keskustelu. Varsinaista ongelmaa ei tässä vaiheessa vielä paljasteta. Sen tuntee vain puheenjohtaja. Alkukeskustelujen tarkoituksena on estää ryhmää käsittelemästä tulevaa ongelmaa liian kapea-alaisesti ja tavanomaisesti.

Esimerkkejä alkukeskustelusta ja siihen liittyvästä lopullisesta tuotteesta:

Alkukeskustelu:

- Lasten ajanviete
- Avaaminen yleensä
- Liikunnan merkitys ihmiselle

Tuote:

- Uusi peli
- Säilykerasian avaaja
- Lenkkeilykengät

Alkukeskustelujen jälkeen puheenjohtaja kertoo varsinaisen käsiteltävän asian ryhmän jäsenille, joita voidaan myös tässä vaiheessa täydentää uusilla henkilöillä. Ideointi jatkuu tavanomaisen aivoriihen tapaan.

Gordonin aivoriihen etuna on, että vältetään ongelman liian aikainen ja siten ehkä epäonnistunutkin määrittely. Intuitiiviselle ajattelulle jää suurempi liikkumavara. Kokoussarjalle varataan yleensä runsaasti aikaa, esim. 6...20 tuntia. Käsittelyyn voidaan näin ottaa vaikeampia ja monitahoisempia tehtäviä kuin tavallisessa aivoriihessä.

Haittana Gordonin aivoriihellä on, että se on aikaa vievä ja näin se on myös kallis työmuoto.

9. Kirjallinen aivoriihi 635

Kirjallista aivoriihtä kutsutaan myös hiljaiseksi aivoriiheksi. Kirjallisen aivoriihen numerolyhennys 635 tulee sen ideointiperiaatteesta. Kuusi ihmistä kokoontuu ratkomaan ongelmaa. Jokainen kirjoittaa paperille kolme ratkaisua viiden minuutin aikana. Tämän jälkeen kierrätetään papereita antamalla ne naapureille ja sama toistuu. Paperilla jo olevista ideoista saadaan virikkeitä jatkoideoiksi. Mikäli jokainen keksii aina kolme uutta ideaa viidessä minuutissa, saadaan puolessa tunnissa $6 \times 3 \times 6 = 108$ ideaa.

Menetelmän hyvät puolet ovat kritiikin mahdottomuus ideointivaiheessa ja mahdollisuus selventää ideoita kuvien avulla. Sen sijaan tunnelmasta ei tule erityisen vapautunutta eikä todella villedä ideoita synny. Menetelmä saattaa myös herättää itsekritiikin, koska kukin tietää, että vähän ajan kuluttua toiset lukevat, mitä ideoita kukin on kirjoittanut.

10. Muuntelumenetelmä

Muuntelumenetelmä on hyvin vanha menetelmä, jota useat ihmiset käyttävät ajattelematta sitä miksikään järjestelmälliseksi menetelmäksi. Se soveltuu erityisesti olemassa olevan tuotteen tai idean parantamiseen.

Muuntelumenetelmässä pyritään saamaan ideavirikkeitä miettimällä, mikä muu on ko. tuotteen tai idean kanssa samantapaista tai voitaisiinko toivottu tulos aikaansaada tekemällä päinvastaisesti kuin on ajateltu tai miten ongelma ratkaistaisiin, jos toiminnot pannaan toiseen järjestykseen tai voitaisiinko toimintoja yhdistää tai jakaa useammaksi osatoiminnaksi jne. Muuntelun apuna voi käyttää erilaisia kysymyslistoja, esimerkiksi seuraavaa:

Mikä muu on samantapaista

- toisella tekniikan alalla,
- muussa laitteessa, joka suorittaa samantapaista tehtävää,
- teorialtaan,
- kasvi- ja eläinkunnan piirissä,
- oman yrityksen piirissä.

Minkälainen ratkaisu olisi, jos tehtäisiin päinvastoin

- vaihtamalla osien järjestystä,
- kääntämällä ylösalaisin,
- valitsemalla vastakohta,
- muuttamalla positiivinen negatiiviseksi.

Minkälainen ratkaisu olisi, jos järjestetään uudestaan

- toiminnot uuteen järjestykseen,
- osat uuteen järjestykseen.

Minkälainen ratkaisu olisi, jos muutetaan

- väri tai ääni,
- liike toiseksi.

Minkälainen ratkaisu olisi, jos suurennetaan

- lisäämällä tehtäviä,
- yhdistämällä toimintoja,
- tekemällä useampi samanlainen,
- tekemällä arvokkaampi,
- lisäämällä aikaa.

Minkälainen ratkaisu olisi, jos pienennetään

- jättämällä jotakin pois,
- jättämällä koko osa pois,
- jakamalla toimintoja,
- tekemällä arvottomampi.

Kysymyslistojen kaikki kohdat eivät sovellu jokaiseen ongelmatilanteeseen. Listoja tulee käyttää vapaasti ja niiden tarkoituksena on herättää uusia miellelyhtymiä ongelman ratkaisemiseksi toisella tavalla.

Tehokkaiksi kysymyksiksi ovat käytännössä osoittautuneet “Mikä muu on samantapaista?” ja “Minkälainen ratkaisu olisi, jos tehtäisiin päinvastoin?” Muutama esimerkki päinvastaisista ratkaisuista:

- | | |
|-----------------------------------------|---------------------------------------|
| – lepovirtapiiri | – työvirtapiiri, |
| – hissien tilan osoitus tekstillä vapaa | – varattu, |
| – pyörivä osoitin | – pyörivä asteikkolevy, |
| – vetojousi | – puristusjousi, |
| – kirjoituskoneessa liikkuva tela | – liikkuva kirjoitinpää, |
| – massatuote | – erikoistuote vähemmistöasiakkaille. |

Muuntelumenetelmä on yksinkertainen, yksilöllisesti toteutettavissa ja sitä voidaan käyttää myös ryhmätyössä. Menetelmä ei vaadi kokousta ja se on siten halpa työmuoto. Toisaalta menetelmä ei ole useinkaan niin perusteellinen kuin monet muut menetelmät.



Kuva 2.9 Voisinhan tehdä sen päinvastoin!

11. Synektiikka

Synektiikka on kehitetty Yhdysvalloissa. Sen kehittämiseen ja markkinointiin on vaikuttanut voimakkaasti kaksi konsulttitoimistoa: Synetics Inc. johtajanaan *Georg M. Prince* (Prince 1970) ja Synetics Education Systems johtajanaan *William J. Gordon* (Gordon 1971). Sana synektiikka on kreikkalaista alkuperää ja merkitsee erilaisten, näennäisesti toisiinsa kuulumattomien asioiden yhdistelemistä.

Synektiikalle on tunnusomaista tarkoin tutkittu kokouksen rakenne, henkilöiden tehtäväjako kokouksessa ja työn eteneminen probleeman asettelusta ideaan sekä runsas,

kaukaistenkin analogioiden käyttö. Kaikkein tyypillisintä synektiikalle on juuri analogioiden systemaattinen hyväksikäyttö. Tutkimukset ovat osoittaneet, että etsittäessä tietoisesti analogioita vapaudutaan hetkeksi ajattelemasta varsinaista ongelmaa analyytisen ajattelutavan mukaisesti alitajunnan silti työskennellessä ongelman kimpussa. Tällöin kasvaa todennäköisyys löytää uusia odottamattomia ratkaisuja.

Synektiikkaa voidaan käyttää sekä ryhmätyömuotona että yksilötyömuotona. Yksin työskentelyä varten on kehitetty myös tietokoneohjelma (*Idegen++* 1996). Ryhmätyössä sopiva ryhmän koko on 5...8 henkilöä. Yksi jäsenistä toimii puheenjohtajana ja hänen tulee huolehtia siitä, että kokous etenee menetelmän mukaisesti. Puheenjohtaja ei osallistu itse ideointiin. Käsiteltävän ongelman selostaa asiantuntija, joka tuntee ongelman hyvin ja jolla on valtuuksia toteuttaa ryhmän ehdotuksia. Synektiikkamenetelmä voidaan jakaa seuraaviin työvaiheisiin (kuva 2.10 a):

Ongelma annetussa muodossa

Asiantuntija pyrkii määrittelemään ongelman keskeisen sisällön yhdellä tai kahdella lauseella.

Analyysi, asiantuntijan selostus

Asiantuntija selostaa ongelman taustatekijöitä, mitä ratkaisuja on aikaisemmin löydetty, miten ongelma koskee häntä, mitkä ovat hänen toimintavaltuutensa ja mahdollisuutensa sekä mikä olisi hänen mielestään paras ratkaisu.

Helposti löydettävät ideat

Etsitään välittömästi mieleen tulevat ideat esim. aivoriihen tapaan. Jos ongelma on yksinkertainen, saattaa se ratketa jo tässä vaiheessa ja seuraavat työvaiheet käyvät tarpeettomiksi. Tavallisesti kuitenkin asiantuntija on analyysivaiheessa jo selostanut kaikki tavanomaiset ratkaisut ja kertonut, miksi ne eivät ole tyydyttäneet. Näin ollen uusia helposti mieleen tulevia käyttökelpoisia ideoita ei yleensä saada. Kuitenkin näitä etsittäessä ongelman ydin selviää edelleen ryhmän jäsenille.

Toivomustavoitteet

Tässä vaiheessa kukin ryhmän jäsen esittää toivomusluonteisia korkealle asetettuja tavoitteita, jotka ovat itse asiassa uusia ongelman näkökohtia. Tavoitteet voidaan esittää

muodossa “Miten...?”, “Miten olisi mahdollista aikaansaada ... niin, että ...?” Tavoitteista ainakin osan tulisi olla lennokkaita ja mielikuvituksellisia, jotta ajatusratoja ei tässä vaiheessa liikaa rajoitettaisi.

Toivomustavoitteen valinta

Esitetyistä toivomustavoitteista asiantuntija valitsee yhden ja selostaa, miksi hän valitsi kyseisen tavoitteen. Valitun tavoitteen tulisi olla tavanomaisuudesta poikkeava, sillä käytännölliset ja selväpiirteiset tavoitteet asiantuntija pystyy itsekin ratkaisemaan.

Ideointi

Etsitään yksi tai muutama idea valitun toivomustavoitteen saavuttamiseksi esim. aivo-riihimenetelmällä.

Idean arvostelu

Kun ryhmä on päätyttyä johonkin ratkaisuehdotukseen, asiantuntija kertoo, miten hän on ratkaisun ymmärtänyt. Näin tulee tarkistettua, että ryhmä ja asiantuntija ovat käsittäneet ratkaisuehdotuksen samalla tavalla. Tämän jälkeen asiantuntijan tulee etsiä ideasta vähintään kolme hyvää puolta. Havaitsemiaan varjopuolia asiantuntija ei sellaisenaan esitä, vaan hän pyytää ideaan yhden parannusehdotuksen kerrallaan niin, että varjopuolet eliminoituvat. Parannusehdotusta kysytään myönteisessä hengessä esimerkiksi “Idea on oikein hyvä, mutta miten voitaisiin saada aikaan niin, ettei ...” Tällä tavoin ylläpidetään kritiikitöntä, ideointia edistävää ilmapiiriä. Ryhmä esittää parannuspyyntöön uuden idean, jonka jälkeen idea arvostellaan kuten edellä. Näin jatketaan, kunnes mahdollinen ratkaisu ongelmaan on löytynyt.

Mahdollinen ratkaisu

Istunnon puheenjohtaja kirjoittaa löydetyn mahdollisen ratkaisun muistiin asiantuntijan sanelemassa muodossa. Tämän jälkeen käydään ongelma vielä kerran läpi ja tarkistetaan, että ratkaisuehdotus on riittävän hyvä ja niin pitkälle kehitetty, että jatko voidaan suorittaa helposti muualla.

Näin on saatu aikaan yksi ratkaisumahdollisuus. Vaihtoehtoiset ratkaisut saadaan parantamalla muita ideoinnissa saatuja ratkaisuehdotuksia tai ottamalla lähtökohdaksi toinen asiantuntijan valitsema toivomustavoite, jne.

Jos tyydyttäviä ideoita ei löydy tai ne tuntuvat tavanomaisilta, voidaan käyttää synektiikkamenetelmälle ominaista **ekskursiota**, jolla pyritään pääsemään irti tavanomaisista ajatusradoista ja löytämään todella uusia näkökantoja. Ekskursiomuotoja on useita (kuva 2.10 b). Ekskursio, jossa **sanaleikin** avulla lähdetään irtautumaan ongelmasta, tapahtuu seuraavasti:

Sanaleikki

Puheenjohtaja valitsee jonkun sanan lähes mielivaltaisesti ja pyytää ryhmän jäseniä vuoron perään sanomaan, mikä sana tästä juolahtaa mieleen sekä jälleen uudesta sanasta seuraava sana jne.

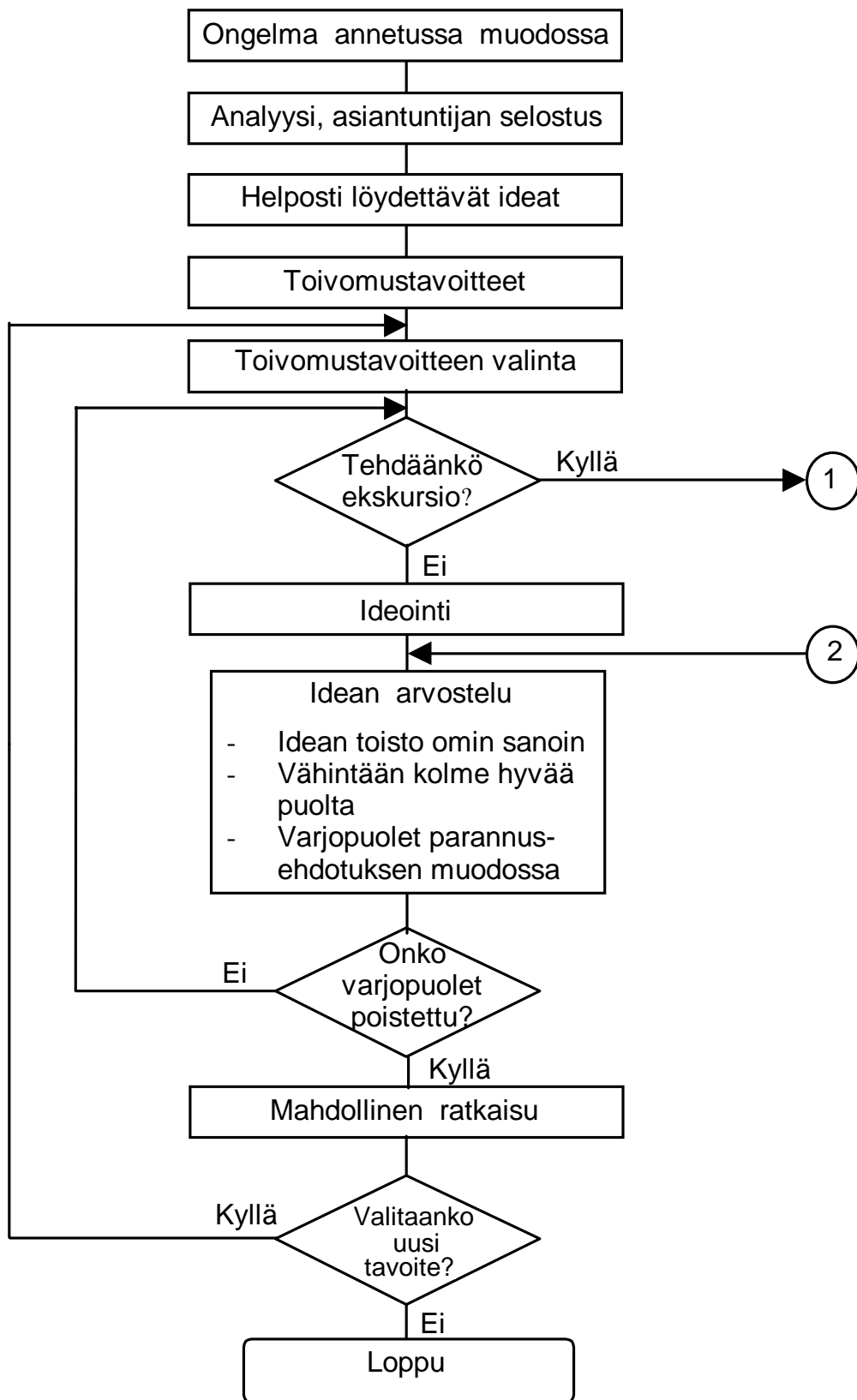
Mielikuvitelma

Puheenjohtaja valitsee jonkin sanan saadusta sanaketjusta ja pyytää ryhmän jäseniä kuvittelemaan mielessään jotakin sanan herättämää kuvaelmaa. Tämän jälkeen puheenjohtaja pyytää yhtä jäsenistä kertomaan kuvaelmasta. Mielikuvituksen annetaan lentää ja kaikki yhdessä jatkavat kuvaelmaa.

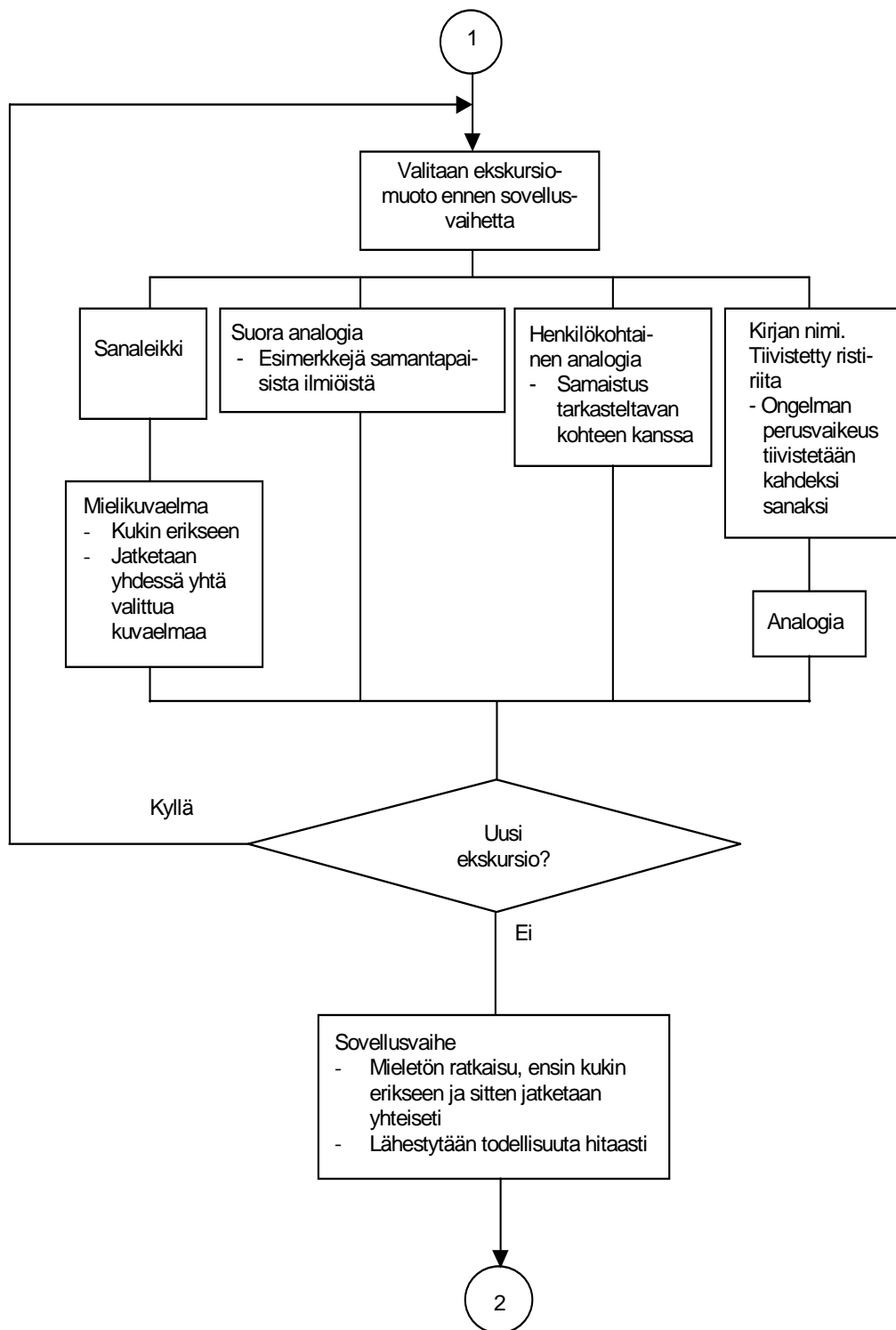
Sovellusvaihe

Puheenjohtaja pyytää kutakin ryhmän jäsentä miettimään kuvaelman pohjalta täysin **mielettömä ratkaisua** valitun toivomustavoitteen toteuttamiseksi. Jäsenten harkittua asiaa jonkin aikaa puheenjohtaja pyytää yhtä jäsentä esittämään ratkaisunsa, jota sitten yhteisesti kehitellään pysyen kaiken aikaa täysin mielettömän tuntuudessa ratkaisussa kuitenkin niin, että ratkaisu toteuttaa valitun toivomustavoitteen.

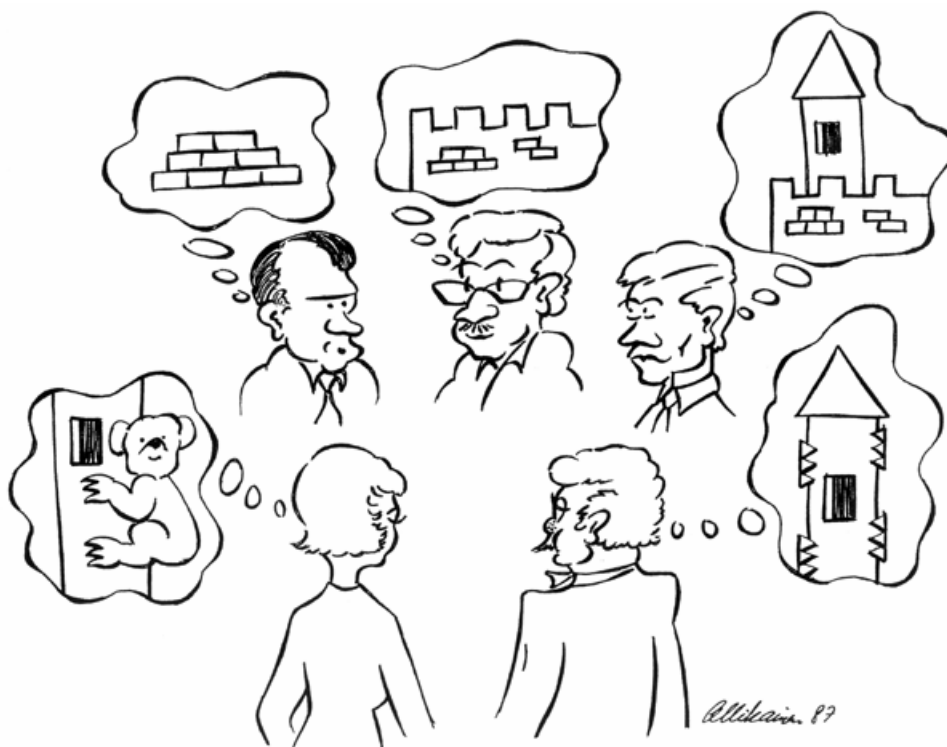
Tämän jälkeen aletaan **hitaasti** lähestyä todellisuutta asiakkaan yrittäessä saada kuvaelmasta ja mielettömästä ratkaisusta keksittyä joitakin käyttökelpoisia ideoiden alkuja. Ryhmä auttaa ideoiden kehittäessä asiakkaan esittäessä ehdotusten hyviä puolia sekä kunkin ehdotuksen selvimmän haittapuolen parannustoivomuksen muodossa. Ryhmä esittää parannettuja ideoita, kunnes mahdollinen ratkaisu löydetään.



Kuva 2.10 a Synektiikkamenetelmä kulkukaaviona.



Kuva 2.10 b Synectiikkamenetelmän erilaisia ekskursiomuotoja.



Kuva 2.11 Retki mielikuvitusmaailmaan voi alkaa sanaleikillä: tiilikasa – linna – torni – kynnet tornissa – karhu – ...

Synektiikkamenetelmässä on sanaleikin lisäksi käytössä mm. seuraavia hyviksi osoittautuneita ekskursiomuotoja:

Suora analogia

Etsitään toiselta alalta esimerkkejä samantapaisesta ilmiöstä. Tätä käytetään ratkaisumallina. Mitä kaukaisempi on analogian looginen yhteys käsiteltävään asiaan nähden, sitä suurempi on mahdollisuus löytää uusi näkökanta ongelman ratkaisemiseksi. Eräs esimerkki suoran analogian jokapäiväisestä käytöstä on puheen havainnollistaminen vertauksilla. Myös useat sananlaskut ovat esimerkkejä suoran analogian käytöstä.

Henkilökohtainen analogia

Henkilö yrittää mahdollisimman elävästi samaistaa itsensä tarkasteltavan kohteen kanssa. Tämän on todettu auttavan näkemään ongelma uudessa valossa, mikä tavoite ekskursiolla juuri on. Samaistumisen aste voi olla erilainen. Esimerkiksi puheenjohtaja

pyytää ryhmän jäseniä kuvittelemaan olevansa äänirauta ja kuvailemaan sitten itseään.

Vastaukset voisivat olla:

1. Olen valmistettu metallista ja minulla on hyvin tarkat mitat. Lyötäessä värähtelen määrättyllä taajuudella.
2. Tunnen itseni herkäksi, mutta vain määrätuille asioille. Voit lyödä minua vasaralla enkä välitä siitä, mutta jos vihellät oikean sävelen, tunnen hajoavani osiin. Jos vihellät oikean sävelen vierestä, olen tunteeton. Olen kapea-alainen. Sinun on osattava avainsäveleni.

Ensimmäinen vastaus on pintapuolinen ja se antaa vain analyttistä tietoa. Toinen vastaus kertoo tunteista ja on parempi kuin ensimmäinen vastaus, sillä se antaa paremmat mahdollisuudet päästä irtautumaan käsiteltävästä ongelmasta.

Kirjan nimi- tai tiivistetty ristiriita-analogia.

Tässä menetelmässä pyritään ongelman perusvaikeutena oleva ristiriita tiivistämään kahdeksi sanaksi, joista toinen tavallisesti on adjektiivi ja toinen substantiivi. Sanayhdistelmän voisi kuvitella olevan jonkin kirjan nimen. Tavoitteena "kirjan nimen" muodostamiselle on yleistä ongelman perusvaikeutena oleva ristiriita ja käyttää nimeä herättämään mieleen uusia analogioita. Ideointi jatkuu analogioiden etsimisellä ja analysoimisella.

Ekskursiomuotoa voidaan istunnon eri vaiheessa vaihtaa. Samoin voidaan tehdä useampi ekskursio peräkkäin, ennen kuin siirrytään sovellusvaiheeseen. Esimerkiksi ekskursio voidaan aloittaa suoralla analogialla ja sen jälkeen jatkaa henkilökohtaisella analogialla, jonka jälkeen etsitään ratkaisumahdollisuuksia varsinaiseen ongelmaan.

Esimerkki synektiikkamenetelmästä

Seuraava esimerkki havainnollistaa erityisesti erilaisten ekskursioiden käyttöä synektiikassa. Esimerkki on lyhennelmä nauhoitetusta istunnosta (*Prince* 1970).

Ongelma annetussa muodossa:

Kehitettävä nopea ja halpa menetelmä auton levypyörien pienten vuotojen havaitsemiseksi.

Analyysi:

Levytyörön valmistuksessa on ilmennyt vaikeuksia. Pyöriin on jäänyt pienen pieniä reikiä, joiden kautta ilmaa vuotaa sisäkumittomasta renkaasta ulos. Laivakuljetuksessa autot lastataan vieri viereen muutaman senttimetrin välein. Tällöin vuotava rengas kallistaa autoa niin, että auto kolhii itseään ja naapuriautoa. Valmistaja on ryhtynyt 100 prosentin tarkastukseen ja etsii hiushuokokset väriaineen ja infrapunavalon avulla. Tarkastustulos on hyvä, mutta menetelmä on melko kallis.

Toivomustavoitteet:

1. Miten voitaisiin saada vuotokohdat ilmaisemaan itsensä?
2. Miten voitaisiin ehkäistä vuotojen syntyä?
3. Miten voitaisiin saada vuodot korjaamaan itsensä?

Toivomustavoitteen valinta:

Asiantuntijan mielestä vuotojen täydellinen ehkäisy olisi kaikkein toivottavin tavoite. Tätä oli vuosien kuluessa kaikin keinoin yritetty, mutta 100 prosentin varmuutta ei ollut saavutettu. Asiantuntijasta 3. toivomustavoite tuntuu poikkeavan tavanomaisesta melko paljon ja vähän harkitulta alueelta. Hän pyytää ehdotuksia, miten vuodot korjaisivat itsensä.

Ideoita ei tunnu löytyvän ja puheenjohtaja päättää aloittaa ekskursion. Hän pyytää jäseniä unohtamaan käsiteltävän ongelman ja miettimään suoraa analogiaa psykologian alalta tapauksesta, joka parantaa itsensä. Kokous jatkuu seuraavasti:

Jäsen 1: “Unohtaminen.”

Puheenjohtaja: “Selittäisitkö tarkemmin?”

Jäsen 1: “Epämiellyttävän kokemuksen unohtaminen voisi olla itsensä parantamista.”

Puheenjohtaja: “Siis parempi unohtaa kuin olla jatkuvasti järkyttynyt tai poissa tolaltaan.”

Jäsen 1: “Juuri niin.”

Asiantuntija: “Ennakkoluulo.”

Puheenjohtaja: “Niin...?”

Asiantuntija: “Ihmisen toimintaa säätelee ennakoasenteet ja -luulot. Vähän vaikea selittää.”

Puheenjohtaja: “Hyvä. Käsitelläänpä tätä ennakkoluuloajatusta. Puoli minuuttia aikaa. Esittäkää henkilökohtainen analogia ja kuvailkaa, miltä tuntuu olla ennakkoluulo.”

Tauko. Jäsen 2 näyttää valmiilta.

Puheenjohtaja: “Jäsen 2.”

Jäsen 2: “Tunnen itseni voimattomaksi ja vähän ylenkatseiseksi sitä ihmistä kohtaan, jonka sisällä olen. Hän ei koskaan kysynyt valtakirjaani ja hänen vaistojensa hierarkiassa olen yhtä tärkeä kuin hänen älä hyppää ikkunasta -vaistonsa.”

Puheenjohtaja: “Mitä tunteita muilla on?”

Jäsen 3: “Tunnen suurta kiitollisuutta isäntääni kohtaan, sillä jos hän ei ruokkisi ja pitäisi minua niin, missä minä sitten olisin. Yritän palvella häntä ja tulla hänen mieleensä mahdollisimman usein.”

Asiantuntija: “Tunnen itseni parjatuksi – joku voi ajatella, ettei ole olemassa parempaa kuin minä. Olen rehtiä peliä varten ja minun on jatkuvasti taisteltava tullakseni otetuksi huomioon. Olen varuillani kaiken aikaa.”

Puheenjohtaja: “Hyvä on, yritetäänpä tästä materiaalista laatia muutama “kirjan nimi”, johon sisältyy paradoksi.”

Asiantuntija: “Impulsiivinen huolehtivaisuus.”

Jäsen 1: “Huolestunut halveksiminen.”

Asiantuntija: “Epäluotettava voittamattomuus.”

Jäsen 3: “Ilkeä kiitollisuus.”

Puheenjohtaja: “Hyvä. Ajatellaanpa nykyaikaisen ihmisen tapoja. Voitteko esittää esimerkin huolestuneesta halveksimisesta.”

Jäsen 2: “Ylinopeus – me tavallisesti rikomme nopeusrajoituksia ja näin me osoitamme halveksimista tai kunnioituksen puutetta, mutta samalla aina olemme vähän huolestuneita siitä.”

Puheenjohtaja: “Kyllä, ajan helposti 70 km/h alueella, jossa on sallittu 50 km/h, mutta jos näen poliisin – vaikka hän katselisi toiseen suuntaan – tunnen tehneeni väärin, joten olen huolestunut kaiken senkin ajan, jolloin ylimielisesti ajoin ylinopeutta. Tätäkö tarkoitat?”

Jäsen 2: “Kyllä.”

Jäsen 3: “Tupakanpoltto.”

Puheenjohtaja: “Niin, jatka.”

Jäsen 3: "Tiedän, ettei se ole hyvä tapa, mutta teen kuitenkin niin."

Puheenjohtaja: "Tarkoitatko, että toimintasi osoittaa ylimielisyyttä, mutta sisimmässäsi tunnet huolestuneisuutta."

Jäsen 3: "Kyllä. Se on typerää. Tupakoimme, kun olemme huolestuneita, ja tupakointi puolestaan aiheuttaa huolestuneisuutta."

Puheenjohtaja: "Hyvä, tarkastellaan ylinopeutta. Mitä ylinopeus tuo mieleen?"

Jäsen 1: "Vauhti on kiihottava jollakin tavalla."

Jäsen 2: "Kyllä, niin on."

Asiantuntija: "Onkohan se enemmän miesten tunneasia vai tuntevatko tytöt samalla tavalla."

Puheenjohtaja: "Mitä tarkoitat?"

Asiantuntija: "Se on ehkä eriasteista. Tarkoitan eroa uhkarohkeudessa mies- ja naisajajien välillä."

Jäsen 3: "Minusta tämä ero on hämmästyttävää, pienenä – sanokaamme kymmenvuotiaana – tytöillä on selvä käsityskyky seuraamuksista – he ovat enemmän jalat maassa."

Asiantuntija: "Oikein, mutta minusta heistä tulee yhtäkkiä epärealistisia ja romanttisia siinä 25 ikäisinä."

Jäsen 2: "Enpä usko. Minusta naiset ovat aina realistisia."

Puheenjohtaja: "Ehkä molemmat voivat olla oikeassa, mutta käytetäänpä näitä ajatuksia ja palataan hiljalleen alkuperäiseen ongelmaamme: Miten voitaisiin saada reiät korjamaan itse itsensä. Miten voidaan ylinopeusidea ja muuta esille tullutta käyttää hyväksi ratkaisun löytämiseksi."

Jäsen 3 (jatkaa vielä mielikuvaelmaa): "Näen poliisin kiiruhtavan – vuotopaikalle."

Puheenjohtaja: "Kyllä ja sitten..."

Jäsen 1: "Hän vetää aseensa ja täyttää reiän lyijyllä."

Jäsen 2: "Näen mielessäni hänen tukkivan vuodon sormellaan, kuten pieni hollantilaispoika tukki padon vuodon."

Puheenjohtaja: "Tukitaan häneen aseensa sormella... mitä tästä saataisiin."

Asiantuntija: "Pidän poliisi-ideasta, koska voimme toteuttaa tämän – värimme leviää rikospaikalle - - - Miten pidätys tehdään?"

Jäsen 1: "Kuule, siltä puolelta, jolta katsot infrapunavalolla vuotokohtia - - -"

Asiantuntija: "Niin?"

Jäsen 1: "Voisitko ampua lyijyä tai jotain muuta, kun näet väriaineen tulevan läpi?"

Asiantuntija: “Emme ole koskaan ajatelleet korjaavamme tätä kohtaa. Ajatuksemme ovat pyörineet vain vikojen havaitsemisessa. Tuo on hyvä ajatus. Löytyisikö jatkoideoita?”

Puheenjohtaja: “Mitä on mielessäsi?”

Asiantuntija: “Nämä reiät ovat todella pieniä – kuten hiushuokokset. Infrapunavalon näyttää tahraläikän ja ilmaisee vain alueen, jolla reikä on. Lyijy tulisi sulattaa tälle alueelle, jotta vuoto varmasti tukkiutuisi.”

Jäsen 3: “Voisitteko käyttää kahta erilaista väriainetta – poika ja tyttö tyypistä?”

Asiantuntija: “Kyllä, kaksi komponenttia - - - kuten epoksissa - - - mutta - - - se täytyisi saada todella tunkeutumaan hyvin.”

Jäsen 2: “Luulen, että jäsen 3 tarkoitti, että poika toiselle puolelle ja tyttö toiselle.”

Asiantuntija: “Juuri niin! Kaskikomponenttista epoksia, molemmat yhtä ohuita kuin väriaine. Toinen ruiskutetaan sisäpuolelle ja toinen ulkopuolelle – reiän kohdalla ne kohtaavat ja kovettumisreaktio alkaa ja reikä tukkiintuu.”

Tämä idea toteutettiin tuotannossa. Menetelmä on täysin automatisoitu ja sillä saadaan kertoman mukaan huomattavia säästöjä.

Synektiikkamenetelmässä on kokeiltu erilaisia tapoja palata ekskursiovaiheesta alkupe räiseen ongelmaan ja sen ratkaisemiseen. Parhaaksi menetelmäksi on osoittautunut hidas palaaminen maan päälle niin, että lennokasta ajatuksenjuoksua tahallisesti pitki tetään. Tässä tarkoituksessa ensimmäisen ratkaisuehdotuksen tulee olla mieletön kuitenkin niin, että se toteuttaa valitun toivomustavoitteen. Edellisessä esimerkissä sovel lutusvaiheen ensimmäisessä ratkaisussa poliisi vetää aseensa ja ampuu lyijyä reikään. Sovellusvaiheen havainnollistamiseksi vielä toinen esimerkki.

Ongelma annetussa muodossa: Miten saada päätöksiä siirtävä esimies tekemään päätök siä? Asiakkaana hänen sihteerinsä.

Valittu toivomustavoite: Miten esimies saataisiin innostumaan päätöksenteosta?

Mielikuvaelmassa on päädytty muinaisroomalaisiin juhliin.

Mieletön ratkaisu: Esimiehen tehtyä päätöksen alkavat juhlat. Orkesteri soittaa, tytöt tanssivat, ruokaa ja viiniä tarjoillaan.

Mieletön ratkaisu toteuttaa siis toivomustavoitteen innostamalla esimiestä tekemään päätöksen saadakseen juhlat alkamaan.

Sovellusvaihe, todellisuutta lähestytään hitaasti:

Asiakas: “Esimiehen nopea palkitseminen tuntuisi olevan hyvä idea. Samoin viini ja ruoka tuntuisivat hyvältä asialta, mutta niistä tanssityöistä en oikein tiedä. Mitä muita tapoja olisi palkita esimiestä?”

Jäsen 1: “Mielenrauha siitä, että asia ei enää vaivaa.”

Asiakas: “Mielenrauha ei riitä. Tarvittaisiin jotakin lisää, vaikkapa viiniä ja jotain muuta. Minulla on tunne, että hän pelkää nopeiden päätösten olevan huonoja. Millä tavalla synnytetäisiin niin syvä mielenrauha, ettei sitä häiritsisi epäily huonosta päätöksestä?”

– (miettimistä) –

Jäsen 2: “Voisiko hänet saada tekemään päätös yhdessä päätöstä hakevan kanssa?”

Asiakas: “Päätöksen hakija siis kiristäisi päätöksen eikä lähtisi pois, ennen kuin saa päätöksen?”

Jäsen 2: “Jotain siihen suuntaan.”

Asiakas: “Tässä näyttäisi hyvältä se, että päätös ilmeisesti syntyisi heti. Toiseksi se varmaan olisi vähän parempikin päätös, kun sitä tekee kaksi henkilöä.”

Puheenjohtaja: “Mikä olisi kolmas hyvä puoli?”

Asiakas: “Minä en olisi välikädessä, paitsi jos olen itse hakemassa päätöstä. Hakija kertoisi asian suoraan esimiehelle. Voisiko nyt löytää vähän samantapaista, mutta ei niin suurta muutosta aiheuttavaa niin, että esimies hyväksyisi sen helpommin?”

– (miettimistä) –

Jäsen 3: “Mitä jos päätös tehtäisiin vähittäismaksulla? Osa nyt ja loput myöhemmin.”

Asiakas: “Ajattelet siis, että kiireisin osa päätettäisiin välittömästi ja loput sitten myöhemmin?”

Jäsen 3: “Niin, jos ongelma on siten jaettavissa. Muuten voisi ajatella jonkinlaista alustavaa ratkaisua, mikä vahvistetaan myöhemmin, jos se edelleen tuntuu oikealta ratkaisulta.”

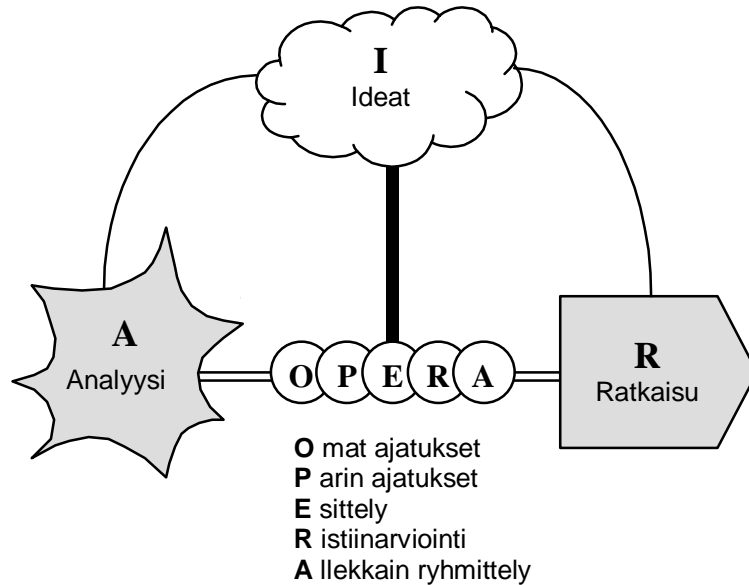
Ideointi jatkuu samaan tapaan kierroksina idean toisto omin sanoin - hyvät puolet - parannusehdotukset - uusi idea jne. Lopuksi ideointia suunnataan sellaisiin mahdollisuuksiin, joita sihteeri voi käytännössä toteuttaa. Viimein päädytään seuraavaan ratkaisumahdollisuuteen: Ongelmaesimiehen sihteeri ehdottaa sopivissa tilanteissa muille, että hänen esimieheltään pyydetään ensin vain osapäätös. Tämä voi tapahtua esimerkiksi siten, että sovitaan siitä toimintavaihtoehdosta, jota myöhemmin harkitaan vakavimmin. Jos tämä siten näyttää hyvältä, vahvistetaan alustava päätös lopulliseksi.

12. Tuplatiimi

Tuplatiimin nimellä kulkevan ideointimenetelmän on kehittänyt suomalainen Innotiimi Oy. Menetelmää kutsutaan myös AIR-OPERA -menetelmäksi. Ideointiryhmän sopiva koko on 6–12 henkilöä. Yksi istunto vie kahdesta kolmeen tuntia.

Tuplatiimissä työmenetelmään perehtynyt henkilö toimii ohjaajana. Hän osallistuu ideointiin ja huolehtii kokouksen teknisestä kulusta. Sihteeriä ei menetelmässä käytetä. Pääosa työskentelystä tapahtuu työpareina. Kokous jakaantuu kolmeen vaiheeseen (kuva 2.12): ongelmakehityksen jäsenitys eli **analyysi**, **ideoiden** tuottaminen, ja **ratkaisumallin** rakentaminen (AIR). Ratkaisun rakentamiseen sisältyy myös jatkotoimenpiteistä sopiminen.

Kullakin vaiheella on samanlainen, viisivaiheinen työskentelytapa. Ensiksi mietitään omat ehdotukset, toisessa vaiheessa jakaannutaan työpareiksi ja parit miettivät yhteiset ehdotuksensa, kolmannessa vaiheessa esitellään ryhmän muille jäsenille parien ehdotukset, neljännessä vaiheessa ristiinarvioidaan ehdotukset ja viidennessä vaiheessa samankaltaiset ehdotukset ryhmitellään allekkain. Menetelmän nimen loppuosa OPERA tulee näiden viiden vaiheen nimistä **omat** ajatukset, **parien** ajatukset, **esittely**, **ristiinarviointi** ja **allekkain** ryhmittely.



Kuva 2.12 Tuplatiimi (AIR-OPERA) on kolmivaiheinen (AIR) ja kullakin vaiheella on samanlainen rakenne (OPERA).

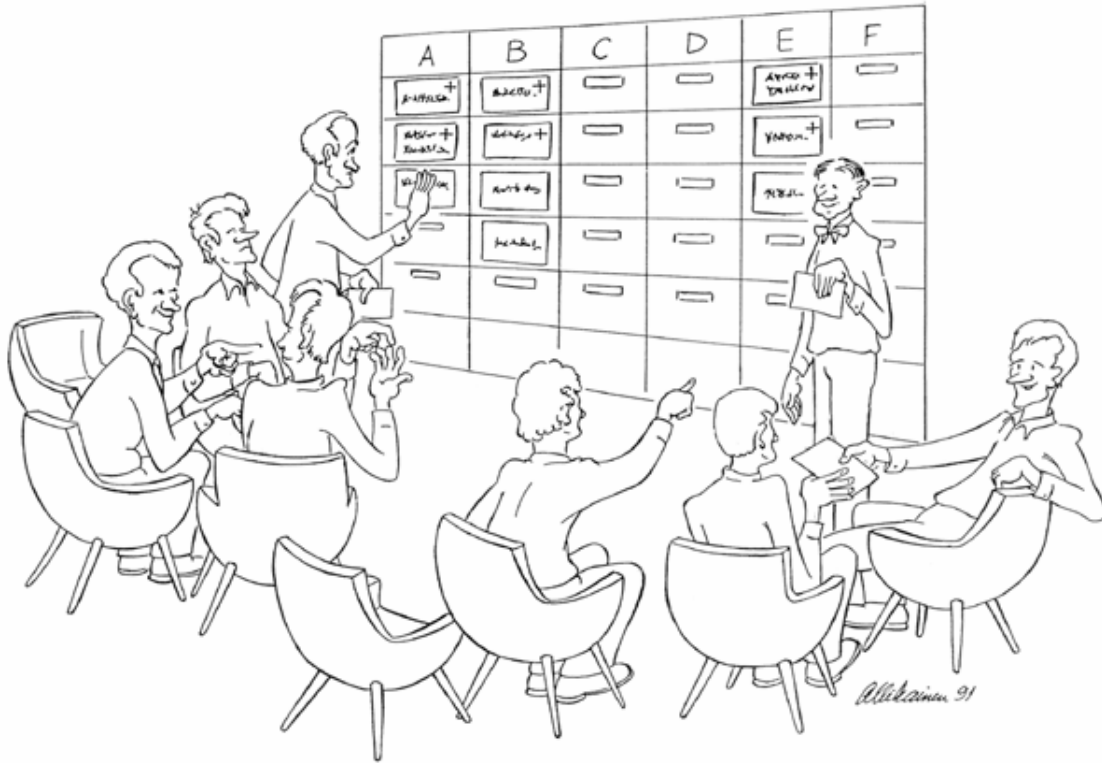
Ongelmakohteen jäsenitys (analyysi)

Kokous aloitetaan ongelman analysoinnilla. Työskentely tapahtuu edellä kuvatulla viisivaiheisella tavalla eli ensiksi ohjaaja pyytää jokaista miettimään yksin **omasta mielestä tärkeimmät tavoitteet** tai **suurimmat ongelmat**, mitkä kunkin mielestä liittyvät käsiteltävään asiaan.

Noin kolmen minuutin miettimisen jälkeen osallistujat jaetaan **työpareiksi**. Työpareja pyydetään keskustelemaan tavoitteista tai ongelmista ja kirjoittamaan kolmesta viiteen tärkeintä tavoitetta tai ongelmaa kukin omalle A4-kokoiselle paperille. Aikaa annetaan 10 minuuttia. Työparit kiinnittävät paperinsa seinällä olevaan tauluun (kuva 2.13). Taulu on hyvä jakaa A4-kokoisiin ruutuihin niin, että muodostuu esimerkiksi kuusi saraketta ja viisi riviä. Kiinnityksen helpottamiseksi ruutuihin on hyvä laittaa tarra-nauha, johon paperit tarttuvat. Kukin työpari saa käyttöönsä yhden sarakkeen. Useasti ehdotukset, joita työpari pitää parhaimpana, sijoitetaan ylemmille riveille ja työpari voi myös merkitä kaksi omasta mielestään parhainta ehdotustaan ristillä.

Papereiden kiinnittämisen jälkeen työparit **esittelevät** ja perustelevat mielipiteensä. Esittelyn aikana ei keskustella näkemyksistä. Esittelyn jälkeen jokainen työpari valitsee toisten esittämistä tavoitteista tai ongelmista kolme tärkeintä ja merkitsee ne ristillä

seinällä oleviin papereihin (kuva 2.14a). Tällainen **ristinarviointi** on tuplatiimissä todettu hyväksi arviointimenetelmäksi. Työparit perustelevat lyhyesti, miksi heidät merkitsemänsä tavoitteet tai ongelmat ovat oleellimmat. Arviointikierrös voidaan toistaa. Merkitseminen tehdään toisenlaisella merkillä, esimerkiksi sydämenkuvalla.



Kuva 2.13 Tuplatiimin työparit kiinnittävät ehdotuksensa taululle. Kullakin parilla on oma sarakkeeseensa.

Valintojen ja merkkeysten jälkeen ohjaaja ryhmittelee paperit niin, että eniten kannatusta saaneet tulevat ylös ja samaa tarkoittavat niiden **alle** (kuva 2.14b). Ilman kannatusta jääneet paperit voidaan poistaa tai siirtää alariviin.

Tuplatiimissä ei pyritä mihinkään “oikeaan tulokseen”, vaan ennen kaikkea siihen, että kaikki jäsenet saadaan sanomaan omat näkemyksensä tavoitteista ja ongelmista. Kenenkään käsityksiä ei saa vähätellä tai sivuuttaa. Ongelmakohteen jäsennys vie normaalisti aikaa 15–20 minuuttia.

A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
+		♥			+	♥♥♥	♥♥	♥♥	♥	♥	—
♥	♥♥			♥♥♥	+	♥	+	+	+	—	—
		+	+	+		+	—	—	+	—	—
♥♥					—	—	—	—	+	—	—
	—	♥		—	—	—	—	—	—	—	—

a

b

Kuva 2.14 Työparit merkitsevät toisten ehdotuksista kolme parasta ristillä ja toisella arviointikierröksellä sydämenkuvalla (a). Arvioinnin jälkeen kannatusta saaneet samaa aihetta käsittelevät ehdotukset ryhmitellään allekkain (b).

Ideoiden tuottaminen

Ideoinnin lähtökohtana voivat olla joko kaikki edellisessä analyysissä esiin tulleet tavoitteet ja ongelmat tai ideointi voidaan rajata vain yhteen tai muutamaa aiheeseen. Valinta riippuu käsiteltävän asian laajuudesta ja käytettävissä olevasta ajasta.

Ideointi tapahtuu samalla tavalla kuin ongelman analysointi. Ensiksi on yksilövaihe. Ohjaaja pyytää osallistujia miettimään ja kirjaamaan omalle paperilleen ehdotuksia ja ideoita valitun tavoitteen saavuttamiseksi tai ongelman ratkaisemiseksi. Sopiva aika on viisi minuuttia.

Tämän jälkeen seuraa jälleen parityöskentely. Parit miettivät yhdessä parannusehdotuksia ja valitsevat niistä viisi parasta, jotka kirjataan kukin omalle paperilleen. Paperit viedään jälleen seinätaululle. Parit merkitsevät omista ideoistaan kaksi parasta ristillä ja sijoittavat ne ylimmiksi omassa sarakkeessaan.

Kukin työpari esittelee omat ideansa. Muut kuuntelevat ja merkitsevät ylös ne ideat, jotka heistä tuntuvat erityisen hyviltä. Aikaa ideointivaiheeseen kuluu yleensä noin 30 minuuttia.

Ideoiden karsinta tapahtuu ristiinarvioinnilla. Karsinnan päätavoite on poimia esille tulleista ideoista ne, joihin eniten uskotaan ja innostutaan. Karsinta kannattaa suorittaa useammassa vaiheessa, joiden välissä on perustelukierros.

Ensimmäisessä vaiheessa jokainen työpari valitsee neljä parasta ideaa toisten papereista ja merkitsee ne ristillä. Tämän jälkeen työparit perustelevat lyhyesti valintansa.

Toisessa vaiheessa työparit saavat valita vielä kaksi ideaa, jotka ovat eri ideoita kuin ensimmäisellä kerralla. Tässä vaiheessa ohjaaja voi sallia, että toinen ideoista on oma idea. Myös nämä valinnat esitellään ja perustellaan lyhyesti.

Viimeisellä valintakierroksella jokainen työpari valitsee kaikista ideoista kolme kaikkien parasta ns. kärki-idea. Yksi ideoista saa olla omakin. Kärki-ideat merkitään sydämenkuvilla.

Lopuksi ohjaaja järjestää ideapaperit niin, että eniten sydämenkuvia saaneet tulevat ylimmiksi ja paljon ristejä saaneet välittömästi niiden alle. Samalla ideat ryhmitellään niin, että samansukuiset tulevat allekkain. Näin löydetään toisistaan oleellisesti eroavat ideat. Kullekin idealle etsitään sitä parhaiten kuvaava sana, joka kirjoitetaan ideaa kuvailevan sarakkeen ylimmäksi. Sana rengastetaan.

Karsintavaihe kestää kokonaisuudessaan noin 20 minuuttia. Tämän työvaiheen jälkeen kannattaa pitää 10 minuutin tauko.

Ratkaisumallin rakentaminen

Tämän vaiheen päätavoite on rakentaa parhaiksi katsottujen ideoiden pohjalta mahdollisimman hyviä ratkaisumalleja. Työ tehdään jälleen viisivaiheisesti: omat ajatukset, parin ajatukset, esittely, ristiinarviointi ja allekkain ryhmittely. Näin ensiksi kukin miettii, miten edellisessä kohdassa löydettyistä pääideoista ja muista tiedoista saataisiin mahdollisimman hyvä ja toimiva ratkaisu.

Yksilövaiheen jälkeen jatketaan työpareina tai 3–4 hengen pienryhminä. Ryhmät kehittävät yhden tai pari ratkaisua. Siitä tulee ilmetä ainakin ratkaisuperiaate ja tärkeimmät ratkaisun toteuttamiseksi tarvittavat toimenpiteet. Tulokset kirjoitetaan isolle paperille, joka kiinnitetään seinälle.

Ryhmät esittelevät ratkaisumallinsa. Muiden ryhmien jäsenet saavat esittää parannus- ja lisäideoita. Ohjaaja kirjaa lisäideat paperien laitaan tai jatkoksi. Tämän jälkeen ohjaaja pyytää pienryhmiä kertomaan, mitkä ovat muiden pienryhmien ratkaisujen parhaat puolet. Ohjaaja merkitsee ne ristillä papereihin. Ehdotukset voidaan tarvittaessa ryhmitellä, samansukuiset allekkain.

Viimeisessä vaiheessa pienryhmien ratkaisumallit muutetaan konkreettisiksi toimenpideohjelmiksi. Toimenpideohjelma voidaan laatia yhteisesti. Ohjelmasta ilmenee, mitä toimenpiteitä on tehtävä, kuka vastaa kustakin toimenpiteestä ja mihin mennessä kukin tehtävä tulee olla suoritettu (taulukko 2.1). Kokouksen viimeisenä vaiheena sovitaan, miten toimenpiteiden edistymistä seurataan ja miten suunnitelmien toteutumisesta raportoidaan.

Taulukko 2.1 Jatkokotoimenpiteistä sopiminen tuplatiimissä.

TOIMENPIDE	VASTUUHENKILÖ	AIKATAULU
1. Muistion kirjoittaminen	Pekka	27.02.
2. Ratkaisun esittely päättäjille	Antti	01.03
3. XXXXXXXX XXXX	NN	pp.kk.
4. XXX XX XXXXX	NN	pp.kk.
5.		

13. Tuumatalkoot

Tuumatalkoiden nimellä kulkevan ideointimenetelmän on kehittänyt FM *Kari Helin* (Innotiimi Oy). Menetelmän lähtökohta on synektiikka, jota on muokattu paremmin suomalaiselle soveltuvaksi ja helpommin omaksuttavaksi.

Ideointiryhmän sopiva koko on 5–8 henkilöä, kuten synektiikassa. Puolet osanottajista tulisi olla alan asiantuntijoita ja puolet idearikkaita, asiaa tuntemattomia henkilöitä. Yksi jäsenistä toimii ohjaajana ja samalla sihteerinä. Hän osallistuu synektiikasta poiketen myös ideointiin ja huolehtii kokouksen teknisestä kulusta. Käsiteltävän ongelman

selostaa asiantuntija-asiakas, jonka vastuulla on ratkaisun lopullinen toteuttaminen. Tuumatalkoot voidaan jakaa seuraaviin työvaiheisiin:

Analyysi, asiakkaan selostus

Asiakas esittää synektiikan tapaan ongelman taustatekijät, nykyratkaisun heikkoudet, aikaisemmin harkitut ratkaisut ja oman ihanneratkaisunsa ominaisuudet. Jäsenet tekevät asiaa selventäviä kysymyksiä.

Ideointi

Ideoita ei esitetä vuoronperään ääneen, vaan ne kirjoitetaan paperille. Ideointi on kaksivaiheinen. Ensiksi jokainen, ohjaaja ja asiakas mukaan luettuna, kirjoittaa ideansa omalle paperilleen. Aikaa annetaan noin 5 minuuttia. Tämän jälkeen alkaa ideakävely. Kukin kirjoittaa lähtien omista ideoistaan ideansa seinille kiinnitetyille papereille (kuva 2.15). Paperille saa kerralla kirjoittaa vain yhden idean. Jäsenet kulkevat seinätaululta toiselle, lukevat toistensa ideoita, jatkavat niitä ja lisäävät täysin uusia ideoita, mutta vain yhden kerrallaan. Keskustelu ei ole sallittua. Menetelmää kehitettäessä huomattiin, että liikkuminen ideoinnin aikana lisäsi oleellisesti ideointinopeutta. Samoin todettiin, että suomalaiset esittivät viljejä ideoita vapaammin paperilla kuin ääneen. Näin ei välittömästä arvostelusta ole pelkoa, varsinkaan kun puhuminen ei ole sallittua. Ideointivaihe kestää noin 20 minuuttia.



Kuva 2.15 Ideakävelyllä kirjoitetaan ideoita seinätauluille, luetaan toisten ideoita, jatketaan ja muunnellaan niitä.

Valinta

Ideoinnin päätyttyä ohjaaja pyytää osallistujia merkitsemään ne ideat, joissa tuntuisi intuitiivisesti olevan eniten ratkaisupotentiaalia. Omia ideoita saa merkitä korkeintaan kolme. Merkitsemisen jälkeen ohjaaja pyytää osallistujia valitsemaan edellä merkityistä ideoista kolme kunkin mielestä parhainta ideaa. Nyt omia saa merkitä korkeintaan yhden. Merkitsemisen jälkeen jokainen perustelee omat kolme parhaimmaksi valitsemaansa ideaa. Tämän jälkeen pidetään tauko, joka kestää noin 20 minuuttia. Tauon aikana asiakas valitsee 1–3 omasta mielestään parhainta ideaa aikaisemmin merkittyjen ja perusteltujen joukosta.

Ideoiden jatkokäsittely

Asiakkaan valitsemia ratkaisuehdotuksia kehitellään edelleen synektiikkaa muistuttavaan tapaan. Ensiksi asiakas muodostaa ideasta mielikuvan, jolla idea toteutettaisiin käytännössä. Tulos piirretään tai kirjoitetaan seinälle niin, että kaikki näkevät sen. Tämän jälkeen ohjaaja kysyy asiakkaalta: “Mikä on mielestäsi suurin vaikeus ratkaisun toteuttamiseksi?” Jos ei asiakkaan, eikä muidenkaan mielestä ratkaisuun sisälly mitään vaikeuksia, niin ratkaisu on valmis ja käyttökelpoinen. Tavallisesti näin ei kuitenkaan käy, vaan ratkaisuun sisältyy ongelmia. Asiakas valitsee niistä hankalimman ja pyytää ratkaisua ongelmaan muodossa: “Miten olisi mahdollista saada...”

Ryhmä etsii ideoita tähän aliongelmaan jälleen kaksivaiheisesti. Ensin kukin ideoi 3–4 minuuttia omalle paperilleen. Tämän jälkeen jokainen kertoo ääneen yhden idean ja ohjaaja kirjoittaa ideat seinätaululle. Ideoiden kirjoittamista jatketaan pari kierrosta niin, että saadaan 10–15 ehdotusta.

Asiakas valitsee tunneperäisesti muutaman parhaimmalta tuntuvan ehdotuksen ja yrittää parantaa näiden avulla aikaisempaa ratkaisumielikuvaansa. Jatko on edellisen toistoa. Ohjaaja kysyy, mikä on nyt suurin vaikeus ratkaisun toteuttamisessa. Asiakas kertoo ja pyytää miten -kysymyksellä ratkaisuideoita. Näin kehittäminen jatkuu, kunnes ratkaisu tuntuu hyvältä.

Ratkaisun löydyttyä, pidetään lyhyt, noin kymmenen minuutin elpymistauko. Tämän jälkeen siirrytään seuraavaan asiakkaan valitsemaan, ideakävelyllä saatuun ideaan. Jälleen asiakas muodostaa ideasta ratkaisumielikuvan, joka kirjoitetaan seinätaululle.

Asiakas kertoo pahimmalta tuntuvan vaikeuden ja pyytää ratkaisuiideoita ja niin edelleen.

Ideoiden kehittämisessä tulee noudattaa seuraavia periaatteita:

- Asiakas ei saa joutua tilanteeseen, jossa hänen pitäisi sanoa, onko jokin idea hyvä tai huono. Asiakkaalle tulee antaa joukko vaihtoehtoja, joista hän voi valita. Arvostelutilanne siis pyritään muuttamaan valintatilanteeksi.
- Asiakkaan ei tarvitse puolustella valitsemiaan ratkaisumahdollisuuksia. Ryhmän jäsenet eivät saa arvostella keskeneräistä kehitelmää, vaan asiakas suorittaa arvioinnin.
- Kuten aivoriihessä, idearikasta ilmapiiriä ei saa tukahduttaa arvostelulla. Tämän takia varjopuoliin pyydetään parannusehdotuksia muodossa “miten olisi mahdollista”.

Arviointi

Tuumatalkoiden viimeisenä vaiheena asiakas arvioi löydettyjen ratkaisumallien käyttökelpoisuuden. Arviointi voidaan tehdä esimerkiksi seuraavan taulukon tapaan antamalla arvio (asteikolla 0...100 %) ratkaisun uutuudesta, viehättävyydestä ja toimivuudesta.

Taulukko 2.2 Ratkaisun käyttökelpoisuuden arviointi.

Uutuus						X					
Viehättävyys				X							
Toimivuus					X						
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100 %

Arvioinnin tuloksesta voidaan tehdä seuraavanlaisia johtopäätöksiä:

- Alhainen uutuusarvo merkitsee usein, että asiakas on valinnut jatkokehittelyyn vanhan idean. Korkea uutuusarvo taas merkitsee uutta, rohkeaa ideaa.
- Viehättävyys kertoo ratkaisun selkeydestä ja yksinkertaisuudesta. Korkea viehättävyysarvio merkitsee selkeää ratkaisua. Jos arvio on alhainen, tulee miettiä, miten ratkaisusta saataisiin yksinkertaisempi ja samalla halvempi.

- Toimivuus kertoo, miten pitkälle idean kehittäminen on edennyt. Alhainen toimivuusarvio merkitsee, että kehittäminen on keskeneräinen tai että tiedot ovat loppuneet kesken istunnon.

14. Kuunteleminen

Jos ideoinnissa joudutaan väittelytilanteeseen, ei ideoita synny. Ideoinnissa on erittäin tärkeää, että jokainen kuuntelee toisia ryhmän jäseniä ja hyväksyy toisten mielipiteet. Sanoman perillemeno ei kuitenkaan riipu vain meistä itsestämme vaan myös sanoman vastaanottajasta. Viestintä on aina kaksisuuntaista. Tavanomainen viestintämuoto on puhuminen. Useat asiat täydentävät tai muuttavat puheeseen sisältyvien sanojen merkitystä. Suomen kielessä on 20.000 sanaa. Näistä 400–500 sanalla on täsmällinen merkitys. Muiden sanojen merkitys riippuu yhteydestä, missä niitä käytetään.

Puhetta täydentävää, sanatonta viestintää ovat:

- Ilmeet, eleet, liikkeet ja äänensävy, jotka vaikuttavat sanallisen sanoman tulkintaan. Tutkimusten mukaan viestistä välittyy sanojen avulla vain 7 %, äänensävyn perusteella 33 % ja kasvojen ilmeiden ja eleiden avulla 55 %. Optiset havainnot kulkevat aina akustisten havaintojen edellä.
- Elimistön reagointi. Punastuminen, kalpeneminen, vapina ja silmäterien laajeneminen kertovat puhujan ja kuuntelijan tuntemuksista.
- Esineet, joita ihminen on valinnut esimerkiksi työhuoneeseensa tai joita hän kantaa mukanaan. Tähän kuuluvat pukeutuminen, korut, piiput, kynät, lompakot, jne.
- Vuorovaikutus, jolla kerrotaan omasta itsestä suhteessa kanssaihmiisiin. Tällaista viestintää tapahtuu esimerkiksi valittaessa paikkaa työpaikkaruokalassa, istuinpaikkaa koulutustilaisuudessa taikka puhujapaikkaa esitelmätilaisuudessa.
- Toiminta. Ihmisen toiminta, suoritukset ja sen laatu (esimerkiksi raporttien tekotapa) kertovat ihmisestä.

Tutkimusten mukaan olemme toistemme kanssa vuorovaikutussuhteessa noin 80 % hereillä oloajasta. Tästä ajasta kuluu noin 45 % kuuntelemiseen. Työelämässä pidetään kuuntelemista usein vaikeasti hallittavana johtajan taitona.

Me siis käytämme kuuntelemista paljon, mutta eri kommunikointitavoista sitä opiskelaan kaikkein vähiten, kuten seuraava taulukko osoittaa.

Taulukko 2.3 Eri kommunikoimismuotojen käyttö ja oppiminen.

	Kuunteleminen	Puhuminen	Lukeminen	Kirjoittaminen
Oppimisjärjestys	1	2	3	4
Käytetään	45%	30%	16%	9%
Opetetaan	vähiten ←	-----	-----	→ eniten

Tehokkaan kuuntelemisen esteitä

Testeillä on voitu osoittaa, että tavallinen kuuntelija kuulee, ymmärtää ja muistaa vain puolet kymmenen minuutin puheesta. Parin vuorokauden kuluessa tästäkin unohtuu puolet. Näin ollen käsitämme ja muistamme yleensä neljänneksen puhutusta.

Tavallisimpia syitä, jotka häiritsevät tehokasta kuuntelemista ovat:

1. **Fyysiset tekijät**, kuten väsymys, nälkä, sopimaton lämpötila, liian voimakas melu ja näköesteet. Myös **ajatuksen nopeus** estää tehokasta kuuntelemista. Tavanomainen puhenopeus on 100 sanaa minuutissa. Hyvä kuuntelija pystyy kuulemaan ja tajuamaan 500, jopa 1 000 sanaa minuutissa. Kuulijalle jää näin ollen hyvää aikaa antaa ajatuksensa harhailla muissa asioissa.
2. **Tunnetila**, kuten murheet ja tunteet.
3. **Kulttuuritausta**. Eri kulttuureissa viestintätavat ja sanattomat viestinnät eroavat toisistaan.
4. **Tunteenomaisen kannanotto**. *Carl Rogers* on tutkimuksissaan päätenyt tulokseen, että pahin viestin perillemenon este on se, että ihmiset ottavat tunteenomaisesti kantaa liian aikaisessa vaiheessa.
5. **Väärinkäsitykset ja väritykset**. Puhuja ja kuuntelija eivät pidä samoja asioita tärkeinä. Asiat ymmärretään eri tavoilla. Ihmiset käyttävät sanoja eri tavalla. Esimerkiksi sanasta tasa-arvo, demokratia tai vihreä liike tulee eri ihmisille erilainen mielikuva.

6. **Puolikypsän ajatuksen haittapuolien korostaminen.** Ajatukset eivät synny valmiina. Hyvilläkin ajatuksilla on haittapuolensa. Korostamalla puolikypsän ajatuksen haittapuolia ja väheksymällä tai unohtamalla edut saadaan hyväkin ajatus tuntumaan kelvottomalta.
7. **Ennakkoasenne.** Ihmiset yleensä kuuntelevat myönteisesti omia käsityksiään tukevia viestejä ja päinvastoin. Jos puhuja ei ole tunnettu tai hän on nuori ja kokematon, niin kuulijat eivät odota hänen sanovan mitään merkityksellistä. Tällöin ollaan taipuvaisia kuuntelemaan puhujaa negatiivisesti. Puhujan arvostaminen ja aktiivinen kuuntelu liittyvät kiinteästi toisiinsa.

Tehokkaan kuuntelemisen ohjeita

Tavallisesti kuuntelemisessa käy seuraavalla tavalla. Puhuja aloittaa puheensa ja johdattelee asiaan. Kuulija on virkeä ja hänen tarkkaavaisuutensa on suuri. Hetken kuluttua kuulija saa johdattelusta jotakin hyödyllistä asiaa mieleensä ja alkaa muotoilla omaa sanottavaansa sekä miettii myös muita asioita. Hänen tarkkaavaisuutensa on huono. Tänä aikana puhuja on edennyt puheensa tärkeimpään kohtaan. Tärkein asia menee kuitenkin kuulijan ohi, sillä kuulija miettii muita asioita. Kun puhuja hetken kuluttua viimeistelee ja lopettelee sanomaansa, kuulijan tarkkaavaisuus on jälleen herännyt ja hän etsii tilaisuutta sanoa oman sanottavansa.

Tämän tilanteen estämiseksi puhujan tulee sanoa ensiksi sanomansa ydin, toiseksi kertoa asiansa tausta ja perustelut ja lopuksi kerrata uudestaan sanoman ydin. Tätä samaa menettelyä käytetään sanomalehtien ja television uutisissa.

Seuraavassa on lueteltu joukko sääntöjä, jotka tehostavat kuuntelua.

1. **Päätä kuunnella** ja keskitä huomiosi puhujaan.
2. **Käytä ns. sisään-ulos -kuuntelutekniikkaa:** kirjoita mielenjuolahduksistasi vain yksi viitesana paperille. Kirjoittamisen ajan et pysty seuraamaan puhujaa, mutta jos kirjoitat vain yhden sanan, on tarkkaavaisuutesi alhainen ainoastaan lyhyen ajan. Myöhemmin viitesana riittää palauttamaan mielenjuolahduksesi mieleen ja voit esittää oman käsityksesi tai kysyä puhujalta lisää.
3. **Älä ota heti kantaa.** Syvenny ensin siihen, mitä puhuja todella tarkoittaa. Arvioi vasta, kun olet ymmärtänyt sanoman.

4. Etsi mielipiteistä **ensin hyvät puolet ja vasta sitten huonot puolet**.
5. Etsi mielipiteistä ja kokemuksista **asia epäasian alta**. Tutki sisältöä äläkä takerru esitystavan puutteisiin ja värityksiin.
6. Etsi asian **kiinnostava puoli** ja hae käyttökelpoisia näkökohtia, vaikkeet kaikkea sellaisenaan hyväksyisikään.
7. **Ole ennakkoluuloton**. Älä takerru tunneperäisiin ilmaisuihin.
8. **Älä pelkää muuttaa mielipidettäsi**.

Tietojen hankintaa ja aktiivista kuuntelemista voi tehostaa kysymyksillä. Kysymysten muotoiluun kannattaa kiinnittää huomiota. Kysymysten tulisi olla suoria ja avoimia, sillä niillä saa enemmän tietoa kuin epäsuorilla ja johdattelevilla kysymyksillä.

Kysymykset “Eikö tämä pitäisi maalata punaiseksi?” ja “Minusta tuo työ näyttää vaikealta, eikö niin?” ovat johdattelevia. Niihin sisältyy vihje, miten vastaajan odotetaan vastaavan. Vastaus on helposti odotusten mukainen, eikä kysyjä saa selville vastaajan todellista mielipidettä.

Keskustelussa kuuntelemisen ja kysymysten tulee vuorotella luontevasti. Aktiivinen kuuntelija:

1. Tekee kysymyksiä selventääkseen ja täsmentääkseen asiaa.
2. “Tarkoititko, että...”. Ilmaisee puhujan keskeiset ajatukset toisin sanoin.
3. Antaa palautteen. Vastaa tavalla, joka ilmaisee, miten paljon hän on ymmärtänyt asiasta. Antaa palautteen myös ilmein ja elein.

Lopuksi on hyvä muistaa erään kahdeksanvuotiaan mielipide: “Puhuminen on ihan hyvä asia, muttei tarvitsisi olla koko ajan äänessä niin kuin aikuiset”.

15. Fysikaalisen ilmiön systemaattinen analysointi

Tekniselle ongelmalle voidaan hyvin usein laatia yhtälö tai yhtälöryhmä. Tällöin erilaisia ratkaisumahdollisuuksia voidaan johtaa ratkaisemalla yhtälö tutkittavan ominaisuuden suhteen ja pitämällä muita paitsi yhtä muuttujaa vuoron perään vakiona. Esimerkiksi etsitään suureen y toteuttamiseksi ratkaisuja ja y riippuu muuttujista u , v ja w :

$$y = f(u, v, w) \quad (2.1)$$

Tällöin etsitään teknistä toteuttamismahdollisuutta funktioille

$$y_1 = f(u, \underline{v}, \underline{w}) \quad (2.2)$$

$$y_2 = f(\underline{u}, v, \underline{w}) \quad (2.3)$$

$$y_3 = f(\underline{u}, \underline{v}, w) \quad (2.4)$$

joissa alleviivatut suureet ovat vakioita.

Eräs yksinkertainen esimerkki on vastusmittarin kehittäminen. Määritelmänsä mukaan vastuksen resistanssi on

$$R = \frac{U}{I}$$

missä I on vastuksen läpi menevä virta, kun sen yli on kytketty jännite U . Yhtälön mukaan vastusmittari voidaan tehdä kahdella periaatteella:

1. Mittalaite synnyttää vakiojännitteen, joka kytketään vastuksen yli. Mitataan syntyvä virta ja laaditaan asteikko, joka osoittaa suhteen U/I .
2. Mittalaite synnyttää mitattavaan vastukseen vakiovirran. Mitataan jännite vastuksen yli ja laaditaan asteikko U/I .

Vastusmittareissa yleensä käytetään ensimmäisenä esitettyä periaatetta, mutta myös toisena esitetty periaate on käytössä. Resistanssi voidaan mitata myös siltaperiaatteella. Siltamittareiden ratkaisumahdollisuuksia voidaan ideoida analysoimalla siltakytkentöjen tasapainoehtoja.

Fysikaalisen ilmiön systemaattinen analysointi kuuluu diskursiivisiin ideointimenetelmiin. Toinen diskursiivinen menetelmä, ns. morfologinen analyysi, käsitellään seuraavassa kappaleessa.

2.3.4 Osatoimintojen ratkaisujen yhdistäminen

Kun jokaiselle osatoiminnolle on löydetty joukko ratkaisumahdollisuuksia, arvostellaan ratkaisut käyttäen kriteereinä asetettuja tavoitteita ja vaatimuksia. Arvostelussa karsitaan huonot vaihtoehdot pois ja jäljelle jää parhaimmat. Arvostelumenetelmiä käsitellään yksityiskohtaisemmin kappaleessa 2.3.6.

Osatoimintojen ratkaisujen karsinnan jälkeen etsitään kokonaistoiminnon ratkaisumahdollisuuksia yhdistelemällä osatoimintojen ratkaisuja. Yhdistämisessä voidaan käyttää apuna ns. *morfologista analyysiä*.

Morfologisen analyysin kehittäjä on *F. Zwicky* (1971). Sen **työvaiheet ovat seuraavat**:

- **Osatoiminnot ja niiden ratkaisumahdollisuudet** järjestetään **matriisiksi**, taulukon 2.4 mukaisesti. Matriisin kullakin rivillä on esitetty kyseisen toiminnon ratkaisut. Matriisista tulee tavallisesti epätäydellinen, koska ratkaisuja ei jää karsinnan jälkeen kaikille toiminnoille samaa määrää.
- **Kokonaistoiminnon ratkaisut** etsitään **kombinoimalla osatoimintojen ratkaisuja** kaikilla mahdollisilla tavoilla. Jos toiminnon 1 ratkaisuja on m_1 kappaletta, toiminnan 2 ratkaisuja m_2 kappaletta jne., saadaan kokonaistoiminnolle matemaattisesti

$$Z = m_1 m_2 \dots m_n$$

ratkaisua.

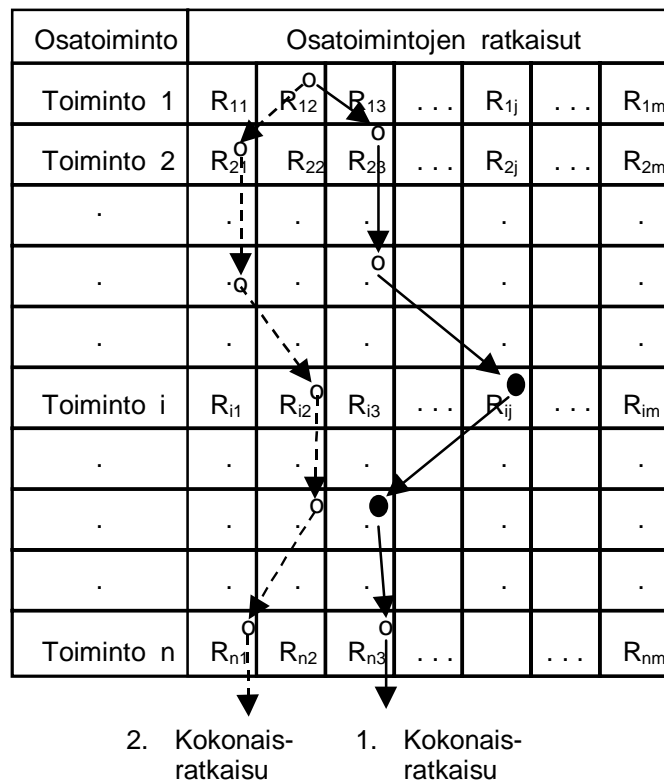
Jos osatoimintoja ja niiden ratkaisuja on paljon, tulee kokonaistoiminnon ratkaisukombinaatioita hyvin suuri määrä. Esimerkiksi jos osatoimintoja on seitsemän ja näille jokaiselle on löydetty neljä käyttökelpoista ratkaisua, on kokonaistoiminnon ratkaisuja $Z = m^n = 4^7 = 16384$ kappaletta, joista vain murto-osa on mielekäs. Morfologisen analyysin pääongelma onkin, miten löytää helposti mielekkäät osatoimintojen yhdistelmät.

Analyysi yksinkertaistuu, jos

- kunkin osatoimintojen ratkaisut arvostellaan huolellisesti ja jatkoon hyväksytään rajoitettu määrä hyviä ratkaisuja,

- osatoiminnot kirjoitetaan matriisiin ensimmäiseen sarakkeeseen siinä järjestyksessä, mikä on niiden keskinäinen riippuvuus,
- osatoimintojen ratkaisut esitetään periaatepiirroksella ja lyhyillä tärkeimpiä ominaisuuksia kuvaavilla sanoilla,
- yhdistettäessä osaratkaisuja otetaan huomioon vain ne, jotka ovat mielekkäitä ja toteuttavat vaatimuslistan.

Taulukko 2.4 Morfologisen analyysin matriisi.



Saaduilla osatoimintojen kombinaatioilla on yleensä suhteellisen alhainen konkreettisuusaste. Osatoimintojen yhteydet ovat lähinnä kvalitatiivisesti nähtävissä. Tässä vaiheessa voidaan kuitenkin suorittaa karsintaa arvioimalla yhdistelmien hyviä ja huonoja puolia ja jättämällä jatkokäsittelystä pois ratkaisut, jotka selvästi eivät täytä tavoitteita. Tarkemman teknistaloudellisen arvostelun suorittamiseksi on jäljelle jääneet **kokonaistoiminnon ratkaisuperiaatteet** kehitettävä konkreettisemmiksi **ratkaisuluonnoksiksi**.

2.3.5 Ratkaisuluonnos

Kehitettäessä löydettyjä ratkaisuperiaatteita edelleen ratkaisuluonnoksiksi suunnittelu-työ muuttuu aikaisempaa laskennallisemmaksi ja kokeita sisältävämmäksi. Tavallisesti käydään läpi seuraavia **työvaiheita ja tehtäviä**:

Tehdään **suuntaa-antavia laskuja** yksinkertaistavia olettamuksia käyttäen.

- Etsitään ratkaisuille pätevät **matemaattiset lainalaisuudet**, joilla voidaan selvittää ratkaisujen staattiset ja dynaamiset ominaisuudet, esim. siirtofunktion avulla.
- Laaditaan **luonnoksia**, usein **karkeassa mittakaavassa** ja määritetään likimääräinen tilantarve, paino, mahdolliset muodot jne.
- Tehdään **esikokeita** perusominaisuuksien määrittämiseksi ja likimääräisten kvantitatiivisten suoritusarvojen selvittämiseksi.
- Etsitään **analogiamalleja**, joilla voidaan laskea tai simuloida ratkaisuperiaatteita ja täten varmistua ratkaisujen tärkeimpien ominaisuuksien paikkansapitävyydestä.
- Tehdään ideoita koskeva **patentti- ja kirjallisuustutkimus**.
- Selvitetään valmistusteknologiaa, raaka-ainevaihtoehtoja, alihankintamahdollisuuksia jne.

Ratkaisuperiaatteita konkretisoidaan niin pitkälle, että niiden hyvät ja huonot puolet ovat riittävän luotettavasti laskettavissa ja arvioitavissa sekä teknisesti että taloudellisesti. Tämän jälkeen ratkaisuluonnokset arvostellaan seuraavassa kappaleessa esitettyjä periaatteita noudattaen.

2.3.6 Ideoiden arvostelu

Ideoiden arvostelu on usein vaikea tehtävä. Arvostelun perusvaikeutena on se, että on hyvin vaikea ottaa huomioon monia eri arvosteluperiaatteita, joita ei voida mitata samalla mittayksiköllä, esim. rahalla. Toiseksi arvosteluun liittyy aina epävarmuus. Koskaan ei varmuudella tiedetä ratkaisun onnistuneisuutta, ennen kuin idea on toteutettu. Myöskään ei tiedetä, onko kaikki lopputulokseen vaikuttavat näkökohdat osattu ottaa arvostelussa huomioon. Epävarmuutta voi vähentää ottamalla arvosteluun mukaan

useampia henkilöitä, tai ennen lopullisen ratkaisun tekemistä kehittämällä parhaita ideoita eteenpäin esimerkiksi pienoismittakaavassa.

1. Karkea arvostelu

Ideoiden ensimmäinen arvostelu ja karsiminen tapahtuvat **karkeana arvosteluna**, jossa käyttäen tervettä järkeä hylätään ehdottomasti sopimattomat ratkaisut. Tässä yhteydessä voidaan käyttää apuna Philips-yhtymän tutkimusjohtajan **H. Casimirin menetelmää**, missä käydään läpi seuraava tarkastelu (Casimir 1970):

- Paljonko idea täysin onnistuessaan tuottaisi?
- Paljonko idean toteuttaminen vähintään maksaisi?
- Näin optimisesti arvioitaessa vaaditaan, että tuotot peittävät “enemmän kuin runsaasti” kustannukset.

Vaatus “enemmän kuin runsaasti” on epämääräinen ja se ymmärretään eri tapauksissa eri lailla. Käytännössä on kuitenkin osoittautunut, että yleensä on selvää, miten “enemmän kuin runsaasti” tulee ymmärtää. Casimirin testi on yksinkertainen ja siinä tulee monikin idea hylätyksi.



Kuva 2.16 Ideoiden ensimmäinen karsinta tapahtuu käyttäen tervettä talonpoikaisjärkeä.

Jos ratkaisuvaihtoehtoja on runsaasti, on karkeassa arvostelussa hyötyä valintataulukosta (taulukko 2.5). Arvostelu tapahtuu kyllä - ei periaatteella. Taulukkoon on kirjoitettu tavanomaiset arvosteluperusteet. Niitä täydennetään ongelma- tai yrityskohtaisilla kriteereillä. Taulukon läpikäyminen karsii selvästi epäsovikat ratkaisuehdotukset.

Taulukko 2.5 Karkean arvostelun taulukko. Merkkien selitykset: Arvostelun tulos kyllä (+), ei (-), informaation puute (?), vaatimuslista tarkistettava (!). Tehty päätös: ratkaisua kehitetään edelleen (+), hylätään (-), hankitaan lisää informaatiota (?), vaatimuslista tarkistetaan (!).

Ratkaisuvaihtoehdot	Arvosteluperusteet							Huomautuksia (ohjeita, perusteluja)	Päätös
	A Vastaa tehtävän asetusta	B Täyttää vaatimuslistan	C Toteuttamiskelpoisuus hyvä	D Kustannukset kohtuulliset	E Täyttää välittömät turvallisuus vaatimukset	F Soveltuu omaan alaan	G Muuta		
1	+	+	+	?	+	+		D: Lukuisat anturit nostavat hintaa	?
2	+	-						B: Hyötysuhde liian pieni	-
3	+	+	+	+	+	+			+
4	-	-							-
5	+	!	+	+	+	+		B: Vaatimuslista tasapainoton ?	!
6	+	+	+	-					-
7	-	-							-
8	+	+	-						-
9	+	+	+	+	+	?		F: Tekninen tieto riittämätön ?	?
10	-	-							-
11	+	+	+	+	+				+
12	+	+	+	-					-

2. Painoarvotaulukko

Luonnostelun loppuvaiheessa, jolloin ratkaisuluonnoksista yksi, mahdollisesti kaksi, valitaan kehitettäväksi lopulliseksi tuotteeksi, arvostelu tapahtuu yksityiskohtaisemmin kuin edellä on esitetty. Arvostelussa selvitetään kunkin ratkaisun “hyvyys” aikaisemmin asetettuihin vaatimuksiin ja tavoitteisiin nähden.

Asetetut vaatimukset ja tavoitteet eroavat yleensä toisistaan huomattavasti, eräiden ollessa lopputuloksen kannalta hyvinkin tärkeitä ja toisten vähämerkityksellisiä. Tällöin on tarkoituksenmukaista **painottaa** kriteerit keskenään. Painot kuvaavat ominaisuuksien keskinäistä tärkeysjärjestystä. Ne valitaan usein niin, että niiden summa on yksi.

Painotuksen jälkeen ratkaisut **arvostellaan pisteillä** jokaisen vaatimuksen ja tavoitteen suhteen. Tarkoituksenmukaiseksi pisteasteikoksi on osoittautunut taulukon 2.6 mukainen asteikko, jossa ideaaliominaisuus saa 4 pistettä ja hylättävä ominaisuus 0 pistettä, muiden ollessa näiden välillä (VDI-2225).

Taulukko 2.6 Arvosteluasteikko.

Merkitys	Pisteet
erittäin hyvä (ideaalinen)	4
hyvä	3
riittävä	2
juuri hyväksyttävä	1
hylättävä	0

Taulukossa 2.7 on esitetty kaivosporan käyttömootoria koskevien ideoiden arvostelu. Tässä kuvitellussa tapauksessa tärkeimpinä ominaisuuksina on pidetty ylikuormituskykyä ja painoa, jolle on annettu painoarvokerroin 0,15. Näihin verrattuna asennuksen helppous, huollon määrä ja valmistushinta saavat painoarvon 0,10. Muut ominaisuudet on arvioitu painoarvolla 0,05. Seuraavaksi ratkaisuvaihtoehtojen ominaisuudet on arvosteltu keskenään käyttäen taulukon 2.6 arvosteluasteikkoa. Esimerkiksi vaihtoehdon 3 ylikuormituskyky on kaksi kertaa nimelliskuorma. Tätä pidetään riittävänä kaikissa

Taulukko 2.7 Ratkaisujen arvostelu painoarvotaulukolla. Heikot kohdat on kehystetty (□).

Arvostelukriteerio	Painoarvo	Ratkaisu 1			Ratkaisu 2			Ratkaisu 3		
		Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet	Ominaisuus	Pisteet	Painotetut pisteet
Ylikuormitettavuus	0,15	1,5	3	0,45	1,2	□2	0,30	4	0,60	
Hyötysuhde	0,05	0,80	□2	0,10	0,90	3	0,15	4	0,20	
Paino (kg / kW)	0,15	1,7	3	0,45	2,7	□2	0,30	4	0,60	
Osien lukumäärä	0,05	suuri	□1	0,05	pieni	3	0,15	□2	0,10	
Ergonomia	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	3	0,15	
Turvallisuus	0,05	hyvä	3	0,15	hyvä	3	0,15	4	0,20	
Valmistus	0,05	helppo	3	0,15	helppo	3	0,15	□1	0,05	
Asennus	0,10	vaikea	□1	0,10	helppo	3	0,30	□1	0,10	
Elinikä (vuosia)	0,05	7	□1	0,05	15	3	0,15	4	0,20	
Huollon määrä	0,10	kohtalainen	□2	0,20	pieni	3	0,30	3	0,30	
Valmistushinta	0,10	20.000	3	0,30	15.000	4	0,40	□1	0,10	
Kehityskustannukset	0,05	pienet	3	0,15	pienet	3	0,15	□2	0,10	
Toimitusaikariski	0,05	ei	4	0,20	ei	4	0,20	□2	0,10	
Yhteensä	1,0		32	2,50		39	2,85	35	2,80	

olosuhteissa ja täten ideaaliarvona ja siitä vaihtoehto 3 saa 4 pistettä eli painotettuna $0,15 \cdot 4 = 0,6$ pistettä. Näin jatketaan ja lopuksi lasketaan pisteet yhteen.

Pistesumma ei vielä varmuudella ilmoita vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Pistelas-kumenetelmissä on usein se vika, etteivät ne ota huomioon huonoja ominaisuuksia riittävän voimakkaasti. Yksikin huono ominaisuus saattaa aiheuttaa vaihtoehdon hylkäämisen, vaikka idea muussa suhteessa olisi hyvä. Tämä puoli on harkittava erikseen. Painoarvotaulukossa vaihtoehtojen heikot kohdat kehystetään. Erityisesti nolla pistettä ei saa tulla yhdellekään kiinteälle tai vähimmäisvaatimukselle.

Esimerkkitapauksessa ratkaisuvaihtoehto 1 sai pienimmän pistesumman, vaihtoehto 2 suurimman pistesumman ja vaihtoehto 3 tuli toiselle sijalle. Järjestys on sama sekä painottamattomilla että painotetuilla pistesummilla. Vaihtoehdossa 3 on eniten heikkoja kohtia. Ne keskittyvät valmistukseen, asennukseen ja näistä johtuviin kustannuksiin. Vastapainoksi tuotteella olisi tärkeimmiksi luokitellut ominaisuudet ylikuormitettavuus ja paino erittäin hyviä. Vaihtoehto 3 on näin ollen lupaava ja sen asennus- ja valmistustekniikkaa kannattaa kehittää edelleen. Oikea ratkaisu lienee se, että vaihtoehto 1 hylätään ja vaihtoehdot 2 ja 3 valitaan jatkoon. Lopullinen ratkaisu vaihtoehtojen 2 ja 3 välillä tehdään vasta, kun lisätietoa on saatu kehitettäessä ideoita edelleen.

Ideoita, joiden pistesumma on suurempi kuin 80 % maksimipistesummasta, voidaan pitää erittäin hyvinä. Jos arvostelukriteerit on painotettu niin, että painojen summa on yksi, on painotetun pistesumman suurin arvo 4. Tällöin erittäin hyvänä voidaan pitää ideaa, jonka painotettu pistesumma ylittää arvon $0,8 \cdot 4 = 3,2$. Idea on hyvä, jos sen pistesumma on suurempi kuin 70 % maksimiarvosta tai painotettuna yli 2,8 pistettä. Jos pistesumma on alle 60 % maksimiarvosta tai painotettuna alle 2,4 pistettä, on idea katsottava huonoksi ja sen toteuttaminen edellyttää vahvaa edelleen kehittämistä.

Edellä käsitellyssä esimerkissä arvostelukriteerien painotus ei muuttanut ratkaisuvaihtoehtojen paremmuusjärjestystä. Näin käy hyvin usein. Tästä syystä painotus voidaan usein jättää tekemättä. Parempi on kiinnittää huomiota toisiaan tasapainottaviin ominaisuuksiin ja pyrkiä mahdollisimman tasaiseen arvoprofiiliin.

Havainnollisen mielikuvan ratkaisun **arvoprofiilin** luonteesta, sen hyvistä ja huonoista puolista saa, kun arvostelutuloksen esittää graafisena murtoviivana. Taulukossa 2.8 on esitetty edellä olleen esimerkin (taulukko 2.7) ratkaisun 3 arvoprofiili graafisesti. Taulukosta nähdään, että arvoprofiili on epätasainen, mutta pisteiden keskiarvo hyvä. Näin ollen ratkaisun heikkoja kohtia kannattaa kehittää edelleen tavoitteena tasaisempi arvoprofiili.

Useasti arvosteluperusteina on myös kohtia, joita on vaikea arvostella pisteillä. Tällaisia ovat esimerkiksi palo- ja räjähdysturvallisuus, patenttitilanne jne. Nämä voidaan jättää arvostelutaulukosta pois ja ottaa huomioon tehtäessä lopullista päätöstä.

Taulukko 2.8 Arvostelun havainnollistaminen murtoviivalla

Arvostelukriteerio	Arvostelupisteet				
	0	1	2	3	4
Ylikuormitettavuus					x
Hyötysuhde					x
Paino (kg / kW)					x
Osien lukumäärä			x		
Ergonomia				x	
Turvallisuus					x
Valmistus		x			
Asennus		x			
Elinikä (vuosia)					x
Huollon määrä				x	
Valmistushinta (euroa)		x			
Kehityskustannukset			x		
Toimitusaikariski			x		
Keskiarvo = 2 , 8 0				x	

3. S-diagrammi

Kun ratkaisuvaihtoehtojen kehittäminen on edennyt riittävän pitkälle, voidaan vaihtoehtojen teknisistä ja taloudellisista ominaisuuksista laskea konkreettisia numeroarvoja. Näin on tilanne erityisesti silloin, kun tuotekehityshanke on edennyt kehittelyvaiheeseen, jota käsitellään yksityiskohtaisemmin kappaleessa 2.4. Tällöin on suositeltavaa laskea teknisistä ominaisuuksista **tekninen arvo** ja taloudellisista ominaisuuksista **taloudellinen arvo** ja verrata näitä toisiinsa ns. **s-diagrammin** avulla (VDI-2225).

Teknisen ja taloudellisen arvon laskemiseksi arvostelukriteerit jaetaan teknisiä ominaisuuksia ja valmistuskustannuksia käsittäviin kriteereihin. Taloudelliseen arvosteluun otetaan mukaan vain valmistuskustannukset. Tässä mielessä käsite taloudellinen on rajoitettu. Taloudellista hyötyä kuvaavat muut arvosteluperusteet kuten hyvä hyötysuhde, alhaiset käyttökustannukset, vähäinen huolto, pitkä elinikä jne. otetaan huomioon niin pitkälle kuin on mahdollista teknisissä ominaisuuksissa.

Ratkaisuvaihtoehdot arvostellaan painoarvotaulukkona pistein 0...4. Ratkaisun **tekninen arvo** on

$$x = \frac{g_1 p_1 + g_2 p_2 + \dots + g_n p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) p_{\max}} \quad (2.5)$$

missä p_1, p_2, \dots, p_n ovat teknisten ominaisuuksien saamat pisteet, g_1, g_2, \dots, g_n vastaavat painoarvot ja p_{\max} suurin pistearvo (tavallisesti $p_{\max} = 4$). Jos painoarvoja ei käytetä, on

$$x = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{n p_{\max}} = \frac{\bar{p}}{p_{\max}} \quad (2.6)$$

missä n on kriteerien lukumäärä ja \bar{p} arvostelupisteiden keskiarvo.

Esimerkki: Olkoon teknisiä kriteereitä viisi kappaletta ja erään ratkaisun arvostelutulokset järjestyksessä 3, 4, 2, 1 ja 3 pistettä. Pisteiden keskiarvo on

$$\bar{p} = \frac{3+4+2+1+3}{5} = 2,6$$

ja tekniseksi arvoksi saadaan

$$x = \frac{\bar{p}}{p_{\max}} = \frac{2,6}{4} = 0,65$$

Ratkaisu, jonka tekninen arvo on yli 0,8, on yleensä erittäin hyvä. Arvoa 0,7 pidetään hyvänä ja arvoa alle 0,6 epätydyttävänä. Ideaaliratkaisun tekninen arvo on $x = x_i = 1$.

Päinvastoin kuin teknisten ominaisuuksien arvostelussa kustannusten arvostelussa voidaan käyttää yhtä ainoata mittayksikköä, rahaa. **Taloudellinen arvo y** määritellään ratkaisuvaihtoehdon valmistushinnan ja kuvitellun ideaaliratkaisun valmistushinnan suhteeksi.

Ideaaliratkaisun valmistushinta lasketaan seuraavasti. Tuotteen myyntihinta M_H muodostuu valmistushinnasta V_H ja yrityksen hallinnosta, tuotekehitys- ja tutkimustoiminnosta johtuvista yleiskuluista, veroista ja laskennallisesta voitosta. Myyntihinnan ja valmistushinnan suhde tunnetaan yrityksissä ja se lasketaan kertoimena

$$\beta = \frac{M_H}{V_H} \quad (2.7)$$

Tuotteen markkinointi on helppoa, jos sen myyntihinta on markkinoiden halvimman tuotteen suuruinen. Näin ollen suurin sallittu valmistushinta saisi olla

$$V_{Hsall} = \frac{M_{Hmin}}{\beta} \quad (2.8)$$

missä M_{Hmin} on markkinoilla olevan vastaavan tuotteen halvin myyntihinta. M_{Hmin} selvitetään markkinatutkimuksella. Ideaaliratkaisun valmistushinnaksi V_{Hi} määritellään 70 % sallitusta valmistushinnasta eli

$$V_{Hi} = 0,7 V_{Hsall} \quad (2.9)$$

Tuotteen tai sen osan **valmistushinta** V_H muodostuu materiaali-, palkka- ja valmistuksen yleiskustannuksista. **Materiaalikustannuksiin** M lasketaan raaka-aineiden ostohinta sekä hankinnasta, kuljetuksesta, vastaanottokokeista, varastoinnista ym. johtuvat yleiskustannukset. Käytännössä materiaalien yleiskustannukset tunnetaan prosentuaalisena raaka-aineiden ostohinnasta.

Palkkakustannukset P muodostuvat työntekijöiden palkoista ja niihin liittyvistä sosiaali-, eläke- ja vakuutusmaksukuluista. Palkkamenoja laskettaessa on otettava huomioon kyseiseen tuotteeseen menneet kaikki työtunnit mukaan lukien työn edellyttämä kommunikointi ja henkilökohtaiset lepoajat.

Valmistuksen yleiskustannukset Y voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välittömiä kustannuksia ovat mm. energiakustannukset, työkalu- ja kunnossapitokustannukset sekä apputyökustannukset. Välittömät kustannukset ovat suoraan verrannollisia valmistettaviin määriin. Välillisiä kustannuksia syntyy tuotannon laajuudesta riippumatta. Näitä ovat mm. koneiden kuoletus- ja korkomenot, tehdastilojen vuokrat, lämmitys-, valaistus- ja siivouskustannukset.

Valmistushinta on materiaali-, palkka- ja yleiskustannusten summa

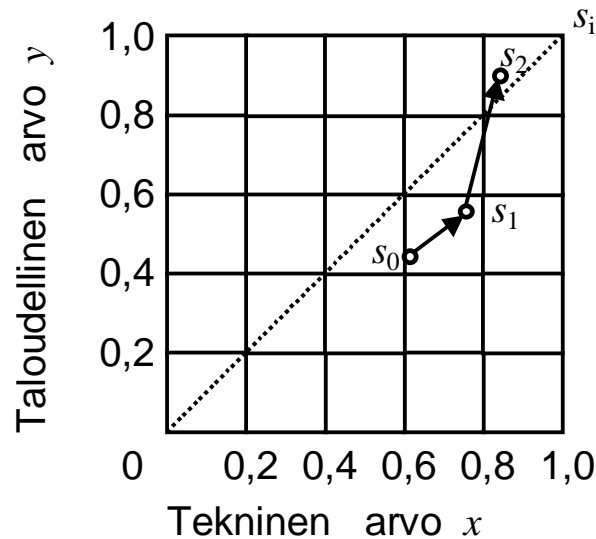
$$V_H = M + P + Y \quad (2.10)$$

Tuotteen tai sen osan **taloudellinen arvo** y on

$$y = \frac{V_{Hi}}{V_H} = \frac{0,7 V_{Hsall}}{V_H} = 0,7 \frac{M_{Hmin}}{\beta V_H} \quad (2.11)$$

Taloudellisen arvon $y = 0,7$ saavuttaminen merkitsee, että $V_H = V_{Hsall}$ ja tulosta voidaan pitää hyvänä, mutta tavoite tulisi olla korkeammalla. Alhaisen taloudellisen arvon voi kompensoida korkea tekninen arvo. Näin taloudellista ja teknistä arvoa ei voida käsitellä erillisinä, vaan ne vaikuttavat toisiinsa.

Konstruktion teknis-taloudellisen hyvyyden arvostelu tapahtuu havainnollisesti ns. **s-diagrammin** avulla, kuva 2.17. Diagrammin abskissana on tekninen arvo x ja ordinaattana taloudellinen arvo y . Ratkaisun hyvyyttä kuvaa piste s , jonka koordinaatit



Kuva 2.17 Ratkaisuvaihtoehtojen arvostelu s-diagrammin avulla.

x ja y määrittävät. Ideaaliratkaisulla s_i on $x = y = 1$. Origin ja pisteen s_i kautta kulkevaa suoraa (kuvassa 2.17 piirretty katkoviivana) kutsutaan **kehityssuoraksi**. Pisteen s siirtyessä lähemmäksi pistettä s_i ratkaisun hyvyys kasvaa.

Jos kyseessä on olemassa olevan konstruktion parantaminen, lasketaan myös vanhalle konstruktiolle tekninen ja taloudellinen arvo samoilla perusteilla kuin uusille konstruktiolle. Esimerkiksi kuvassa 2.17 vanhan konstruktion hyvyyttä kuvaa piste s_0 . Ensimmäinen uusi ratkaisuvaihtoehto on s_1 . Sen tekninen arvo on vanhaa selvästi parempi, mutta taloudellinen arvo ei ole paljoakaan parantunut. Kehitettäessä konstruktiota ja erityisesti sen valmistustekniikkaa saadaan taloudellista arvoa nostettua ja päädytään pisteeseen s_2 , joka on oleellisesti lähempänä ideaalipistettä s_i . Ratkaisu s_2 on ilman suurta riskiä viimeisteltävissä lopulliseksi valmistettavaksi tuotteeksi, sillä sen $x > 0,8$ ja $y > 0,8$.

2.3.7 Ratkaisun testaus

Ratkaisuvaihtoehtojen arvostelu antaa käytettyjen arvosteluperusteiden mukaisen paremmuusjärjestyksen. Päätös ei kuitenkaan ole itsestään selvästi sama kuin arvostelun tulos. Ennen päätöksen tekemistä on ratkaisu testattava kolmesta näkökulmasta (*Aaltonen* ym. 1978):

- haittavaikutusten kannalta,
- herkkyyden kannalta,
- potentiaalisten ongelmien kannalta.

Haittavaikutusanalyysissä käydään läpi käytetyt arvosteluperusteet ja harkitaan, voiko ehdotettu ratkaisu sisältää joitakin negatiivisia, mahdollisesti myös positiivisia seuramuksia, joita ei ole arvostelussa otettu lainkaan tai vain vähäisessä määrin huomioon. On myös mahdollista, että tehtävää on jouduttu alkuvaiheessa rajoittamaan ja kaikkea ei ole näin voitu arvostelussa ottaa huomioon. Haittavaikutusanalyysi on tärkeä erityisesti silloin, kun päätös ajatellaan perustuvan “pienimmän pahan valitsemiseen”.

Herkkyysanalyysissä selvitetään, miten herkästi ratkaisuehdotusten järjestys muuttuisi, jos arvostelupisteet tai painoarvot olisivat arvioitu toisin. Tällöin saadaan kuva arvostelupisteiden raja-arvoista, joiden välissä vaihtoehtojen järjestys ei muutu. Samoin tulevat ilmi tekijät, joiden ennusteista poikkeava toteutuminen vaikuttaa herkimmin edullisuusjärjestykseen. Herkkyysanalyysi on välttämätön, sillä arvostelun epävarmuustekijät ovat tavallisesti suuret. Erityisesti päätökset, jotka perustuvat yksinomaan vaihtoehtojen arvostelupisteiden pieneen eroon, ovat vaarallisia.

Potentiaalisten ongelmien analyysissä etsitään tekijöitä, jotka päätöksentekotilanteessa omaavat pienen esiintymistodennäköisyyden, mutta jotka olosuhteiden muuttuessa aiheuttavat sen, että tehty päätös muuttuu virheelliseksi. Potentiaalisten ongelmien kartoituksessa voidaan käyttää apuna:

- taloudellisia ennusteita,
- tekniikan kehittymisen ennusteita,
- poliittisten olojen muuttumisen ennusteita.

Potentiaaliset ongelmat voidaan pyrkiä ratkaisemaan vasta sitten, kun ne todella ilmenevät. Edullisempaa on kuitenkin varautua niihin etukäteen. Tällöin voidaan noudattaa seuraavia toimenpiteitä:

- Harkitaan, mitä potentiaalisia ongelmia ratkaisu aiheuttaa, jos kaikki ei toteudu niin kuin on kuviteltu.
- Pyritään varmistamaan, ettei ratkaisevaa muutosta kuviteltuun tilanteeseen pääse syntymään, eli pyritään estämään ongelmien syntyminen.
- Yritetään keksiä kuviteltavissa oleville huonoille tilanteille indikaattorit, jotka varoittavat tilanteen muuttumisesta riittävän ajoissa.
- Laaditaan toimintasuunnitelma potentiaalisten ongelmien varalta. Tavoitteena on saada potentiaalisten ongelmien vaikutukset mahdollisimman pieniksi.

On luonnollista, että ratkaisun testaus tulee suorittaa sitä huolellisemmin mitä laajalaisemmasta ja pitkävaikutteisemmasta ratkaisusta on kyse. Kun ratkaisuvaihtoehdot on arvosteltu ja testattu, päätös voidaan tehdä. Päätös voi olla myös, että tiedon tasoa on nostettava ja ratkaisuja tai muutamaa lupaavimpaa niistä tulee kehittää pidemmälle ennen lopullisen päätöksen tekemistä.

2.3.8 Hyväksyttäminen

Hyväksyttävien ideoista ei ole hyötyä, jos niitä ei toteuteta. Varsin harvoin idean keksijä pääsee päättämään idean toteuttamisesta. Idealle tulee saada esimiehen tai jonkin muun päättävän ryhmän hyväksyntä. Idean hyväksyttäminen on osa tuotekehitysprosessia. Hyväksyttäminen sisältää kaksi asiaa:

- Idean hyväksyttämistä niillä, joiden hyväksyminen on tarpeen asian toteuttamiseksi.
- Varmentumista siitä, että keksijä on itse vakuuttunut ideansa hyvydestä.

Uusia ideoita tavallisesti vastustetaan ja epäillään tunneperäisesti. Vastustusta aiheuttaa usein ns. ei-keksitty-täällä -ilmiö, joka voi johtua esimerkiksi kateudesta. Ihmiset tietävät ainakin alitajuisesti, että uudet ideat aiheuttavat vaivaa ja lisää töitä ja vastustavat myös näistä syistä niiden toteuttamista.

Vastustus ilmenee yleensä siten, että idean haittapuolia korostetaan ja hyviä puolia vähätellään.

Vaikka muutosten vastustaminen on usein tunneperäistä, on virhe yrittää vaikuttaa toisen tunteisiin tai vedota siihen, että toinen ei ajattele järkevästi vaan tunneperäisesti. On pyrittävä vaikuttamaan tosiasioilla.

Ideoiden hyväksyttämisen **pääperiaate** on, että **hyväksyjien tulee osallistua idean kehittelyyn, tutustua vaihtoehtoihin ja osallistua päätöksentekoon**. Päätöksentekoon osallistuminen on silloin tärkeää, kun idean toteutus tai muu hyväksymistä merkitsevä toimenpide tulee alaisen tai työtoverin tehtäväksi. Sanelutyypiset päätökset eivät ole koskaan hyviä.

Ideoita hyväksytettäessä tulisi noudattaa edellä esitetyn pääsäännön lisäksi seuraavia ohjeita:

- Vie ideasi käsittelyyn keskeneräisenä.
- Älä tyrkytä vain yhtä vaihtoehtoa.
- Vältä kyllä-ei vaihtoehtoja.
- Kuuntele hyväksyjän mielipiteitä ja ota opiksi hänen kokemuksistaan.
- Tuo tasapuolisesti esiin ideasi hyvät ja huonot puolet.
- Älä vähättele muiden havaitsemia vaikeuksia, vaan yritä saada niiden esittäjä keksimään selviytymistie.
- Esitä asiasi selkeästi ja havainnollisesti.
- Vältä toisarvoisia yksityiskohtia ja hienoja sanoja.
- Kerro muistakin vastaavista ratkaisuista ja muiden saamista kokemuksista.
- Anna muillekin tunnustus äläkä ahnehdi kaikkea kunniaa itsellesi.



Kuva 2.18 Idean hyväksyttäminen vaatii taitoa.

2.4 Kehittely

Luonnosteluvaihe päättyy ratkaisuluonnosten arvosteluun ja testaukseen sekä lopuksi lupaavimman luonnoksen valintaan, joka sitten päätetään suunnitella yksityiskohtia myöten lopulliseksi markkinoitavaksi tuotteeksi. Ratkaisuluonnokset ovat vielä periaatteellisia. Mittakaavaisia kokoonpano- ja osapiirustuksia ei ole laadittu. Kehittelyvaiheessa suunnitellaan tuotteen yksityiskohdat teknis-taloudellisten näkökohtien mukaan niin, että viimeistelyvaiheessa työpiirustukset ja osaluettelot ovat yksikäsitteisesti tehtävissä.

2.4.1 Kehittelyn työvaiheet

Kehittelyn työvaiheet on esitetty kulkukaaviona kuvassa 2.20. **Kehittely alkaa mittakaavaan laadittavan konstruktion tekemisellä.** Lähtökohdaksi on valittu ratkaisuluonnos. Aluksi on hyvä käydä vielä kerran läpi tuotteelle asetetut vaatimukset ja tavoitteet, joista selviää mm.:

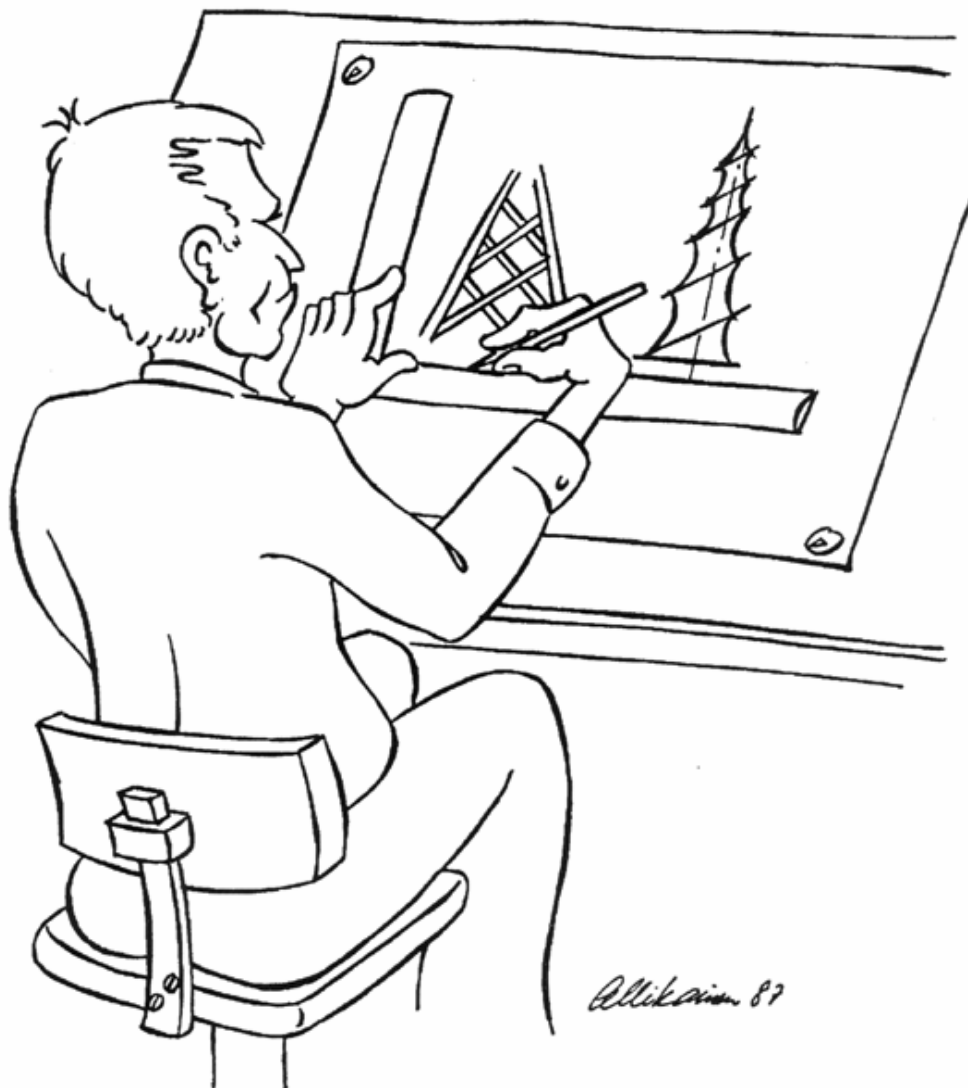
- mittavaatimukset kuten teho, jännite, liitäntämitat, ergonomiset mitat jne.,
- toiminnalliset vaatimukset kuten käyttöasento, laakerointitapa, liikesuunta, käyttötapa jne.,
- raaka-ainevaatimukset kuten korroosiokestävyys, jännitelujuus, hitsattavuus jne.

Suunnittelun tulos arvostellaan **teknisten ja taloudellisten kriteerien mukaan** laskeamalla tekninen ja taloudellinen arvo (kappale 2.3.6). Jos vastaava vanha tuote on olemassa, lasketaan myös vanhan tuotteen tekninen ja taloudellinen arvo. Uuden ja vanhan konstruktion vertailu tapahtuu parhaiten s-diagrammin avulla. Arvosteluvaihe tuo ilmi mahdolliset tekniset ja taloudelliset heikot kohdat, jotka pyritään seuraavassa vaiheessa poistamaan.

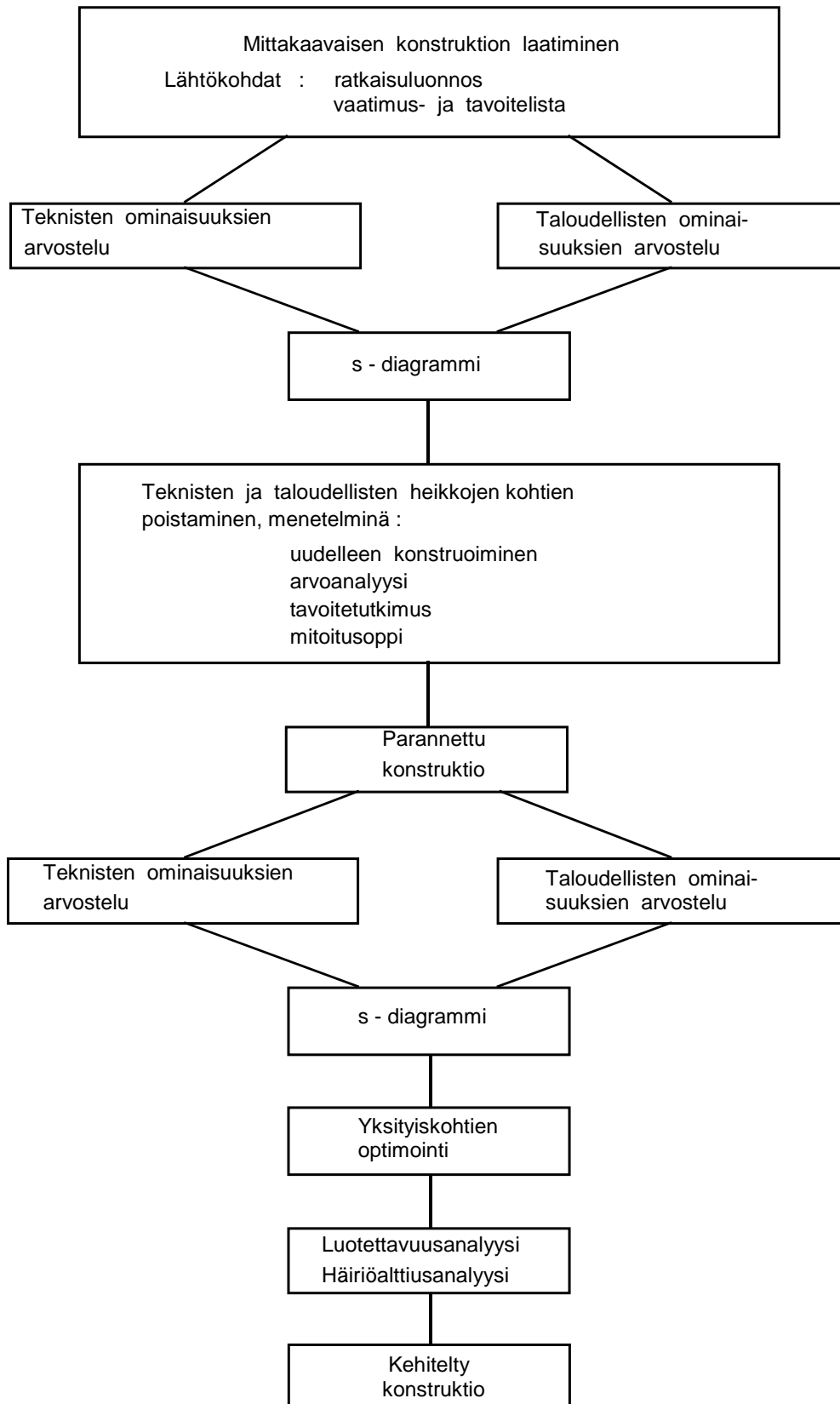
Heikkojen kohtien poistaminen tapahtuu ideoimalla uusia ratkaisumahdollisuuksia ja suunnittelemalla kyseiset kohdat uudestaan. Seuraavassa kappaleessa käsiteltävä **arvoanalyysi** on paljon käytetty menetelmä tässä vaiheessa. Mahdollisesti joudutaan käynnistämään tutkimushankkeita lisätiedon saamiseksi tai perehtymään teoriaan syvällisemmin ja luomaan uutta kyseistä ongelmaa koskevaa mitoitussoppia. Näin päädytään **parannettuun konstruktion**, jonka tekninen ja taloudellinen arvo määritetään. Tulosta verrataan aikaisempiin konstruktioihin s-diagrammilla. Jos tulos ei ole tyydyttävä, heikoille kohdille etsitään edelleen uusia ratkaisumahdollisuuksia. On myös mahdollista, että tilanne näyttää siinä määrin ratkeamattomalta, että päätetään hylätä valittu ratkaisuluonnos ja kehitystyön pohjaksi valitaan toinen ratkaisuluonnos. Kuvassa 2.20 ei kuitenkaan ole esitetty näitä kaikkia mahdollisia silmukoita, joita käytännössä saattaa esiintyä.

Kun heikkojen kohtien poistamiskierroksia voidaan joutua tekemään useita, on luonnollista, että konkretisointi tehdään vain niin pitkälle, kuin se on välttämätöntä teknis-taloudellista arvostelua varten. Kuitenkin on oleellista, että vertailtavien vaihtoehtojen

konkreettisuusaste on sama, jotta arvostelu olisi tasapuolinen ja oikea. Tässä vaiheessa suunnittelu on siis karkeaa. Kun konstruktion heikot kohdat on saatu riittävän hyvin poistetuksi, työ jatkuu **yksityiskohtien suunnittelulla**. Tällöin etsitään kohteita, joiden optimointi vielä oleellisesti saattaa parantaa konstruktion arvoa. Tähän vaiheeseen kuuluu myös järjestelmän **luotettavuus- ja häiriöalttiusanalyysi**. Optimointia ja luotettavuutta käsitellään myöhemmin omissa luvuissaan. Kehittelyvaihe päättyy **kehitetyn konstruktion** vahvistuspäätökseen.



Kuva 2.19 Kehittely alkaa mittakaavaan tehdyn konstruktion piirtämisellä.



Kuva 2.20 Kehittelyn työvaiheet.

2.4.2 Arvoanalyysi

Arvoanalyysi on tuotekehitystoiminnan eri vaiheissa laajasti käytetty työmuoto. Parhaiten sen käyttö kuitenkin soveltuu kehittelyvaiheeseen, jolloin etsitään vaihtoehtoisia ratkaisuja heikkojen kohtien poistamiseksi.

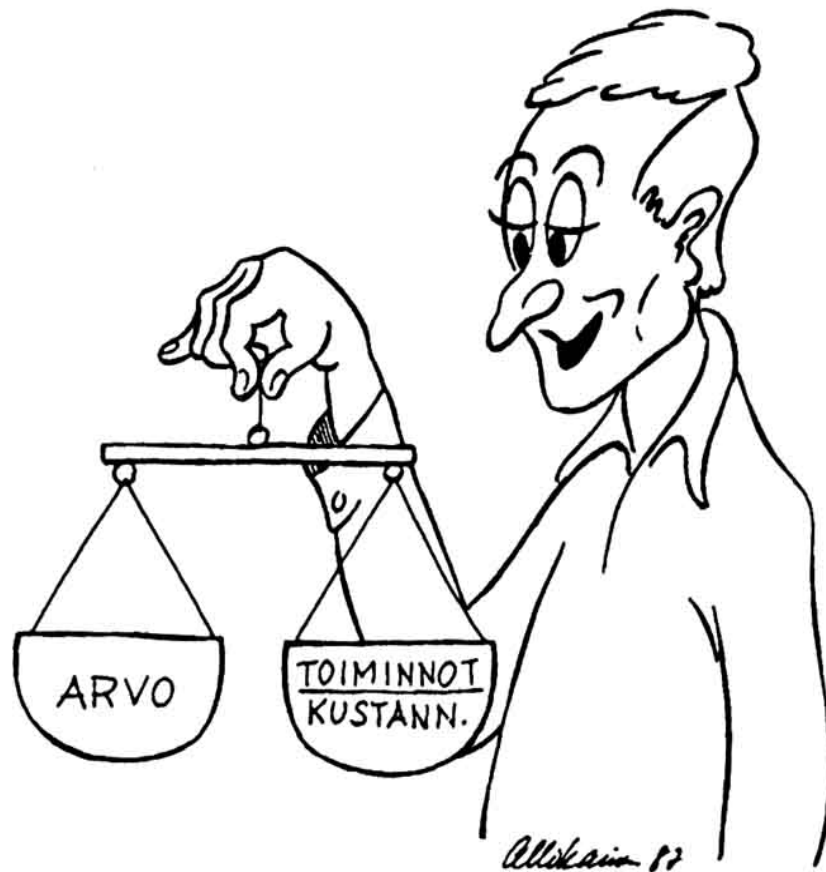
Arvoanalyysin on kehittänyt *Lawrance D. Miles* 1940-luvun lopussa General Electric Co:ssa Yhdysvalloissa. General Electric Co:ssa havaittiin sodan jälkeen, että monet korvikeaineet, joita olosuhteiden pakosta oli jouduttu sodan aikana ottamaan käyttöön, osoittautuivat hinnaltaan edullisiksi ja teknisesti tarkoituksenmukaisiksi. Milesin tehtäväksi tuli perehtyä tilanteeseen syvällisemmin ja hän kehitti systemaattisen menetelmän, jossa selvitetään, mitä mikin toiminto maksaa. Kustannusten jaottelu ei tapahdu tuotteen osien mukaan vaan toimintojen pohjalta. Jonkin ratkaisun arvo on sitä suurempi, mitä enemmän haluttuja toimintoja saadaan kustannuksiin verrattuna. Arvo määritellään suhteena

$$\text{Arvo} = \frac{\text{Toiminnot}}{\text{Kustannukset}} \quad (2. 12)$$

mistä seuraa, että

- kustannusten pienentäminen tai toimintojen parantaminen lisäävät tuotteen arvoa,
- kustannusten pienentäminen ja toimintojen samanaikainen parantaminen lisäävät arvoa vielä jyrkemmin.

Arvoanalyysi tapahtuu **ryhmätyönä**. Ryhmä kootaan oman erikoisalansa hyvin tuntevista henkilöistä, organisaation eri osastoilta. Tavoitteena on, että ryhmän asiantuntemus on laaja ja että ongelma näin tullaan käsittelemään monesta kustannuksiin vaikuttavasta näkökulmasta kuten suunnittelun, valmistuksen, myynnin, huollon jne. näkökulmasta. Työryhmän johtajana toimii koordinaattori, joka tuntee arvoanalyysin työvaiheet.



Kuva 2.21 Arvo = toiminnot / kustannukset.

Arvoanalyysi seuraa kiinteää työsuunnitelmaa, joka voidaan jakaa **seitsemään vaiheeseen**:

1. asiatietojen hankinta,
2. tehtävän analysointi,
3. ratkaisuvaihtoehtojen ideointi,
4. ratkaisuvaihtoehtojen arvostelu,
5. suunnittelu,
6. toteutus,
7. valvonta.

Työvaiheet ovat suurelta osin samat kuin mitä yleensä ongelman ratkaisutekniikassa käytetään (vertaa luonnostelun työvaiheet).

Arvoanalyysi alkaa **asiatietojen hankinnalla**. Jos kyseessä on tuotteen kehittäelyvaiheessa suoritettava arvoanalyysi, suurin osa taustatiedoista on olemassa. Arvoanalyysiin yleensä osallistuu asiantuntijoita, jotka eivät suoranaisesti ole olleet aikaisemmin kyseisessä tuotekehitystehtävässä mukana. Tällöin uusien jäsenten kokemus- ja tietomäärä edustaa jo sinänsä merkittävää lisätietoa.

Analyysissä etsitään tuotteen päätoiminto ja päätoiminnon toteuttamiseksi tarvittavat osatoiminnot. Toimintoajattelu on ominaista arvoanalyysille. Analyysivaiheella pyritään paljastamaan tuotteen heikkoudet, hyödyttömät tai vähäarvoiset toiminnot ja kalliit ratkaisut.

Ideoinnissa etsitään vaihtoehtoisia, aikaisempaa korkeamman arvon antavia ratkaisuja. Ideointimenetelmistä on käytetty eniten aivoriittä. Ideointi suunnataan analyysin antamien lähtökohtien mukaan.

Arvostelu tapahtuu erityyppisiä menetelmiä käyttäen (kappale 2.3.6), alkaen karkealla karsinnalla ja päätyen tarkempaan kustannuslaskentaan. Arvostelussa selvitetään, mitä maksaa kunkin toiminnon aikaansaaminen.

Arvostelussa 1–3 parhaimmaksi osoittautunutta ideaa kehitetään **suunnitteluvaiheessa** konkreettisemmaksi tuotteeksi. Ideoinnin tulokset eivät yleensä ole sellaisenaan toteutettavissa, vaan niitä on edelleen kehitettävä luonnoksia piirtämällä ja laskemalla sekä uusilla ideointikiirroksilla. Suunnitteluvaiheen lopussa laaditaan lopullinen päätösehdotus yrityksen johdon hyväksyttäväksi.

Suunnitteluvaihetta seuraa jossain määrin erillisinä toteutus ja valvonta. **Toteutusvaiheessa** koordinaattorin tehtävänä on seurata projektin edistymistä sekä kerätä tietoa ja kokemusta siitä, saavutetaanko suunnitellut säästöt ja toimintojen parannukset. Koordinaattori pitää myös arvoanalyysiryhmän ajan tasalla ja kutsuu tarvittaessa ryhmän koolle, mikäli ilmenee ongelmia, joissa ryhmän asiantuntemus on tarpeen. Toteutusvaiheelle laaditaan toimintasuunnitelma aikatauluineen. Kullekin työvaiheelle määrätään vastuuhenkilö, joka huolehtii, että työvaihe suoritetaan oikein ja aikataulun mukaisesti.

Toteutusvaiheeseen liittyy kiinteästi **valvonta**, jonka tarkoituksena on selvittää, miten projekti taloudellisesti, ajallisesti ja teknisesti on toteutunut sekä edelleen muokata saadut kokemukset ja tiedot projektin ohjausta varten.

Arvoanalyysi on pitkälle kehitetty menetelmäkokonaisuus. Lukuisiin maihin on perustettu yhteyttä ylläpitäviä yhdistyksiä. Mm. pohjoismaissa on yhteinen arvoanalyysiyhdistys ja Suomessa sen alaosasto. Arvoanalyysistä löytyy runsaasti koulutusaineistoa ja kirjallisuutta mm. *Heikkinen (1972)*.

2.5 Viimeistely

Viimeistelyksi kutsutaan työvaihetta, missä kehitellystä konstruktiosta tehdään työpöi-rustukset, työselitykset, asennus- ja käyttöohjeet ym., jotka tarvitaan tuotteen valmistamiseen ja käyttämiseen. Tässä vaiheessa päätetään lopullisesti käytettävistä raaka-aineista, valmistustavoista, toleransseista, pintakäsittelystä jne. Halvoista laitteista ja sarjavalmistukseen tulevista tuotteista tehdään prototyyppi ja nollasarja. Kalliista laitteista prototyyppiä ei ole mahdollista valmistaa, mutta tehtyjen ratkaisujen oikeellisuuden todentamiseksi viimeistelyvaiheessa tehdään pienoismalleja tai kriittisimmistä osista täysmittakaavaisia koekappaleita.

Viimeistely voidaan jakaa kuvan 2.22 mukaisiin työvaiheisiin. Ensimmäisen vaiheen muodostaa tuotteen **yksityiskohtien viimeistely**. Tällöin ratkaistaan, miten osat valmistetaan, ottaen huomioon markkinoilta saatavat tai omassa tuotannossa olevat standardiosat, käytettävissä olevat raaka-aineet ja työkoneet, tarvittavat ja saavutettavissa olevat toleranssit ja sovitteet jne. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan myös osien työpöi-rustukset.

Osista kootaan rakenneryhmät. Näitä varten laaditaan **kokoonpanokuvat** ja vastaavat osaluettelot. Rakenneryhmien muodostus riippuu tuotteesta, toivotusta osien valmistusjärjestyksestä ja -aikataulusta ja myös asennus- ja kuljetuskysymyksistä erityisesti silloin, kun tuote viedään osina käyttöpaikalle.

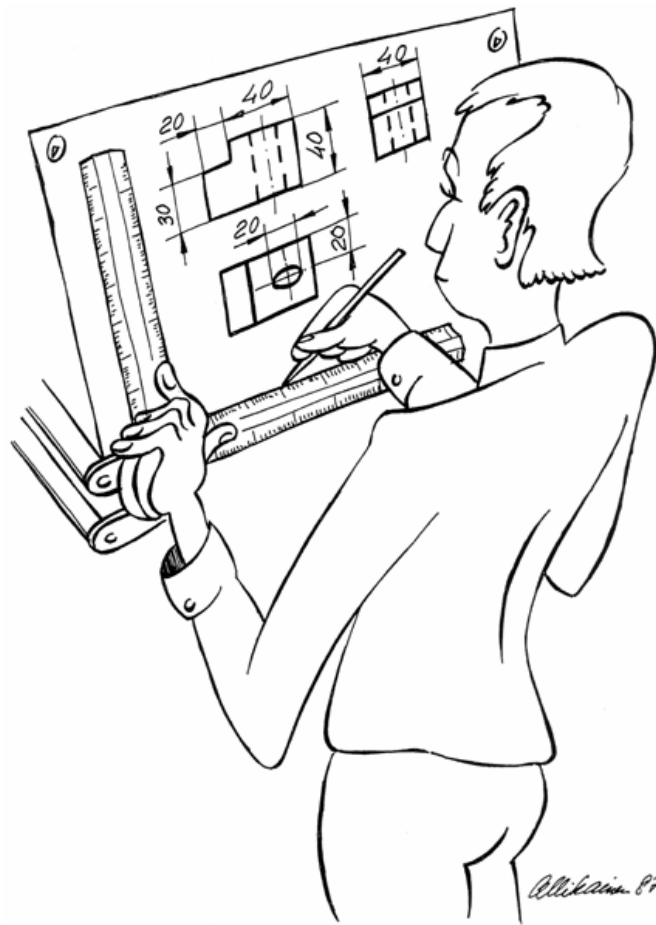
Osa- ja kokoonpanopiirustuksia täydentävät kirjalliset **työselitykset**, joissa selostetaan esimerkiksi käytettävä käämitysten kyllästysmenetelmä, metalliosien korroosiosuojaus, pintakäsittely jne. Viimeistelyssä laaditaan myös asennus-, kuljetus- ja käyttöohjeet.



Kuva 2.22 Viimeistelyn työvaiheet.

Ennen valmistuksen aloittamista on hyvin tärkeää, että **tarkistetaan** piirustusten, osaluetteloiden ja ohjeiden olevan

- standardien, erityisesti yrityksen omien työtapojen ja standardien mukaisia,
- yksikäsitteisiä ja valmistusystävällisiä,
- täydellisiä sisältäen tarvittavat erityisvalmistusohjeet ja että, niissä on otettu huomioon raaka-aineiden hankintanäkökohdat, esimerkiksi oman varaston normaaliaineet ja -komponentit.



Kuva 2.23 Viimeistely alkaa yksityiskohtien suunnittelulla ja työkuvienviimeistelyllä.

Jos tuotteesta valmistetaan **prototyyppi**, edellä olleita työvaiheita ei tehdä täydellisesti, vaan ne täydennetään ja tarkistetaan prototyypin testauksesta saatujen tietojen pohjalta. Prototyyppivaihe sisältää prototyypin suunnittelun, valmistuksen, testauksen sekä tulosten analysoinnin ja suunnitelmien tarkistamisen. Prototyyppi voidaan tehdä tuotteen teknisten ja taloudellisten ominaisuuksien selvittämiseksi ja/tai edullisimpien valmistusmenetelmien löytämiseksi. Vaikka prototyyppivaihe on kuvassa 2.22 sijoitettu viimeistelyn loppuun, ei näin käytännössä läheskään aina tapahdu. Tehtävästä riippuen prototyyppi voidaan valmistaa ennen varsinaisten työpiirustusten tekemistä. Prototyyppipejät saatetaan tehdä myös luonnosteluvaiheen yhteydessä.

Nollasarjan suunnittelun ja valmistuksen tarkoituksena on ennen kaikkea tutkia ja testata niitä valmistusmenetelmiä, joilla tuote on tarkoitus sarjavalmistuksessa tehdä.

Nollasarja antaa myös tietoa valmistuskustannuksista ja tuotteen teknisistä ominaisuuksista prototyypin tavoin. Massatuotannossa nollasarjassa valmistetaan yleensä muutamia satoja kappaleita. Jos tuotteen yksikköhinta on korkea, nollasarjan suuruus on muutamasta kappaleesta muutamaankymmeneen kappaleeseen.

Tuotannon alkaminen ei merkitse tuotekehitystyön täydellistä päättymistä. Jotta tuote eläisi kilpailukykyisenä mahdollisimman kauan, on sitä jatkuvasti kehitettävä. Tässä mielessä on tuotteen vioista, esiin tulevista käyttöhäiriöistä ja asiakkaiden valituksista pidettävä tilastoa. Nämä kokemustiedot ovat erittäin arvokkaita myös muita tuotekehitysprojekteja toteutettaessa.

2.6 Kirjallisuutta

AALTONEN, P., PIRJETÄ, M., UUSI-RAUVA, E. 1978. Päätöksenteon valmistelu SOR-tekniikalla. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, teollisuustalouden laboratorio, raportti 39. 75 s.

BONO, E. 1971, Uusi tapa oivaltaa. Porvoo, WSOY. 142 s.

BONO, E. 1973, Uusi tapa ajatella. Porvoo, WSOY.

CASIMIR, H. 1970. Esitelmä Teollisuuden tutkimus- ja kehitystoimintaneuvottelupäivillä Suomen teollisuusliiton kevätkokouksessa 22.5.1970. Teollisuusliitto Tiedottaa 1970: 3.

GORDON, W. 1961. Synectics. The development of creative capacity. New York, Evanston, London, Harper & Row. 180 s.

HEIKKILÄ-LAAKSO, K., HEIKKILÄ, J. 1997. Innovatiivisuutta etsimässä: irtiottoa keskinkertaisuudesta. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunta, julkaisusarja B, selosteita 57. 434 s.

HEIKKINEN, U. 1972. Arvoanalyysi. Tekniikan käsikirja, osa 7. 8. p. Jyväskylä, Gummerus. S. 105 - 136.

Idegen++ ideointiohjelma. 1996. Espoo, CAC-Research Oy.

NADLER, G. 1965. The one way to plan a system. Modern Material Handling 1965: July, s. 42 - 47.

NOLAN, V. 1991. The innovator's handbook. London, Sphere Books. 324 s.

PLSEK, P. 1997. Creativity, innovation and quality. Milwaukee, ASQC Quality Press. 316 s.

PRINCE, G. 1970. The practice of creativity. New York, Evanston, London, Harper & Row. 197 s.

ROBINSON, A. 1997. Corporate creativity: how innovation and improvement actually happen. San Francisco, Berret-Koehler. 276 s.

VDI-Richtlinien 2225-1984. Blatt 1, Technischwirtschaftliches Konstruieren. Düsseldorf, VDI-Verlag. 50 s.

VIRKKALA, V. 1994. Luova ongelmanratkaisu, 3. täydennetty painos, Helsinki, prof. Vilkkko Virkkala, Vammalan kirjapaino. 292 s.

ZWICKY, F. 1971. Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild. München, Zürich, Droemer-Knauer.

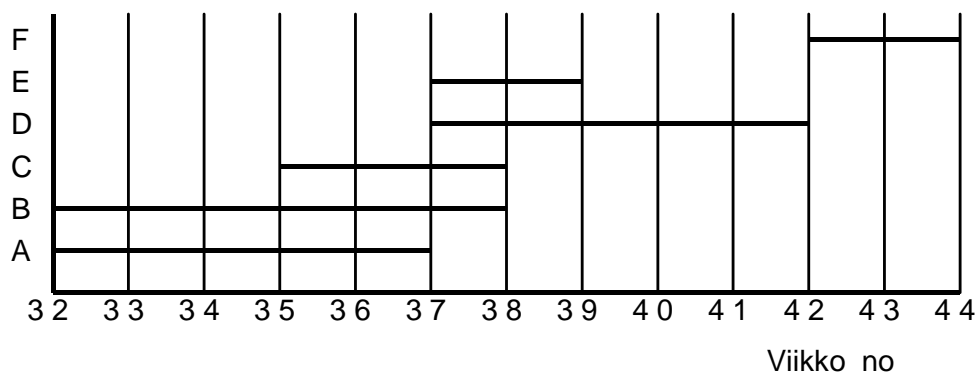
3 VALVONTA

Tuotekehityshanke vaatii huolellisesti laaditun toimintasuunnitelman ja sen toteuttamisen tehokkaan valvonnan. Hankkeen edistymistä ja kuluttamia kustannuksia on valvottava. Tehtävässä käytetään apuna toimintakaaviota.

Toimintakaaviot laaditaan ensisijassa ajankulun valvontaa varten. Periaatteena on, että jokaiseen työvaiheeseen varataan tietty aika, joista sitten koostuu kokonaisaika. Eri työvaiheita voi luonnollisesti olla käynnissä rinnakkain samaan aikaan. On kuitenkin huolehdittava siitä, että kaikki tietyn välitavoitteen saavuttamiseksi tarvittavat toimintavaiheet on suoritettu viimeistään sinä ajankohtana, jolloin välitavoitteen on oltava valmis.

3.1 Ganttin janakaavio

Janakaavio on kehittänyt *Henry Gantt* 1900-luvun alussa. Kuva 3.1 esittää janakaavio periaatetta. Abskissana on aika, usein vuoden viikkonumeroin jaoteltuna. Ordinaattana ovat tuotteen valmistukseen liittyvät osatehtävät A...F.



Kuva 3.1 Ganttin janakaavio.

Oletetaan, että A ja B voidaan aloittaa yhtäaikaaisesti, mutta esim. D-osa edellyttää että A on valmis, joten D:n valmistus voi alkaa vasta viikon 37 alusta lukien. Samanaikaisesti ehkä koneistoa vapautuu myös E-osan valmistukseen. Viikon 41 päättyessä kaikki komponentit ovat valmiit, ja kokoonpano F voi alkaa. Tällainen janakaavio on yksinkertainen ja sen antama informaatio riittää yleensä suhteellisen yksinkertaisten tehtävien johtoon ja valvontaan.

Toimintakaaviota suunniteltaessa ja ajoitusta määritettäessä tulee harkita ensin tarkoin, mitä on tehtävä ja sitten missä järjestyksessä tulee tehdä. On myös harkittava, minkä verran ohjelma edistyessään sitoo työvoimaa ja koneita. Olennaista on, että ohjelman ajallinen kulku on tasapainossa käytettävän kapasiteetin kanssa niin, ettei ruuhkautumia synny. Täten ylimääräisten tarve vältetään. Toimintakaavion voi suunnitella vain henkilö tai henkilöt, jotka tarkoin tuntevat kaavioon sisältyvän toiminnan kulun ja siihen tarvittavat voimavarat.

3.2 Toimintaverkot

Janakaavio ilmoittaa lähinnä aikaelementit ja siitä käyvät selville ohjelman päätehtävät, niiden aloitus- ja päättymishetket sekä nykyinen tila. Janakaaviosta on sen sijaan vaikea nähdä eri osatehtävien riippuvuussuhteita suoraan. Ne on ilmoitettava aina erikseen. Janakaaviosta ei myöskään nähdä, miten jonkin tehtävän myöhästyminen vaikuttaa muihin tehtäviin ja koko projektin toteutumiseen. Näitä janakaavion puutteita on poistettu toimintaverkkokaavioissa. Niissä eri toimintojen riippuvuussuhteet nähdään selvästi ja tehtävät on sitä paitsi määritelty yksityiskohtaisemmin.

Toimintaverkkomenetelmiä on useita. Ne perustuvat 1950-luvun lopussa kehitettyihin menetelmiin PERT (Program Evaluation and Review Technique), CPM (Critical Path Method) ja MPM (Metra-Potential-Methode). Menetelmiä on kehitelty edelleen ja puhtaasti alkuperäisinä niitä ei yleisesti enää käytetä.

Toimintaverkkoja on kolmea tyyppiä. **Tapahtumapohjainen toimintaverkko** sisältää tapahtumat ja niiden väliset riippuvuudet. Tapahtumaksi kutsutaan ajanhetkeä, jolloin

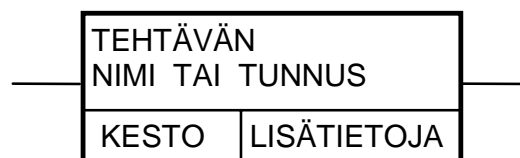
tehtävä alkaa tai päättyy. Esimerkiksi tapahtumia ovat “käämitystyö alkaa”, “kokoonpano valmis”, “vastaanotto hyväksytty” jne. PERT on tapahtumapohjainen verkko. **Tehtäväpohjainen toimintaverkko** käsittää tehtävät ja niiden väliset riippuvuudet. Tehtäväpohjaisia ovat CPM ja MPM menetelmät. Kolmas verkkomuoto on **yhdistelmäverkko**, jossa tehtäväpohjaiseen verkkoon on otettu mukaan tärkeimmät tapahtumat.

Piirtämistapansa perusteella toimintaverkkoja kutsutaan joko **nuoli- tai lohkoverkkoiksi**. Seuraavassa toimintaverkkoja käsitellään tämän jaottelun pohjalta.

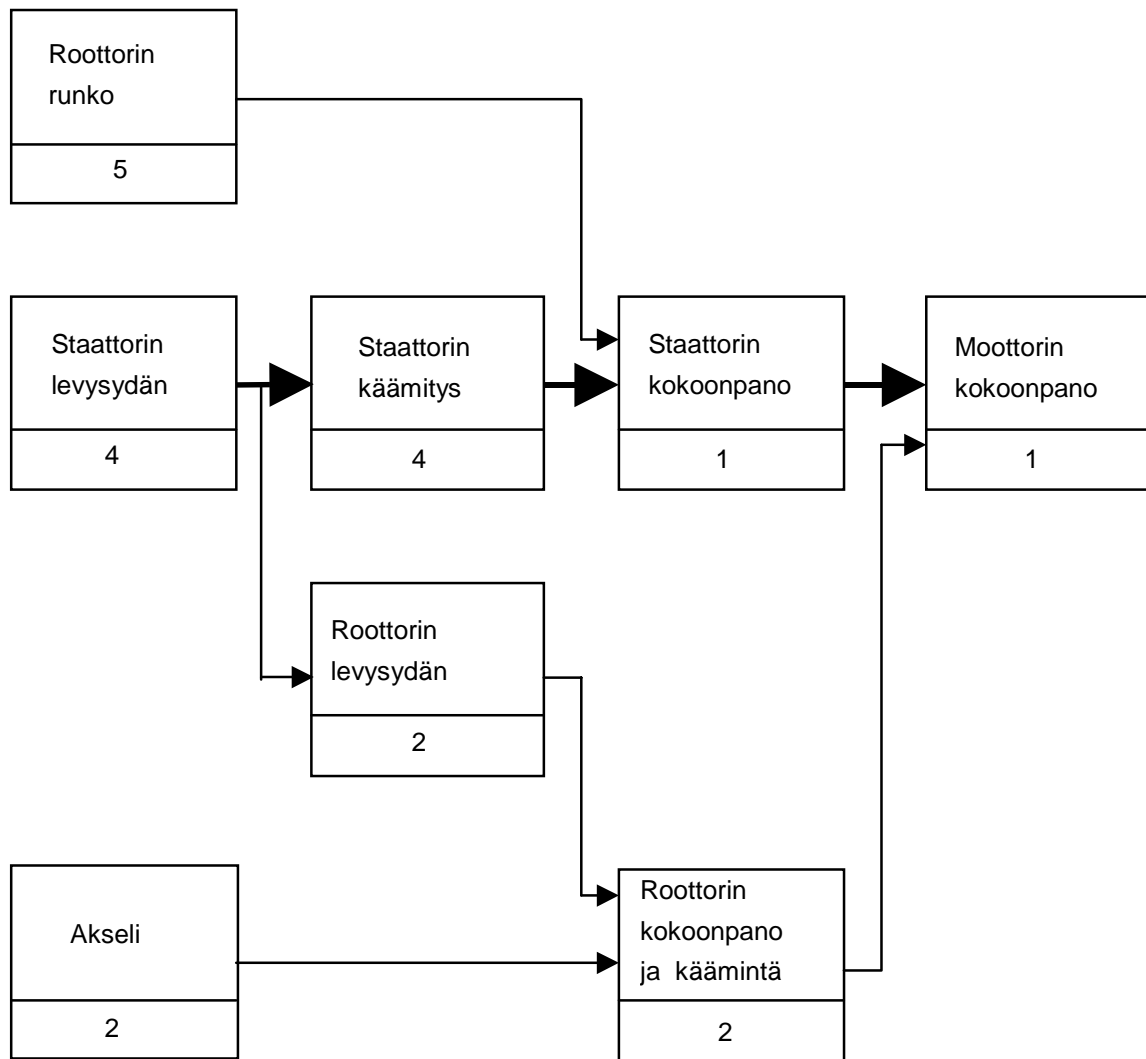
3.2.1 Lohkoverkko

Lohkoverkossa tehtävät kuvataan suorakaiteina sekä näiden suoritusjärjestys ja keskinäinen riippuvuus nuolilla. Tehtävää kuvaavaan lohkoon merkitään kuvan 3.2 mukaisesti tehtävän nimi tai tunnus ja tehtävän kesto. Tarvittaessa lohkoon voida lisätietoina merkitä resurssimäärä, vastuuhenkilö jne.

Kuvassa 3.3 on esitetty yksinkertainen lohkoverkko sähkömoottorin valmistuksesta. Koko valmistusprosessin läpimenoajan määrää vahvennetuilla nuolilla merkitty ketju staattorin levysydän – staattorin käämitys – staattorin kokoonpano – moottorin kokoonpano, sillä se on alkua ja loppua yhdistävistä reiteistä ajallisesti pisin ($4 + 4 + 1 + 1 = 10$ viikkoa). Tätä reittiä kutsutaan **kriittiseksi poluksi**.



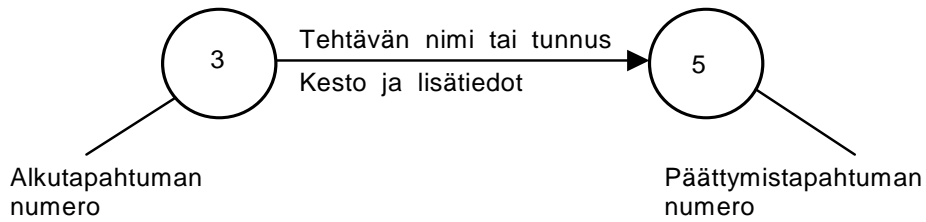
Kuva 3.2 Lohkoverkon merkinnät.



Kuva 3.3 Sähkömoottorin valmistuksen lohkonverkko.

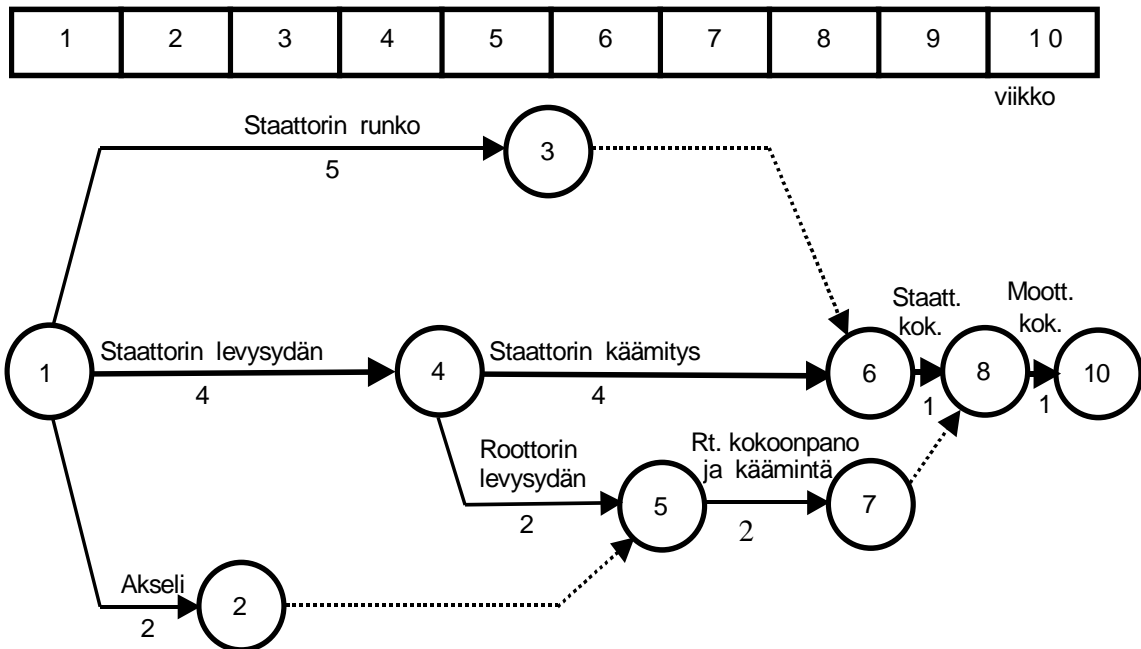
3.2.2 Nuoliverkko

Nuoliverkossa tehtävät esitetään nuolilla. Nuolet yhdistävät tapahtumia niiden riippuvuusjärjestyksessä. Verkkoon kirjoitetaan tapahtumien numerot, tehtävien nimet, kestoajat sekä mahdolliset muut lisätiedot kuvan 3.4 mukaisesti. Edellisen tehtävän päättymistapahtuma on seuraavan tehtävän alkutapahtuma. Tapahtumat voidaan jättää myös numeroimatta, jolloin tapahtumaa kuvaava ympyrä voi olla pieni. Tärkeät tapahtumat voidaan piirtää isolla tai kaksoisympyrällä ja kirjoittaa sen sisälle tapahtuman nimi.



Kuva 3.4 Nuoliverkon merkinnät

Kuvassa 3.5 on sähkömoottorin valmistus esitetty nuoliverkkona. Verkko on piirretty niin, että nuolen pituus vastaa tehtävän kesto. Harmaalla viivalla on merkitty aikaväli, jonka sisällä tehtävän aloittamista tai päättämistä voidaan siirtää. Tätä aikaväliä kutsutaan **tehtävän pelivaraksi**. Katkoviivalla merkitään myös ns. **aputehtäviä**, jotka kuvaavat tapahtumien välisiä riippuvuuksia, mutta eivät vaadi resursseja eivätkä kuluta aikaa. Kuvassa 3.5 tällaista aputehtävää ei ole.



Kuva 3.5 Sähkömoottorin valmistuksen nuoliverkko.

3.2.3 Toimintaverkkojen säännöt

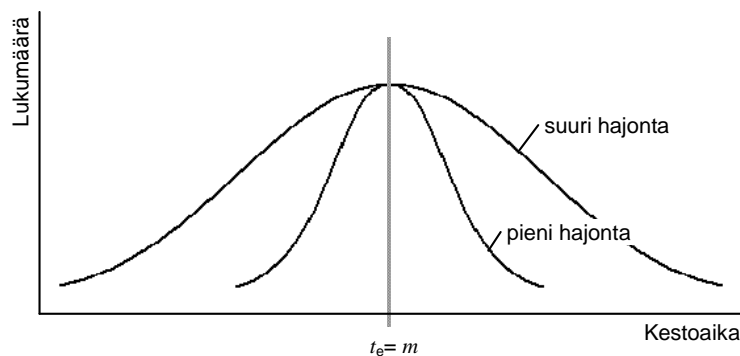
Toimintaverkkojen laatimisessa ovat hyödyksi seuraavat verkkojen ominaisuuksia koskevat säännöt:

1. Tapahtumien tai tehtävien järjestys osoitetaan riippuvuusnuolilla.
2. Tapahtuma syntyy vasta sinä hetkenä, jolloin viimeinen siihen johtava tehtävä on toteutunut.
3. Tehtävä voi alkaa vasta, kun kaikki sitä edeltävät tehtävät on suoritettu.
4. Toimintaverkossa ei voi olla silmukkaa eli edettäessä riippuvuusnuolien suuntaan ei voida palata takaisin jo syntyneeseen tapahtumaan tai suoritettuun tehtävään.

3.2.4 Toimintaverkon aikalaskenta

Tehtävien kestoajaa arvioitaessa tarkastellaan jokaista osatehtävää itsenäisesti muista riippumattomana. Aika-arviossa on otettava huomioon tavanomaiset satunnaistapahtumat, kuten säätekijät (etenkin ulkotöissä), työehtosopimusneuvottelutilanne, laitteiden normaali rikkoutuminen jne. Sen sijaan harvinaisia tapahtumia, kuten tulipaloja, tulvia jne., ei oteta huomioon.

Suorittaessa samaa työtä tehtävän kesto vaihtelee eri suorituskerroilla. Aluksi suoritusajojen hajonta on suuri. Harjaantumisen myötä aika pienenee. Suoritusajojen esiintymistiheys noudattaa kuvan 3.6 mukaista jakautumiskäyrää. Usein tilastollista tietoa ei käytettävissä, jolloin jakautumaa ei tunneta. Tällöin on turvauduttava vastaavantyyppisistä tehtävistä kokemusta omaavien henkilöiden arvioihin.



Kuva 3.6 Tehtävän keston jakautuma.

Aika-arvioita tehdään kolme:

a = Optimistinen kesto, joka on epätodennäköinen (noin joka kymmenes toteutuu), mutta mahdollinen, mikäli kaikki sujuu häiriöttä,

m = todennäköinen kesto, joka todennäköisesti saavutetaan useammin kuin mikään muu arvo,

b = pessimistinen kesto, joka on epätodennäköinen (noin joka kymmenes toteutuu) mutta mahdollinen, mikäli kaikki normaalit esteet kasaantuvat tämän tehtävän osalle.

Jos tehtävän kesto noudattaa beeta-jakaumaa (kuva 3.7), voidaan kolmen arvioidun ajan perusteella laskea tehtävän keston **odotusarvo** t_e yhtälöstä

$$t_e = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (3.1)$$

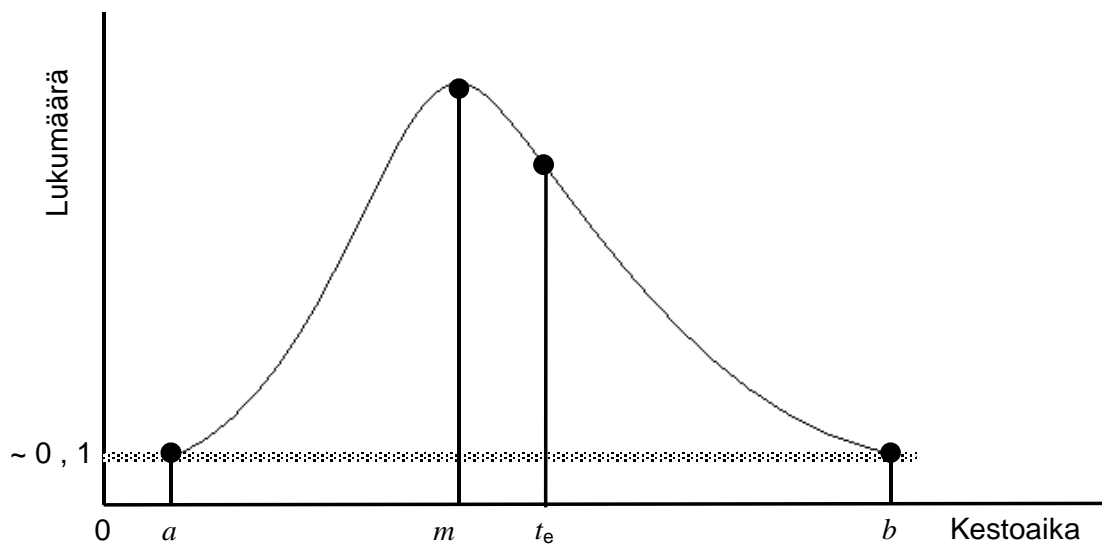
Verkkokaaviossa tehtävän kestona käytetään odotusarvoa t_e .

Symmetrisellä jakautumalla (kuva 3.6) on

$$t_e = m \quad (3.2)$$

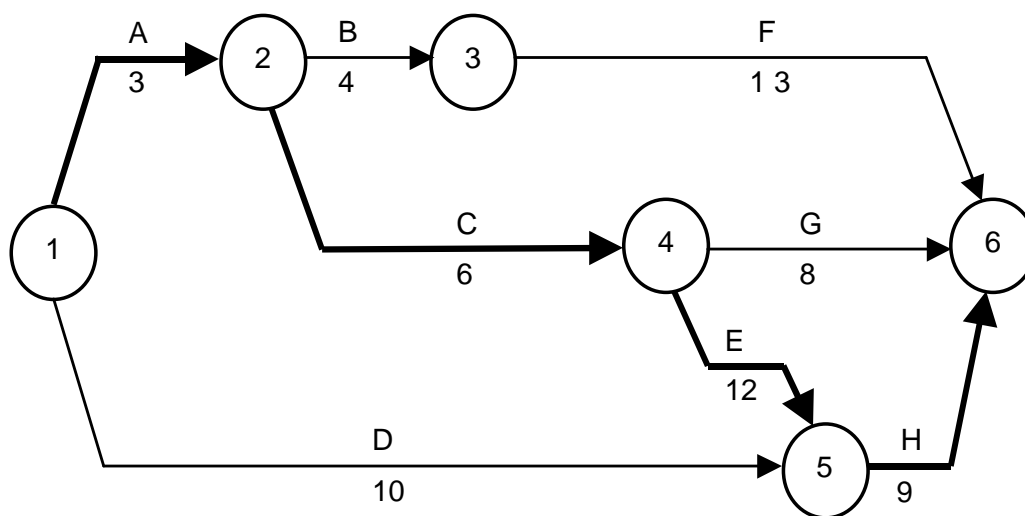
Tällöin arvioidaan suoraan t_e .

Tehtävien keston määrittämisen jälkeen voidaan laskea kunkin tehtävän aikaisin ja myöhäisin päättymisajankohta sekä tehtävien pelivarat ja kriittinen polku. Tehtävän **aikaisin** mahdollinen **päättymisajankohta** saadaan, kun kukin tehtävä aloitetaan heti, kun se on mahdollista. Kun taas tehtävät aloitetaan niin myöhään kuin on mahdollista ilman hankkeen kokonaisajan kasvamista, saadaan tehtävien **myöhäisin** sallittu **päättymishetki**. Vastaavasti voidaan laskea tehtävien aikaisin ja myöhäisin aloittamisajankohta vähentämällä päättymisajankohdista tehtävien kesto.



Kuva 3.7 Tehtävän optimistinen (a), pessimistinen (b) ja todennäköinen (m) kesto-aika sekä odotusarvo t_e .

Tarkastellaan tehtävien aikaisimman ja myöhäisimmän päättymishetken laskemista kuvan 3.8 toimintaverkon avulla. Tehtävien kestot on kuvassa ilmoitettu viikkoina. Annetaan projektin alkutapahtumalle 1 arvo nolla. Tämä on samalla tehtävien A ja D aloittamisajankohta. Tehtävä A kestää kolme viikkoa, jolloin tehtävä A päättyy ja tapahtuma 2 syntyy aikaisintaan $0 + 3 = 3$ viikon kuluttua, joka on samalla tehtävän B aikaisin aloittamishetki. Tehtävä B voi siis päättyä aikaisintaan $3 + 4 = 7$ viikon päästä.



Kuva 3.8 Esimerkin toimintaverkko.

Tehtävä C voi vastaavasti päättyä aikaisintaan $3 + 6 = 9$ viikon kuluttua. Tapahtuma 5 edellyttää, että tehtävät E ja D ovat molemmat suoritettut. Tehtävän D aikaisin päätty-mishetki on 10. viikko ja tehtävän E päättymishetki $9 + 12 = 21$. viikko. Täten tapahtu-man 5 aikaisin mahdollinen hetki on 21. viikko. Kun näin lasketaan verkko **alusta loppuun**, saadaan kunkin tehtävän aikaisin aloittamis- ja päättämisaikajankohta. Tulokset on esitetty taulukkona 3.1. Tehtävä, jonka päättämisaikajankohta on viimeisin, ilmoittaa samalla hankkeen kokonaisajan, esimerkiksi 30 viikkoa.

Tehtävien myöhäisimmät sallitut päättämisaikajankohdat saadaan laskemalla verkko **lopusta alkuun**. Viimeisimmän tapahtuman ajankohdaksi merkitään edellä laskettu hankkeen kokonaisaika 30 viikkoa. Tämä on samalla tehtävien F, G ja H myöhäisin sallittu päättymishetki. Tehtävän myöhäisin alkamishetki saadaan, kun päättämisaikajankohdasta vähennetään tehtävän kesto. Näin tehtävä H on viimeistään aloitettava hetkellä $30 - 9 = 21$, joka on myös tapahtumaan 5 päättyvien tehtävien E ja D myöhäisin sallittu päättämisaikajankohta. Kuljettaessa lopusta alkuun päästään tapahtumaan 4 kahta reittiä pitkin, joista toisen muodostavat tehtävät H ja E sekä toisen tehtävä G. Näistä H + E vie pidemmän ajan ja määrää tapahtuman 4 myöhäisimmän hetken, joksi saadaan $30 - 9 - 12 = 9$. Tämä on myös tehtävän E myöhäisin sallittu aloittamisaikajankohta ja edelleen tehtävän C myöhäisin sallittu päättämishetki. Näin jatketaan alkutapahtumaan saakka. Alkutapahtumalle saadaan oikein laskettaessa arvo 0.

Tehtävän pelivara v on myöhäisimmän T_m ja aikaisimman T_a päättämisaikajankohdan erotus:

$$v = T_m - T_a \quad (3.3)$$

Pelivaran sisällä tehtävän aloittamista voidaan tarvittaessa siirtää hankkeen kokonais-ajan muuttumatta. Esimerkkiverkon (kuva 3.8) pelivarat on laskettu taulukkoon 3.1.

Kriittinen polku on toimintaverkon tehtäväketju, joka on kaikista alkua ja loppua yhdistävistä reiteistä pisin. Tämä saadaan selville laskettaessa verkko alusta loppu-suuntaan. Kriittisellä polulla on tehtävien pelivara pienin. Toimintaverkossa voi olla useita kriittisiä polkuja. Kuvassa 3.8 kriittinen polku on esitetty vahvennettuna.

Taulukko 3.1 Kuvan 3.8 toimintaverkon tehtävien aikaisin ja myöhäisin päättymishetki sekä pelivara.

Tehtävä	Kesto	Aikaisin päättymishetki	Myöhäisin päättymishetki	Pelivara
A	3	0 + 3 = 3	30 - 9 - 12 - 6 = 3	0
B	4	3 + 4 = 7	30 - 13 = 17	10
C	6	3 + 6 = 9	30 - 9 - 12 = 9	0
D	10	0 + 10 = 10	30 - 9 = 21	11
E	12	3 + 6 + 12 = 21	30 - 9 = 21	0
F	13	3 + 4 + 13 = 20	30	10
G	8	3 + 6 + 8 = 17	30	13
H	9	3 + 6 + 12 + 9 = 30	30	0

Jos kullekin tehtävälle on annettu kolme erillistä aika-arviota: optimistinen, todennäköinen ja pessimistinen, niin tilastomatematisesti voidaan määrittää, mikä on projektin aikamäärien toteutumistodennäköisyys. Tehtävän keston tarkkuus on sitä huonompi, mitä suurempi on optimistisen ja pessimistisen aika-arvion erotus. Tehtävän i keston aika-arvion **variassi** σ_i^2 on lasketun odotusarvon t_{ei} tarkkuuden mitta. Variassi lasketaan yhtälöstä:

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{b_i - a_i}{6} \right)^2 \quad (3.4)$$

missä a_i on tehtävän i optimistiseksi ja b_i pessimistiseksi arvioitu kesto. Varianssin neliöjuuri on hajonta σ_i . Kunkin tapahtuman variassi saadaan laskemalla tapahtumaan johtavien tehtävien varianssien summa $\sum \sigma_i^2$.

Todennäköisyys sille, että tapahtuma n syntyy toivotussa ajassa T_{nt} , saadaan seuraavasti. Lasketaan ns. todennäköisyyskerroin

$$Z = \frac{T_{nt} - T_{na}}{\sqrt{\sum_i \sigma_i^2}} \quad (3.5)$$

missä T_{na} on tapahtuman n aikaisin hetki eli tapahtumaan johtavista tehtävistä viimeisimmän aikaisin päättymishetki. Normaalijakautuman todennäköisyystaulukosta, taulukko 3.2, saadaan luvun Z kohdalla etsitty todennäköisyys sille, että tapahtuma n syntyy toivotussa ajassa.

Tarkastellaan esimerkkinä kuvan 3.8 toimintaverkkoa. Tehtävien A, C, D ja E aika-arviot on esitetty taulukossa 3.3. Tehtävänä on laskea, millä todennäköisyydellä tapahtuma 5 saavutetaan 20 viikossa. Ratkaisu tapahtuu seuraavasti. Lasketaan tehtävien odotusarvo yhtälöstä (3.1) ja varianssi yhtälöstä (3.4). Tulokset on kirjoitettu taulukkoon 3.3. Seuraavaksi suoritetaan projektin aikalasku alusta loppusuuntaan käyttäen kunkin tehtävän kestonä odotusarvoa. Tapahtuman 5 aikaisimmaksi hetkeksi saadaan tällöin $T_{5a} = 21$ ja sen määrää tehtäväketju A-C-E. Todennäköisyyskertomelle saadaan arvo:

$$Z = \frac{T_{nt} - T_{na}}{\sqrt{\sum_i \sigma_i^2}} = \frac{20 - 21}{\sqrt{0,111 + 1,778 + 1,778}} = -0,52$$

Taulukosta 3.2 saadaan luvun $Z = -0,52$ kohdalla todennäköisyydeksi 0,30 eli 30 %. On siis pieni todennäköisyys, että tapahtuma 5 saavutetaan 20 viikossa, joka olisi yhden viikon alle tehtävän odotusarvoilla laskettua tapahtuman 5 aikaisinta ajankohtaa.

Ohjearvoina sanottakoon, että:

- todennäköisyys alle 25 % merkitsee melko varmaa projektin myöhästymistä,
- todennäköisyys noin 50 % merkitsee tehtävien tulevan keskimäärin ajoissa suoritetuiksi ja projektin läpimenoajan olevan lasketun,
- todennäköisyys yli 60 % merkitsee resursseja varatun projektiin liian paljon.

Suuressa toimintaverkossa saattaa olla tuhansia tapahtumia ja tehtäviä. Sellaisten laatiminen käsin on valtava tehtävä ja tällöin kannattaa käyttää tietokonetta apuna. Toimintaverkkojen laatimiseksi löytyy joukko tietokoneohjelmia, jotka ovat käteviä pienempienkin verkkojen laatimiseen.

Edellä on luotu vain hyvin suppea katsaus toimintaverkkojen muodostamiseen ja ominaisuuksiin. Toimintaverkkoon voidaan lisätä paljon enemmän tietoa kuin edellä on esitetty ja siitä voidaan myös laatia paljon tarkempia kuin edellä. Alaa käsittelevää kirjallisuutta on runsaasti.

Taulukko 3.2 Normaalijakauman todennäköisyystaulukko.

Z	Todennäköisyys	Z	Todennäköisyys
0,0	0,5000	-3,0	0,0013
0,1	0,5398	-2,9	0,0019
0,2	0,5793	-2,8	0,0026
0,3	0,6179	-2,7	0,0035
0,4	0,6554	-2,6	0,0047
0,5	0,6915	-2,5	0,0062
0,6	0,7257	-2,4	0,0082
0,7	0,7580	-2,3	0,0107
0,8	0,7881	-2,2	0,0139
0,9	0,8159	-2,1	0,0179
1,0	0,8413	-2,0	0,0228
1,1	0,8643	-1,9	0,0287
1,2	0,8849	-1,8	0,0359
1,3	0,9032	-1,7	0,0446
1,4	0,9192	-1,6	0,0548
1,5	0,9332	-1,5	0,0668
1,6	0,9452	-1,4	0,0808
1,7	0,9554	-1,3	0,0968
1,8	0,9642	-1,2	0,1151
1,9	0,9713	-1,1	0,1357
2,0	0,9772	-1,0	0,1587
2,1	0,9821	-0,9	0,1841
2,2	0,9861	-0,8	0,2119
2,3	0,9893	-0,7	0,2420
2,4	0,9918	-0,6	0,2743
2,5	0,9938	-0,5	0,3085
2,6	0,9953	-0,4	0,3446
2,7	0,9965	-0,3	0,3821
2,8	0,9974	-0,2	0,4207
2,9	0,9981	-0,1	0,4602
3,0	0,9987	-0,0	0,5000

Taulukko 3.3 Numeroesimerkki kuvan 3.8 toimintaverkon tapahtuman 5 syntymis-
todennäköisyyden laskemiseksi toivotussa ajassa.

Tehtävä	Optim. kesto	Tod. näk. kesto	Pessim. kesto	Odotusarvo	Varianssi
A	2	3	4	3	0,111
C	4	5	12	6	1,778
D	3	11	13	10	2,778
E	6	13	14	12	1,778

3.3 Kirjallisuutta

MATIKAINEN, M. 1972. Konstruktio- ja tuotekehittelytoiminnan suunnittelu ja valvonta. Tekniikan käsikirja, osa 7, 8. p. Jyväskylä, Gummerus. s. 137 – 158.

PELIN, R. 1999. Projektihallinnan käsikirja. Espoo, Projektijohtaminen Oy Risto Pelin. 438 s.

PELIN, R. 1993. Projektihallinta mikrotietokoneella. Espoo, Projektijohtaminen Oy Risto Pelin. 143 s.

PERT, Program Evaluation and Review Technique. En programmerad bok om nätverksplanering utarbetad av Federal Electric Corporation. Stockholm, Svenska Bokförlaget. 149 s. 1966.

SFS-käsikirja 37, 1983. Projektin johtaminen toimintaverkkomenetelmillä. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto.

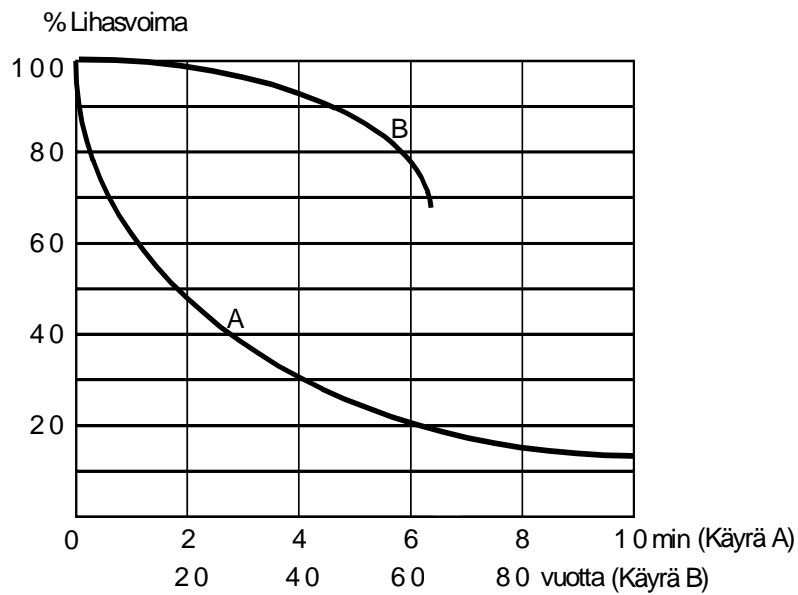
SELIN, G. 1977. Käytännön projektityöskentely – investointiprojektin ohjaus. Helsinki, Insinöörilehdet. 102 s.

4.1 Mitä ergonomia on

Ergonomialla ymmärretään teknisen ympäristön muokkaamista ihmiselle sopivaksi. Näin kaikki toimet, jotka tähtäävät ihmisen fyysisen ja henkisen elämän helpottamiseen ja tasapainottamiseen kuuluvat laajassa mielessä ergonomian piiriin. Jonkun laitteen kehittämisessä ergonomiset näkökohdat merkitsevät sitä enemmän, mitä kauemmin ihminen yhtäjaksoisesti käyttää laitetta. Jos esimerkiksi kehitettävänä on pylväserotin, jota asentaja käyttää kerran tai pari vuodessa, riittänee kun sen ohjaus tehdään maasta käsin ja kohtuullisella lihasvoimalla tapahtuvaksi. Jos sen sijaan kehitetään uutta käsi-porakonetta ammattimiehen jokapäiväiseen käyttöön, sen ergonomiaan on kiinnitettävä runsaasti huomiota. On huolellisesti tutkittava kädensijojen muoto ja kiinnityskohta, kytkimen sijoitus ja voimantarve, poran akseliviivan asema kädensijoihin nähden jne.

Ergonomisen suunnittelun perusta on ihmisen toiminnan, elimistön ja käyttäytymisen lainalaisuuksien tunteminen. Ergonomia on poikkitieteellinen. Sen perustieteitä ovat fysiologia, psykologia, tekniikka ja myös sosiologia sekä lääketiede. Muotoilu ja ergonomia kulkevat käsi kädessä. Myös muotoilun tavoitteena on tehdä laitteista ihmiselle sopivia.

Ergonomista suunnittelua sovelletaan paitsi laitekehittelyyn myös työpaikkojen järjestykseen, liikennevälineisiin, valvomoihin ym., joissa ihminen joutuu välittömään yhteistyöhön teknisen järjestelmän kanssa. Ihmisen käyttöön tarkoitettujen laitteiden ergonomian merkitystä korostaa kuva 4.1 (*Ergonomiatiedotteet*). Siinä käyrä A esittää kuinka vähän aikaa ihminen kykenee ylläpitämään lihasvoimaansa. Käyrä B kuvaa iän heikentävää vaikutusta.



Kuva 4.1 Käyrä A: ihmisen kyky ylläpitää lihavoimaansa.
Käyrä B: iän heikentävä vaikutus lihavoimaan.

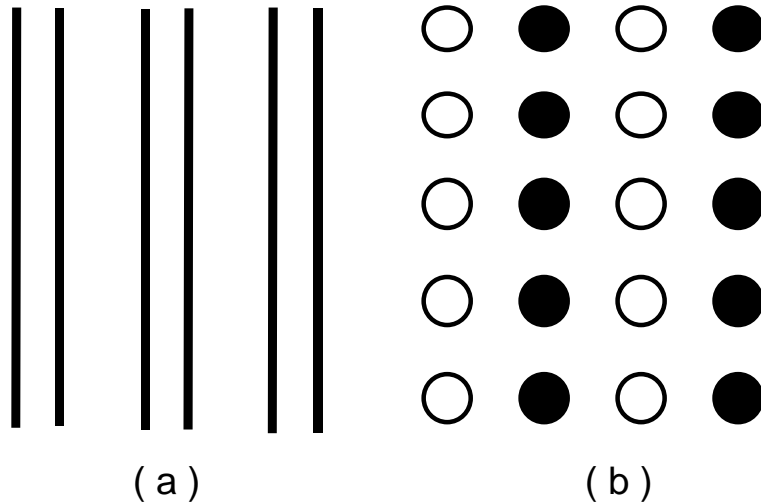
4.2 Ihmisen mitat ja havaintotoiminnan periaatteet

Ergonomisessa suunnittelussa on otettava huomioon ihmisen mitat, raajojen edullisimmat liikeradat, lihasvoiman suuruus jne. Ihmisen mitat noudattavat useimmiten normaalijakautumaa. Ihmiset eivät kuitenkaan ole geometrisesti yhdenmuotoisia, vaan kehon eri osien pituudet ovat toisistaan riippumattomia. Näin normaalimittaisella ihmisellä voi olla esimerkiksi pitkät käsivarret. Tästä syystä on kaikki mitat erikseen tarkistettava. Säätomahdollisuuksien mitoitus tapahtuu tavallisesti niin, että ihmisten mittojen normaalijakautumasta peittyä 5–95 %:n alue.

Ergonomisessa suunnittelussa on otettava huomioon ihmisen mitoista ja havaintoken-
tästä seuraavat seikat:

- Raajojen antamat liikemahdollisuudet. Jotta rasitukset eivät olisi liian suuria, on käytettävä noin puolta suurimmasta mahdollisesta ulottuvuudesta. Raajojen ulottuvuuksien lisäksi on otettava huomioon edullisimmat liikesuunnat.

- Sormien, käsien, jalkojen jne. kehittämät lihasvoimat. Vaadittava lihasvoima ei saa olla liian suuri, mutta ei liian pienikään. Esimerkiksi käsi- ja jalkakäyttöisten ohjaimien käyttövoimalle on olemassa edullisimmat alueet (Saari, 1973a).
- Näön tarkkuus pienenee nopeasti siirryttäessä sivuun silmän keskiviivalta. Vaakatasossa ihminen pystyy kuitenkin havaitsemaan 200 asteen kulmassa. Katseen normaaliasento ei ole vaakasuora vaan 30...38 astetta vaakasuoran alapuolella. Tämä vaikuttaa mm. tarkkailua vaativien mittareiden sijoitteluun.
- Ihmisen havaintotoiminta noudattaa ns. yksikanavaperiaatetta. Tämä merkitsee, että ihminen pystyy käsittelemään vain yhtä tietoa kerrallaan nopeuden ollessa kaksi tietoa sekunnissa. Tieto kuitenkin vahvistuu, jos se tulee samaan aikaan usean eri aistin välityksellä.
- Ihminen reagoi vain ympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Muuttumisnopeutta voidaan korostaa vilkkuvalla valolla, summerilla jne.
- Ihminen tekee suhteellisia vertailuja helposti, mutta absoluuttisia arvioita sen sijaan heikosti. Esimerkiksi näytettäessä erilaisia värejä yhtä aikaa ihminen erottaa tuhansia värisävyjä, mutta erikseen näytettynä ihminen erottaa luotettavasti vain kolme väriä: punainen, vihreä ja keltainen.
- Kun ihmisen kiinnostus on herännyt jonkin aistikaavan kautta, niin usein muut aistikanavat ovat tukossa. Myös väsymys aiheuttaa sen, että havaitsemiseen kuluu sekunteja. Tästä seuraa, että tärkeän tiedon on oltava havaintokentässä riittävän pitkän ajan, käytännössä yli 10 s.
- Ihminen jaksaa aktiivisesti seurata samaa asiaa vain 10–30 min ajan. Valppaustaso laskee nopeammin silloin kun informaatiota tulee hyvin vähän.
- Ihminen on tottumustensa orja. On esimerkiksi yleistä, että kuumavesihana on vasemmalla ja kylmä oikealla puolella. Suunnittelussa tämä on otettava huomioon, jottei aiheutettaisi turhaan tapaturmariskiä.
- Ihminen jäsentee havaintokenttensä ns. hahmolakien mukaisesti. Kuvassa 4.2 on esitetty kaksi hahmolakia. Kuvassa 4.2 a on yhdensuuntaisia viivoja, joista lähikään olevat viivat ihminen hahmottaa yhteenkuuluviksi. Kuvassa 4.2 b on tasavälein umpinaisia ja avonaisia pieniä ympyröitä. Ihminen hahmottaa samanlaiset ympyrät yhteenkuuluviksi ja näkee kuvassa pystyrivejä. Tätä ilmiötä kutsutaan samankaltaisuuden laiksi.



Kuva 4.2 Esimerkki läheisyyden hahmolaista (a) ja samankaltaisuuden hahmolaista (b).

4.3 Laitteiden ergonominen suunnittelu

Ihmisen ja koneen muodostamia järjestelmiä on kahta perustyyppiä:

- Ihminen ohjaa konetta, esimerkiksi ajaa autoa. Tällöin ihminen on jatkuvasti sidotuna tehtäväänsä. Ergonomisessa suunnittelussa on silloin erityisesti otettava huomioon ohjauslaitteet ja koneen dynaamiset ominaisuudet, viiveen on oltava ihmiselle sopiva.
- Ihminen toimii koneen valvojana, esimerkiksi voimalaitoksen valvomossa. Ohjaus on tällöin ajoittaista ja myös työn organisointiin liittyvät ongelmat on otettava huomioon.

Seuraavassa kappaleessa käydään läpi tavanomaisia seikkoja, joihin ergonomisessa suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota.

4.3.1 Sijoitus

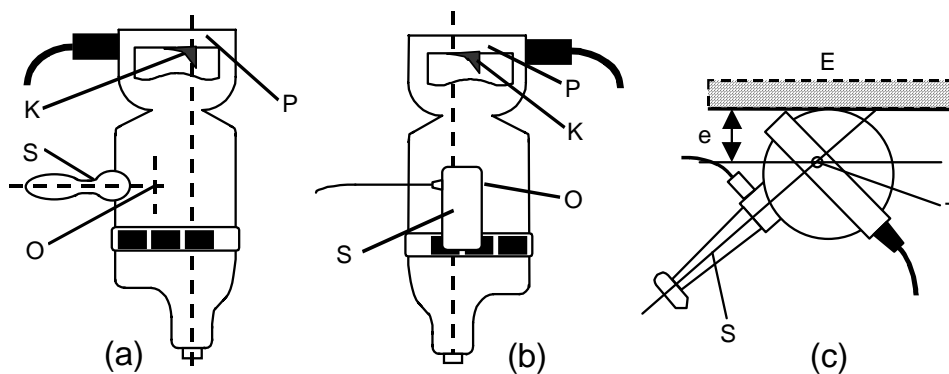
Käsiteltävä kone tai laite olisi aina suunniteltava sellaiseksi, että sen käyttö voi alkaa ja loppua ilman ylimääräistä ponnistelua. Käyttö- ja ohjauslaitteet on pyrittävä asettamaan

sille korkeudelle lattiasta tai maasta, että käyttäjä voi niihin tarttua kumartumatta, kurkottelematta tai tikkaille nousematta. Laitteiden sijoittelua suunniteltaessa on otettava huomioon vallitseva työasento, esimerkiksi istuminen tai seisominen.

4.3.2 Kädensijat

Liikuteltavien laitteiden, esimerkiksi käsityökalujen kädensijat on sijoitettava kojeen painopisteeseen nähden siten, että laitetta voidaan helposti käänellä kaikissa niissä asennoissa, joissa se on tarpeellista. Jos laite on tarkoitettu kaksin käsin hoidettavaksi, sen painon tulee jakautua mahdollisimman tasan molemmille käsille vieläpä siten, että kojeen asema on kaikissa käyttöasennoissa stabiili. Moniasentoisessa käytössä kädensijojen sijoitus on hankala ratkaista ja tällöin on etsittävä mielekkäin kompromissi. Esimerkiksi kuvan 4.3 käsiporakoneessa on peräkahva P ja tappimainen sivukahva S. Painopiste on kohdassa O. Kuvan 4.3 a mukainen kahvojen asento ei ole ergonomisesti paras, koska kahvat ovat samassa tasossa. Käsien luonnollinen tartuntakulma on noin 90° , joten kuvan b mukainen sovitus on luontevampi. Se sopii paremmin pystyasennossa tapahtuvaan poraukseen, kuva c, jolloin molemmat kädet kantavat konetta tasavertaisesti. Samalla terän T etäisyys e esteestä E on mahdollisimman pieni.

Kädensijojen poikkileikkauksen muotoilu ja mitoitus on huolellisesti suoritettava. Ympyränmuotoinen poikkileikkaus vaatii yleensä suurempaa puristusvoimaa kuin ovaalimuoto tai suorakaide, jossa on riittävästi pyöristetyt kulmat. Tärkeää on, että kädensija sopii luontevasti käteen. Puu- ja muovimallilla voidaan helposti kokeilla muodon ja mitoituksen onnistuneisuutta.



Kuva 4.3 Käsiporakoneen tartuntaelimiä suunnittelu.

4.3.3 Ohjaus- ja säätölaitteet

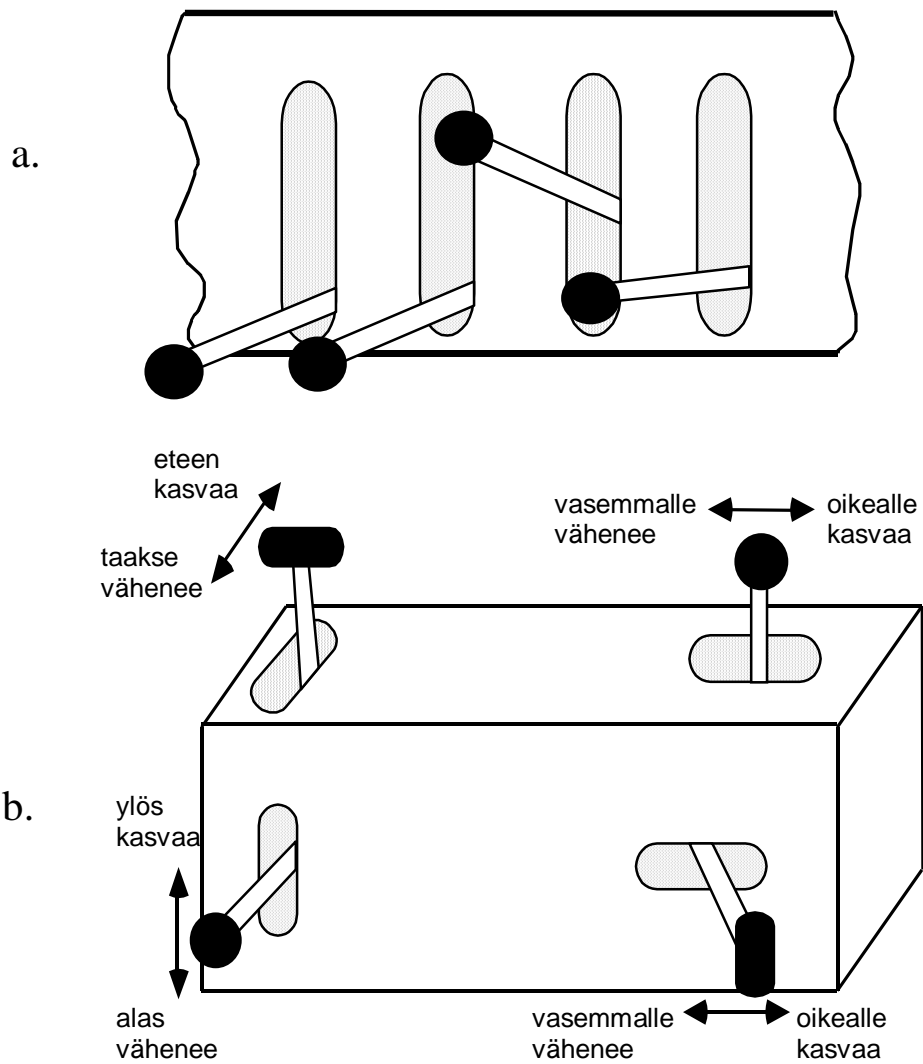
Kuvassa 4.3 on virtakytkentä merkitty kirjaimella K. Tällaisella kytkinlaitteella, painettavalla tai kierrettävällä tulisi aina olla selvä rytmi niin, että käyttäjä katsomatta tuntee katkaisijan siirtyneen uuteen asentoon. Tällöin toimintahäiriötkin havaitaan helpommin.

Jos laitteessa on runsaasti ohjaus- ja säätövipuja, sijoitetaan usein käytettävät säätimet lähelle käyttäjää. Harvoin käsiteltävät voidaan sijoittaa kauemmaksikin. Poikkeuksena näistä ovat käytön turvallisuuteen liittyvät ohjaimet, kuten hätä-seis-painike, joiden tarkoituksenmukainen sijainti sivuuttaa käytön ergonomiset kohdat.

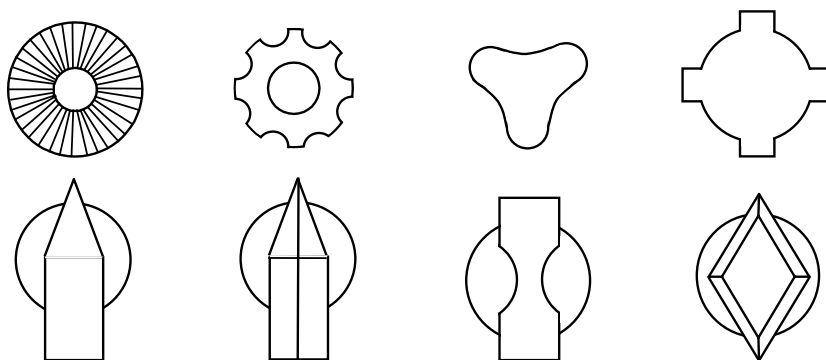
Käyttövipujen sijoitus toisiinsa nähden on myös ergonomisesti ratkaistava. Kuvassa 4.4 on neljän ohjaimen sijoitus ratkaistu kahdella eri tavalla. Kuvassa 4.4 a on ohjaimet sijoitettu rinnakkain ohjausliikkeen ollessa kaikilla sama, ylösalas suuntainen. Ergonomisesti tällainen ratkaisu ei ole hyvä, sillä käyttäjän tulee samanlaisella liikkeellä hoidella eri toimintoja. Kuvassa 4.4 b vivut on sijoitettu noudattaen periaatetta, että ohjausliikkeen suunta on sama kuin ohjauksen seurauksena syntyvä liike koneessa. Edelleen samaan suuntaan tehtävät ohjausliikkeet eivät saisi johtaa vastakkaisiin koneen suorittamiin liikkeisiin. Esimerkiksi auton kaasus- ja jarrupolkimen liike on tässä mielessä suunniteltu väärin.

Käyttövipujen, erityisesti niiden tartuntanuppien muotoilu ja väri on valittava ergonomisesti. Viitteen nupin oikeasta muodosta saa, kun mallivivun tartuntanupin tekee muovilusavesta ja liikuttaa sitä ohjausta matkien. Savipallo deformoituu muotoon, joka nupilla tulee olla, jotta ote olisi luja ja pitävä. Eriluontoisiin ohjaustehtäviin tarkoitettujen nuppien tulisi olla keskenään erilaisia. Käyttäjä tottuu pian tuntemaan sormissaan, mistä vivusta kulloinkin on kysymys. Virheliikkeiden teko tällöin vähenee. Kuvassa 4.5 on esitetty joukko tällaisia informoivia kääntövipuja.

Ohjausvipujen herkkyydellä on olemassa optimialue (Saari, 1973 a). Jos ohjausvivut ovat liian herkkiä, ovat säätöliikkeet helposti liian suuria. Kovin jäykkätoiminen puolestaan rasittaa fyysisesti.



Kuva 4.4 Käyttövipujen sijoitus toisiinsa nähden. Ratkaisu b on ergonomisesti oikea, sillä ohjaimen liike vastaa koneen liikettä, mitä ehtoa ratkaisu a ei täytä.



Kuva 4.5 Ihminen erottaa tuntoaistilla erilaiset nappimuodot (Saari, 1973 a).

Tietyt käsien ja jalkojen liikkeet, kuten symmetriset kaarevat liikkeet ovat ihmiselle luontaisia ja muita liikeratoja edullisimpia. Tarvittaessa tarkkaa liikettä liikeradan tulisi suuntautua kehoon päin. Voimaa vaativien liikkeiden taas tulisi suuntautua kehosta pois päin.

Jos säätö muuttaa oleellisesti koneen tilaa, on säätöliikettä ennakoitava valmistavalla liikkeellä. Näin vähennetään riskiä aiheuttaa virhetoiminnalla katastrofiluonteinen tilanne. Tyypillinen esimerkki on nauhuri, jossa äänittäminen edellyttää tavallisesti kahden painikkeen käyttämistä samanaikaisesti.

Ohjauksen seurauksesta tulisi saada välitön tieto. Tämä voi tapahtua näkö-, kuulo- tai tuntoaistin välityksellä. Esimerkiksi kauko-ohjauksessa tulee ohjauspaikalle järjestää tieto ohjauksen vaikutuksesta mittareilla, TV-monitorin välityksellä tai muulla tavalla.

4.3.4 Näyttölaitteet

Näyttölaitteen suunnittelun lähtökohtana on tarvittavan tiedon analyysi, jossa selvitetään seuraavat neljä asiaa:

- **Tiedon tarpeellisuus.** Tällöin selvitetään, mitä tietoa tarvitaan, onko kaikki haluttu tieto kustannuksien arvoinen tai pystyisikö käyttäjä toimimaan mahdollisesti paremminkin ilman sitä.
- **Tiedon riittävyys.** Tällöin selvitetään, onko lisätiedosta hyötyä tai onko tietoa riittävästi myös toimintahäiriöiden sattuessa.
- **Tiedon luettavuus.** Tällöin on selvitettävä eroaako signaali riittävästi taustastaan, onko yksikäsitteistä, mistä kohteesta tieto tulee ja mitä tieto merkitsee. Luotettavuus paranee, kun tarpeeton tieto eliminoidaan ja käytetty informaation tarkkuus on tarkoituksenmukainen.
- **Esitystavan sopivuus.** Informaatiota voidaan välittää eri tavoilla. Suunnittelussa on harkittava, että valittu esitystapa on havainnollinen kyseisen tiedon esittämiseen. Mm. mittareiden osoittimien liikkeisiin ja ryhmittelyyn on kiinnitettävä huomiota.

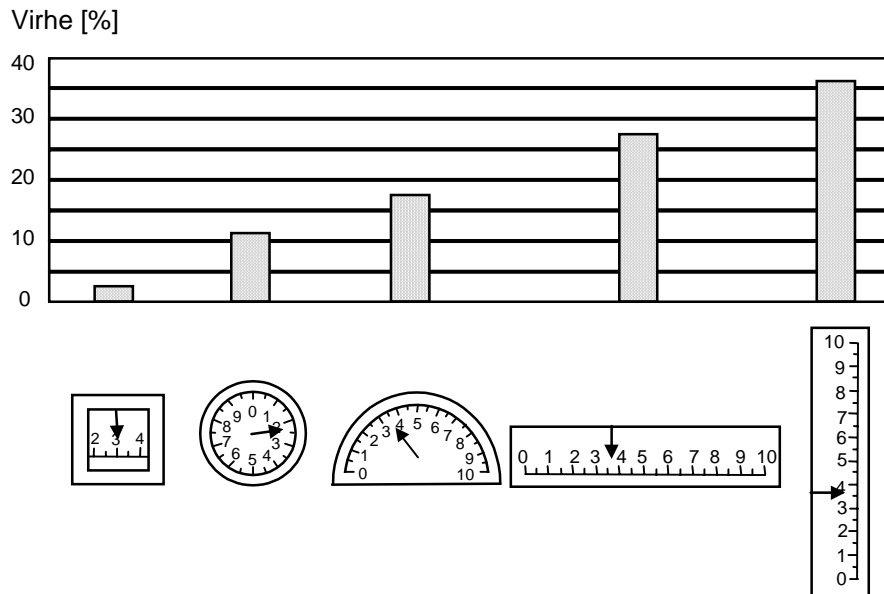
Informaation tarpeellisuus ja riittävyys on tarkoin harkittava. Jos informaatiota tulee liikaa, käyttäjän vastaanottokyky ylikuormittuu helposti, eikä hän havaitse olennaista tietoa.

Näyttötapa voi olla:

- **kvalitatiivinen**, jos tieto on jaettavissa muutamaan luokkaan, kuten esimerkiksi auton polttoainemittarissa alueisiin täysi, puoli ja tyhjä,
- **kvantitatiivinen**, jos tarvitaan tarkka mitattavan suureen numeroarvo,
- **kaksijakoinen**, jos tieto on jaettavissa kahteen luokkaan. Tällaisia kaksijakoisia näyttölaitteita ovat varoituslamput, jotka syttyvät, kun sallittu alue on ylitetty tai alitettu.

Mittareita suunniteltaessa tai valittaessa on kiinnitettävä ergonomisessa mielessä huomiota seuraaviin seikkoihin:

- Mittarin muoto vaikuttaa lukemistarkkuuteen ja -nopeuteen. Kuvassa 4.6 on esitetty erimuotoisilla mittareilla saatuja lukemavirheitä, kun lukemisaika on ollut 0,12 sekuntia.
- Asteikkonumeroinnin pitää kasvaa koordinaattiakselien mukaisesti vasemmalta oikealle ja alhaalta ylöspäin.
- Pyöreissä mittareissa 0-kohdan tulisi sijaita ylhäällä eli kelloa vastaavasti 12 kohdalla. Muissa mittareissa 0-kohdalla ei ole väliä.
- Mittarin asteikon tulisi olla mahdollisimman lineaarinen. Tämä helpottaa lukemista.
- Asteikkojako ei saa olla liian tiheä eikä liian harva. Asteikkojaolle löytyy suosituksia (Saari, 1973 a).
- Osoittimen on oltava muodoltaan selkeä niin, että se erottuu hyvin taustastaan.
- Asteikon numeroinnin ja kirjainten on oltava selkeitä. Myös näistä löytyy suosituksia (Saari, 1973 a).



Kuva 4.6 Lukemavirhe erimuotoisilla osoittavilla mittareilla (Saari, 1973 a).

Mittareiden asemesta on usein tarkoituksenmukaisempaa ja selkeämpää käyttää erilaisia merkki- ja varoitusvaloja. Nämä ovat myös mittareita huomattavasti halvempia. Varoitusvalon on oltava riittävän kirkas, jotta se erottuu selvästi taustastaan. Ohjearvoina voidaan antaa, että seisovan valon tulee olla vähintään kolme kertaa taustaansa kirkkaampi ja vilkkuvan valon 50 kertaa taustaansa kirkkaampi. Punaisen valon sopiva vilkkumisnopeus on 2–4 Hz ja keltaisen valon 0,5–1,5 Hz. Ihmiset ovat tottuneet, että punainen merkitsee vaaraa sekä vihreä turvatilaa. Tämä on muistettava valittaessa merkkivalojen värejä.

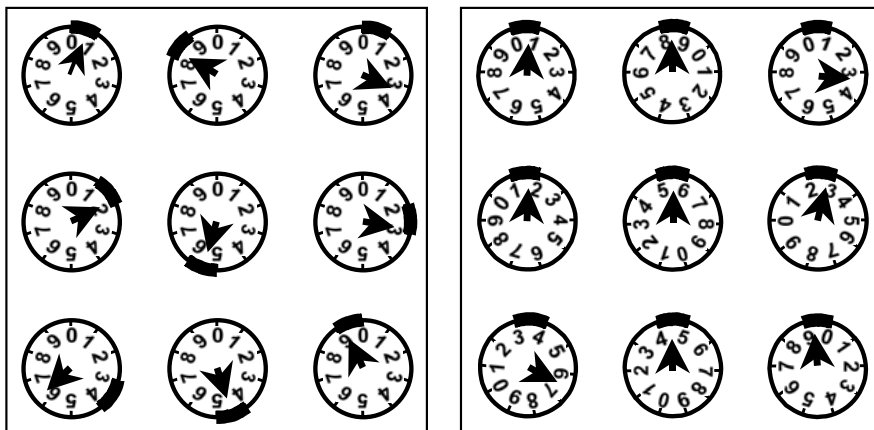
Ihmisen aisteista tärkein on näkö, jonka kautta ihminen saa 70–80 % kaikesta informaatiostaan. Tästä syystä näköön perustuvat näyttölaitteet ovat kaikkein tavallisimpia. Tietyissä tapauksissa kuulo on kuitenkin parempi informaatiokanava. Tällaisia ovat mm. tapaukset, joissa havainnoitsija joutuu liikkumaan, ympäristö on liian kirkas tai signaali on yksinkertainen ja vaatii välitöntä toimintaa. Tuntoaistista on jo aikaisemmin mainittu, että sitä voidaan käyttää tunnistamaan erilaisia kytkimiä.

Valvomoissa voidaan näyttölaitteet ryhmitellä noudattaen useita erilaisia periaatteita:

- Laitteet ryhmitellään käyttötiheyden mukaan niin, että usein käytettävät sijoitetaan lähemmäksi valvojaa ja harvemmin käytettävät kauemmaksi.

- Laitteet sijoitetaan siihen järjestykseen, jossa niiden käyttö tapahtuu.
- Laitteet sijoitetaan toiminnalliseen järjestykseen siten, että yhteen ryhmään kuuluvat yhden yksikön näyttölaitteet. Tämä on tavanomaista keskusvalvomoissa, joissa valvotaan usean eri yksikön toimintaa.
- Laitteet sijoitetaan tärkeysjärjestykseen siten, että tärkeimmät laitteet ovat havaitsemisen kannalta edullisissa paikoissa. Tarvittaessa tärkeitä laitteita voidaan korostaa esimerkiksi valitsemalla niille kooltaan suurempi mittari tai muuten väriltään ja muodoltaan muista poikkeava malli.

Jos näyttölaitteita on paljon, havaitaan poikkeamat normaalitilasta helpommin, jos mittareiden asteikot sijoitetaan siten, että normaalitilanteissa kaikki osoittimet ovat samansuuntaiset (kuva 4.7).



Kuva 4.7 Poikkeamat normaalitilanteesta havaitaan helpommin, jos osoittimet näyttävät normaalitilanteessa samaan suuntaan (Saari, 1973 a).

4.3.5 Teollinen muotoilu

Muotoilu voidaan jakaa kahteen ryhmään: taiteelliseen ja teolliseen muotoiluun. Taiteellisella muotoilulla ymmärretään taidekäsityötä ja teollisesti valmistettuja taiteesineitä. Teollinen muotoilu on teollisesti valmistettujen, useimmiten sarjavalmistettujen, tuotteiden muotoilua. Se on ympäristösuunnittelun yksi osa-alue.

Ergonomian ja muotoilun päämäärät ovat suurelta osin yhtenevät. Muotoilijan tulee tarkoin tuntea ergonomian lait. Muotoilussa on otettava huomioon seuraavat näkökohdat:

- **tuotteiden visuaalisen laadun kohottaminen:** esim. kuluttajan näköhavaintoon liittyvät psykologiset ja esteettiset tarpeet, yrityksen visuaalinen kokonaiskuva,
- **tuotteiden käyttöarvon parantaminen:** esim. säätöelementtien mielekäs järjestely, turvallisuus- ja huoltonäkökohtien, taloudellisuuden, mukavuuden ja viihtyvyyden ottaminen huomioon,
- **valmistettavuuden helpottaminen:** esim. yksinkertaisten valmistusmenetelmien ja yksinkertaisten asennusten ottaminen huomioon, pyrkimys tuotteen rakenteen ja volyymin yksinkertaistamiseen,
- järkevä **standardisoinnin** edistäminen,
- **markkinoitavuus:** esim. laatukäsitteeseen tulee sisällyttää käyttöikä, turvallisuus ja visuaalinen taso,
- pyrkimys **ympäristön saastumisen ehkäisemiseen ja luonnon tasapainon säilyttämiseen:** esim. tuotteen tai pakkauksen mahdollisen hävittämisen ja uudelleen käytön ottaminen huomioon.

Teolliselle muotoilulle on kehitetty erilaisia metodisia suoritustapoja (Ahola, 1983, Metsä-Ketelä, 1972). Näihin ei kuitenkaan tässä yhteydessä yksityiskohtaisemmin perehdytä. Todettakoon vain, että tarkoituksenmukainen on kaunis. Taiteelliset tavoitteet eivät saa vähentää toiminnallisia tavoitteita.

4.4 Kirjallisuutta

AHOLA, J. 1983. Teollinen muotoilu. 2. p. Espoo, Otakustantamo, julkaisu 441. 237 s.

EKMAN, K. 1996. Teollinen muotoilu tuotekehityksessä. Espoo, Teknillinen korkeakoulu, koneensuunnittelun laboratorio, julkaisu C 269. 69 s.

Ergonomiatiedotteet. Helsinki, Työterveyslaitos.

METSÄ-KETELÄ, H. 1972. Teollinen muotoilu koneensuunnittelussa. Tekniikan käsikirja, osa 7. 8. p. Jyväskylä, Gummerus. s. 261–276.

SAARI, J. 1973 a. Ergonomiset näkökohdat koneensuunnittelussa. Tekniikan käsikirja, osa 8. 8. p. Jyväskylä, Gummerus. s. 189–212.

SAARI, J. 1973 b. Ergonomian perusteita. Helsinki, Työterveyslaitos. 41 s.

TAKALA, A., VALTANEN, J. 1990. Teollinen muotoilu suomalaisessa PKT-kentässä. Helsinki, Taideteollisen korkeakoulun julkaisusarja C 2. 103 s.

5

LUOTETTAVUUS

Luotettavuudella ja **käyttövarmuudella** ymmärretään järjestelmän kykyä toimia ilman käyttökeskeytyksiä. Yleiskäsitteinä sanoja luotettavuus ja käyttövarmuus käytetään toistensa synonyymeinä.

Luotettavuustekniikka kehittyi voimakkaasti 1950-luvulla mutkikkaiden sotilaselektronikkajärjestelmien toimintavarmuutta selvittäessä. Luotettavuustekniikka on sen jälkeen otettu käyttöön monissa teknillisissä ongelmissa mm. ilmailussa, ydinvoimatekniikassa, prosessiteollisuudessa, tietoliikennetekniikassa jne.

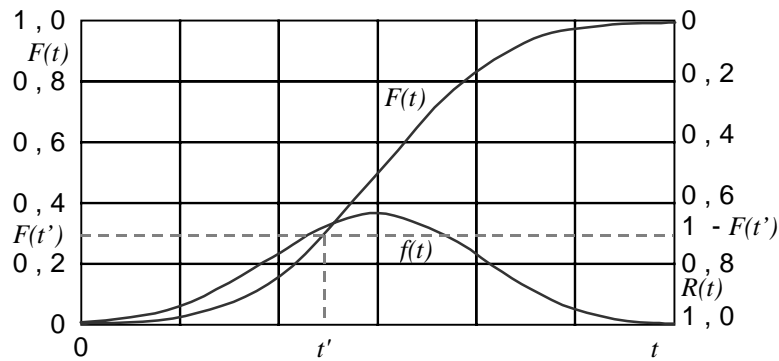
Tuotekehitysprosessin luonnostelu- ja kehittelyvaihe ovat tuotteen luotettavuuden kannalta ratkaisevia, sillä tällöin tehdään perusratkaisut, jotka määräävät, miten korkeaan luotettavuuteen yleensä voidaan päästä. Jos valmistus ei ole huolellista, ei korkeintaan mahdollistamaa luotettavuutta saavuteta. Näin myös valmistuksella ja valmistusmenetelmien valinnalla on oleellinen vaikutus tuotteen lopulliseen luotettavuuteen.

Järjestelmän luotettavuus riippuu sen osien luotettavuudesta ja siitä, miten järjestelmä on rakennettu. Rakenne määrää, miten yhden osan vioittuminen vaikuttaa koko järjestelmän toimintaan. Järjestelmän luotettavuutta selvittäessä laaditaan järjestelmästä luotettavuusmalli, joka esittää järjestelmän ja sen komponenttien välisen toiminnallisen riippuvuuden. Malli voi olla analyttinen tai graafinen. Mallin avulla pyritään selvittämään koko järjestelmän luotettavuus lähtien osien eli komponenttien luotettavuudesta.

Luotettavuuslaskujen suurimmat epätarkkuudet johtuvat komponenttien luotettavuuden arviointivirheistä. Tämä johtuu tavallisesti puutteellisesta tilastomateriaalista tai hajonan suuruudesta. Erityisesti mekaanisten osien osalta tiedot ovat yleensä puutteellisia. Elektroniikan komponenttien osalta asia tunnetaan jo paljon paremmin.

5.1 Komponenttien luotettavuus

Ajatellaan suoritettavan koe, jossa suuri joukko N samanlaisia komponentteja pannaan toimimaan hetkellä $t = 0$ ja tarkkaillaan niiden vioittumista. Piirretään vioittumien kertymäkäyrä, $F(t)$, joka esittää kuhunkin ajankohtaan mennessä tapahtuneiden vioittumien suhteellisen lukumäärän, murto-osana luvusta N , kuva 5.1. Kun viimeinenkin laite vihdoin vioittuu, saa $F(t)$ arvon yksi.



Kuva 5.1 Komponenttien vikakertymä $F(t)$ ja vikatiheys $f(t)$.

Kertymäkäyrän perusteella voidaan ennustaa myös koejoukkoon kuulumattoman samanlaisen komponentin todennäköinen vioittumisalttius. Todennäköisyys P , että komponentti vioittuu ennen hetkeä t' , on $F(t')$ ja todennäköisyys, että se vioittuu vasta hetken t' jälkeen on $1 - F(t')$. Merkitään aikaa vioittumishetkeen yleisesti kirjaimella t . Todennäköisyys, että komponentin vioittumisaika on $\tau \leq t$, on **vikakertymä**:

$$F(t) = P\{\tau \leq t\} \quad (5.1)$$

Todennäköisyys, että komponentti ei vioitu ennen valittua hetkeä t , on sen tähän hetkeen ulotettu **luotettavuus R**

$$R(t) = 1 - F(t) = P\{t > \tau\} \quad (5.2)$$

Vikakertymä ilmoittaa myös yksilön **epäluotettavuuden**

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (5.3)$$

Vikatiheys on vikakertymän aikaderivaatta, kuva 5.1

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (5.4)$$

Vikataajuus $z(t)$, on vikaan kuluvan ajan ehdollinen tiheysfunktio ehdon ollessa, ettei laite ole vioittunut ennen hetkeä t . Todennäköisyys, että laite vioittuu hetken t jälkeen aikavälillä Δt , on $z(t) \Delta t$. Matemaattisesti vikataajuus on

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} P\{t < \tau < t + \Delta t \mid \tau > t\} \quad (5.5)$$

Yhteys vikataajuuden $z(t)$, vikakertymän $F(t)$ ja vikatiheyden $f(t)$ välille saadaan seuraavasti.

Merkitään tapahtumaa, että komponentti vioittuu välillä $t \dots t + dt$, symbolilla A sekä tapahtumaa, että vioittuminen ei tapahdu ennen hetkeä t , symbolilla B eli

$$A = \{t < \tau < t + dt\}$$

$$B = \{\tau > t\}$$

Vikataajuus on tällöin

$$z(t) dt = P\{A \mid B\} = \frac{P\{AB\}}{P\{B\}}$$

missä $P\{AB\}$ merkitsee todennäköisyyttä, että A ja B tapahtuvat samanaikaisesti.

Koska tapahtuma A sisältyy tapahtumaan B, on

$$P\{AB\} = P\{A\}$$

ja

$$z(t) dt = \frac{P\{A\}}{P\{B\}} = \frac{P\{t < \tau < t + dt\}}{P\{\tau > t\}}$$

Vikatiheyden ja vikakertymän määritelmien mukaan

$$f(t) dt = P\{t < \tau < t + dt\}$$

$$F(t) = 1 - P\{\tau > t\}$$

joiden avulla vikataajuudelle saadaan lauseke

$$z(t) dt = \frac{f(t) dt}{1 - F(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)} \quad (5.6)$$

Jakamalla dt :llä ja sijoittamalla (5.2) saadaan vikataajuudelle myös lauseke

$$z(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (5.7)$$

Integroimalla yhtälö (5.6) saadaan

$$\int_0^t z(t) dt = -\ln \frac{1 - F(t)}{1 - F(0)}$$

josta

$$F(t) = 1 - [1 - F(0)] e^{-\int_0^t z(t) dt} \quad (5.8)$$

Yhtälön (5.1) mukaan $F(0)$ on vikakertymä käynnistyshetkeen $t = 0$ mennessä. Olettaen, että yksilö on käynnistettäessä ehjä, on $F(0) = 0$. Yhtälöiden (5.3) ja (5.8) mukaan luotettavuus on siis

$$R(t) = e^{-\int_0^t z(t) dt} \quad (5.9)$$

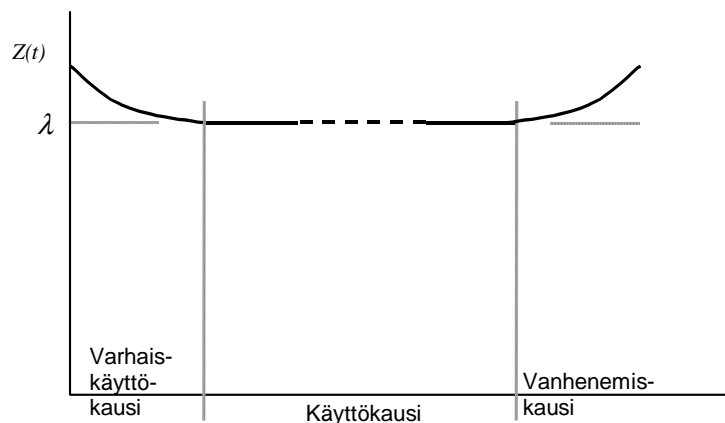
Tämä yhtälö lausuu luotettavuuden $R(t)$ ja vikataajuuden $z(t)$ välisen riippuvuuden.

Kokemus on osoittanut, että ns. lastentaudeista johtuen uutuuskomponenttien vikataajuus on aluksi suhteellisen suuri, mutta pienenee **varhaiskäyttökauden** jälkeen lähes vakiona pysyvään arvoon $z(t) = \lambda$. Siinä se säilyy tietyn **käyttökauden** ajan, kuva 5.2. Aikanaan yksilö vanhenee, vikoja ilmenee enemmän. On saavutettu **vanhenemiskausi**.

Vikataajuuden oletaminen vakioksi yksinkertaistaa laskutoimituksia. Luotettavuus on tällöin yhtälön (5.9) mukaan

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (5.10)$$

Sanotaan, että komponentin vikaan kuuluva aika on tällöin eksponentiaalisesti jakautunut. Tämä jakautumistapa on luonnollinen. Komponentin vioittumistodennäköisyys ei riipu menneisyydestä ja käytössä oleva komponentti on yhtä hyvä kuin uusi. Komponenttia ei kannata vaihtaa ennen kuin tullaan vanhenemiskaudelle. Muitakin jakautumismuotoja on. Niistä mainittakoon Weibull-jakautuma, jonka kaksi parametriä helpottaa teorian sovittamista kokemusperäisiin havaintoihin.



Kuva 5.2 Komponentin tavanomainen vikataajuusfunktio.

Keskimääräinen vioittumisaika m_F on komponentin vian ilmenemiseen kuluva odotusaika. Sen määrittelee yhtälö

$$m_F = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (5.11)$$

Yhtälöiden (5.2) ja (5.4) mukaan

$$m_F = -\int_0^{\infty} t dR(t) = -\int_0^{\infty} tR(t) + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5.12)$$

Käynnistyshetkellä $t = 0$, $R(t) = R(0) = 1$, joten $tR(0) = 0$. Toisaalta mikään laite ei pysy kunnossa ikuisesti, joten viimeistään hetkenä $t \Rightarrow \infty$ myös $tR(t) = 0$. Yhtälön (5.12) oikean puolen ensimmäinen termi katoaa ja

$$m_F = \int_0^{\infty} tR(t) dt \quad (5.13)$$

Jos vikataajuus on vakio, on keskimääräinen vioittumisaika yhtälön (5.10) mukaan

$$m_F = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \int_0^{\infty} \frac{e^{-\lambda t}}{-\lambda} = \frac{1}{\lambda} \quad (5.14)$$

Joissakin luotettavuuslaskelmissa tarkastellaan aikajaksoa, joka on paljon pienempi kuin m_F . Tällöin

$$R(t) \approx 1 - \frac{t}{m_F} \quad (5.15)$$

Komponentin **käytettävyys** $A(t)$ on todennäköisyys, jolla komponentti on käyttökunnossa tietyssä hetkenä t . Ennen ensimmäistä vikaa $A(t) = R(t)$, mutta yleisesti $A(t) > R(t)$. Käytettävyydelle voidaan johtaa lauseke

$$A(t) = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{1 + \frac{t_2}{t_1}} \quad (5.16)$$

jossa t_1 on toiminta- ja t_2 korjausaikojen summa.

5.2 Järjestelmän luotettavuus

Järjestelmän luotettavuutta tarkastellaan sen komponenttien luotettavuuksien funktiona. Tätä varten on selvitettävä järjestelmän rakenne, toiminta ja komponenttien vika-analyysi sekä laadittava järjestelmän vikamalli.

Ketjun lujuus on yhtä suuri kuin sen heikoimman renkaan. Tämä esimerkki kuvaa **sarjarakennetta**, jolle on ominaista se, että yhdenkin osan vika aiheuttaa koko järjestelmän vioittumisen. Jos kaikki komponentit ovat toisistaan riippumattomia, sarjarakenteen luotettavuus on komponenttien luotettavuuksien tulo

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (5.17)$$

ja sen vikataajuus komponenttien vikataajuuksien summa

$$z(t) = \sum_{i=1}^n z_i(t) \quad (5.18)$$

Erityisesti silloin kun komponentit ovat luotettavuudeltaan identtisiä, on

$$R(t) = [R_i(t)]^n \quad (5.19)$$

$$z(t) = n z_i(t) \quad (5.20)$$

Sarjarakenteen luotettavuus on aina pienempi kuin sen epäluotettavimman komponentin. Tämä pätee myös ketjuun nähden.

Jos vioittumisajat ovat jakautuneet eksponentiaalisesti, kunkin komponentin vikataajuus on vakio $z_i(t) = \lambda_i$, ja koko sarjarakenteen luotettavuus on

$$R(t) = e^{-t \sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (5.21)$$

sekä sen keskimääräinen vioittumisaika

$$m_F = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{Fi}}} \quad (5.22)$$

Sellainen järjestelmä, joka on kunnossa niin kauan kuin sen yksikin komponentti on kunnossa, on muodoltaan **rinnakkaisrakenne**. Sen epäluotettavuus on komponenttien epäluotettavuuksien eli vikakertymien tulo

$$F(t) = \prod_{i=1}^n F_i(t) \quad (5.23)$$

josta rakenteen luotettavuudelle saadaan yhtälö

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_i(t)] \quad (5.24)$$

Rinnakkaisrakenteen luotettavuus on suurempi kuin yhdenkään sen komponentin.

Jos rinnakkaisrakenteen kaikki n komponenttia ovat identtisiä ja niiden vikataajuus on vakio λ , sen luotettavuus on

$$R(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n \quad (5.25)$$

Samoilla edellytyksillä keskimääräinen vioittumisaika on

$$m_F = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \quad (5.26)$$

Siinä tapauksessa taas, että komponenttien vikataajuudet ovat eri suuria, mutta vakioita $\lambda_i(t) = \lambda_i$, rinnakkaisrakenteen luotettavuus on

$$R(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - e^{-\lambda_i t}) \quad (5.27)$$

Tällöin koko rakenteen vioittumisikä ei jakaudu eksponentiaalisesti.

k/n -rakenne on rinnakkaisjärjestelmä, joka toimii ehdolla, että vähintään k sen n :stä komponentista on kunnossa. Jos järjestelmän komponentit ovat identtisiä, koko rakenteen luotettavuus on

$$R(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} r^i(t) [1 - r(t)]^{n-i} \quad (5.28)$$

jossa komponentin luotettavuus on $r(t)$.

Esimerkki: $n = 3$, $k = 2$, $r(t) = 0,9$

$$\begin{aligned} R(t) &= \sum_{i=1}^n \binom{3}{i} 0,9^i [1 - 0,9]^{3-i} = \\ &= \binom{3}{2} 0,9^2 [1 - 0,9]^1 + \binom{3}{3} 0,9^3 [1 - 0,9]^0 = 0,97 \end{aligned}$$

Identtisten toisistaan riippumattomien komponenttien muodostaman k/n - rakenteen luotettavuus saadaan yhtälöstä (5.28) sijoituksella $r(t) = e^{-\lambda t}$.

Edellä on rakenteita tarkasteltu aikavälillä $0 \dots \tau$ eli käyttöönotosta vioittumishetkeen saakka. Rakenteen elinikä ei pääty tähän, vioittunut komponentti voidaan korjata tai vaihtaa uuteen. Tällöin rakenteen luotettavuus muuttuu, joten edellä olevat yhtälöt eivät kelpaa sellaisenaan käytettäväksi.

Eräissä tapauksissa rakenteelta vaaditaan niin suurta luotettavuutta, että sen toiminta on **varmennettava**. Tämä tarkoittaa sitä, että se kykenee suorittamaan asetetun tehtävän

useammalla kuin yhdellä tavalla. **Vaihtovarmennuksessa** varmentava osa kytketään vian tapahduttua vioittuneen osan tilalle.

Korjattavien ja varmennettujen rakenteiden luotettavuusanalyysit ovat yleensä erittäin työläitä tehtäviä.

5.3 Kirjallisuutta

DUMMER, G., TOOLEY, M., WINTON, R. 2000. An elementary guide to reliability. Oxford, Butterworth-Heinemann. 94 s.

HOLMBERG, K. 1999. Käyttövarmuus ja käyttökunnon hallinta. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT symposium 196. 154 s.

JÄÄSKELÄINEN, P. 1983. Elektroniikan luotettavuus. 3 p. Espoo, Otakustantamo, julkaisu 405. 151 s.

BENTLEY, J. 1999. Introduction to reliability and quality engineering. Harlow, Addison-Wesley. 202 s.

O' CONNOR, P. 1985. Practical reliability engineering. Chichester, Wiley. 398 s.

SFS-IEC 50(191). Sähköteknillinen sanasto: luotettavuus ja palvelun laatu. Helsinki, Suomen standardisoimisliitto. 143 s.

6

TUOTEKEHITYSTYÖN TULOSTEN SUOJAAMINEN

Tuotteen kehittäminen maksaa ja on kohtuullista, etteivät muut voi ilman muuta kopioida toisten kehittämiä tuotteita ja käyttää niitä kaupallisesti hyödykseen. Lainsäädännöllä on tehty mahdolliseksi yksinoikeussuojan hakeminen tekniselle ja taiteelliselle kehitystyölle. Suojajärjestelmään kuuluvat:

1. Patentsuoja, jolla suojataan teollisesti hyödynnettävissä oleva keksintö.
2. Mallisuoja, jolla suojataan esineen ja koristeen ulkomuoto.
3. Integroidun piirin piirimallisuoja.
4. Tekijänoikeussuoja, joka antaa suojan kirjallisille ja taiteellisille teoksille.
5. Tavaramerkkisuoja, jolla saadaan yksinoikeus tunnukseseen, millä erotetaan omat tuotteet muiden tuotteista.
6. Toiminimisuoja, jolla suojataan yrityksen nimi.
7. Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa. Laki kieltää harhaanjohtavan mainonnan ja jäljittelyn.

Eri suojamuodot on tarkoitettu eri tarkoituksiin. Joskus voidaan käyttää hyödyksi useitakin suojamuotoja. Tällöin on harkittava edullisinta toimintamuotoa. Seuraavassa käsitellään kahta ensimmäistä suojamuotoa yksityiskohtaisemmin ja muita suojia lyhyesti.

6.1 Patenti

Patentsuoja ei synny itsestään, vaan sitä on anottava patenti- ja rekisterihallitukselta patenttilaissa (L 550/67) ja -asetuksessa (A 669/80) säädetyllä tavalla. Patenttia ei anneta ensimmäiselle todelliselle keksijälle, vaan sille joka ensimmäisenä jättää hake-

muksensa. Jos keksijä on toisen palveluksessa ja keksintö koskee työtehtäviä tai työnantajan toimialaa, on keksijän velvollisuutena ottaa yhteys työnantajaansa ja kertoa keksinnöstään (L 656/67).

Työsuhdekeksintöjä lukuun ottamatta keksijällä ei ole mitään velvollisuuksia keksintönsä suhteen. Hän voi hakea patenttia tai jättää sen tekemättä. Jos keksijä julkaisee keksintönsä, ei hän sen jälkeen voi saada patenttia.

6.1.1 Patentoitavuus

Patentin kohteena on uusi, teollisesti käyttökelpoinen keksintö. Keksinnöllä ymmärretään uutta ja yllättävää tekniikkaa edistävää sommitelmaa. Keksinnöksi ei katsota tieteellistä teoriaa tai matemaattista menetelmää eikä menetelmää peliä tai liiketoimintaa varten. Patenttia ei saa myöskään tietokoneohjelmaa tai tietojen esittämistä varten. Kun keksintö koskee ravinto- tai lääkeaineita, patentin voi saada valmistusmenetelmään, mutta ei itse tuotteeseen. Sen sijaan kemialliselle yhdisteille voi saada patentin. Patenttia ei myönnetä kasvislajikkeisiin eikä eläinrotuihin tai niiden biologisiin jalostusmenetelmiin. Patentin voi kuitenkin saada mikrobiologiselle menetelmälle ja sellaisella menetelmällä aikaansaaduille tuotteille.

Tärkein patentoitavuuden edellytys on **uutuus**. Tavallisin uutuuden este on aikaisempi patentti tai patenttihakemus, joista keksintö ei oleellisesti eroa. Uutuuden esteenä ovat myös julkaisut, lehtikirjoitukset sekä julkinen keksinnön käyttö. Jos keksintö esitellään tilaisuudessa, johon suurella tai täsmälleen määrittelemättömällä henkilöryhmällä on ollut mahdollisuus osallistua, vaikka tätä mahdollisuutta ei olekaan käytetty hyväksi, keksintö tulee julkiseksi eikä sille enää myönnetä patenttia.

Toisena patentin edellytyksenä on, että keksintö **olennaisesti** eroaa aikaisemmin tunnetusta. Jos ammattimies pystyy ilman muuta aikaansaamaan kyseisen keksinnön, ei se ole riittävän omaperäinen eikä eroa riittävän olennaisesti ammattimiesten yleisesti tuntemasta. Tällöin patenttia ei voi saada.

Keksintö on oltava mahdollinen toteuttaa. Patentti ei takaa sitä, että keksintö toimii, mutta patenttia myönnettäessä toimiminen on oltava vähintään uskottavaa.

Uutuutena ei yleensä pidetä keksintöä, jossa ennestään tunnettua laitetta käytetään uuteen tarkoitukseen. Käyttötarkoitus ei ole keksinnön tuntomerkki. Tämä korostuu vuoden 1980 patenttilain muutoksessa (L 407/80), jossa on aikaisemmasta patenttilaista poiketen omaksuttu niin sanottu rajoittamaton tuotesuojan periaate, jolloin patenttisuoja käsittää kaikki tuotteen käyttöalueet, vaikkei niitä ole hakemuksessa esitetty.

6.1.2 Patentilla saavutetut oikeudet

Patentin omistajalla on yksinoikeus keksintönsä **ammattimaiseen hyväksikäyttöön**. Hyväksikäyttö sisältää keksinnön valmistuksen, toiselle tarjoamisen tai myymisen, maahantuomisen, vuokraamisen sekä käyttämisen.

Yksinoikeus ei käsitä yksityistä hyväksikäyttöä. Keksintöä saa myös vapaasti käyttää kokeissa, jotka koskevat itse keksintöä.

Patenttisuoja on voimassa määrätyn ajan, maksimiajan ollessa 20 vuotta, sekä vain niissä maissa, joissa patentti on haettu ja myönnetty.

Kun patenttihakemus on jätetty johonkin maahan, on hakijalla oikeus hakea 12 kk:n sisällä patenttia muissa maissa. 12 kk:n jälkeen patenttia ei enää myönnetä muissa maissa.

6.1.3 Patenttihakemus ja sen käsittely

Patenttihakemus tehdään kirjallisesti Suomessa patentti- ja rekisterihallitukselle (patenttivirus). Suomalaiset voivat hakea Suomen patenttiviruson välityksellä yhdellä hakemuksella myös patenttia useassa maassa yhtäaikaan eli ns. kansainvälistä patenttia.

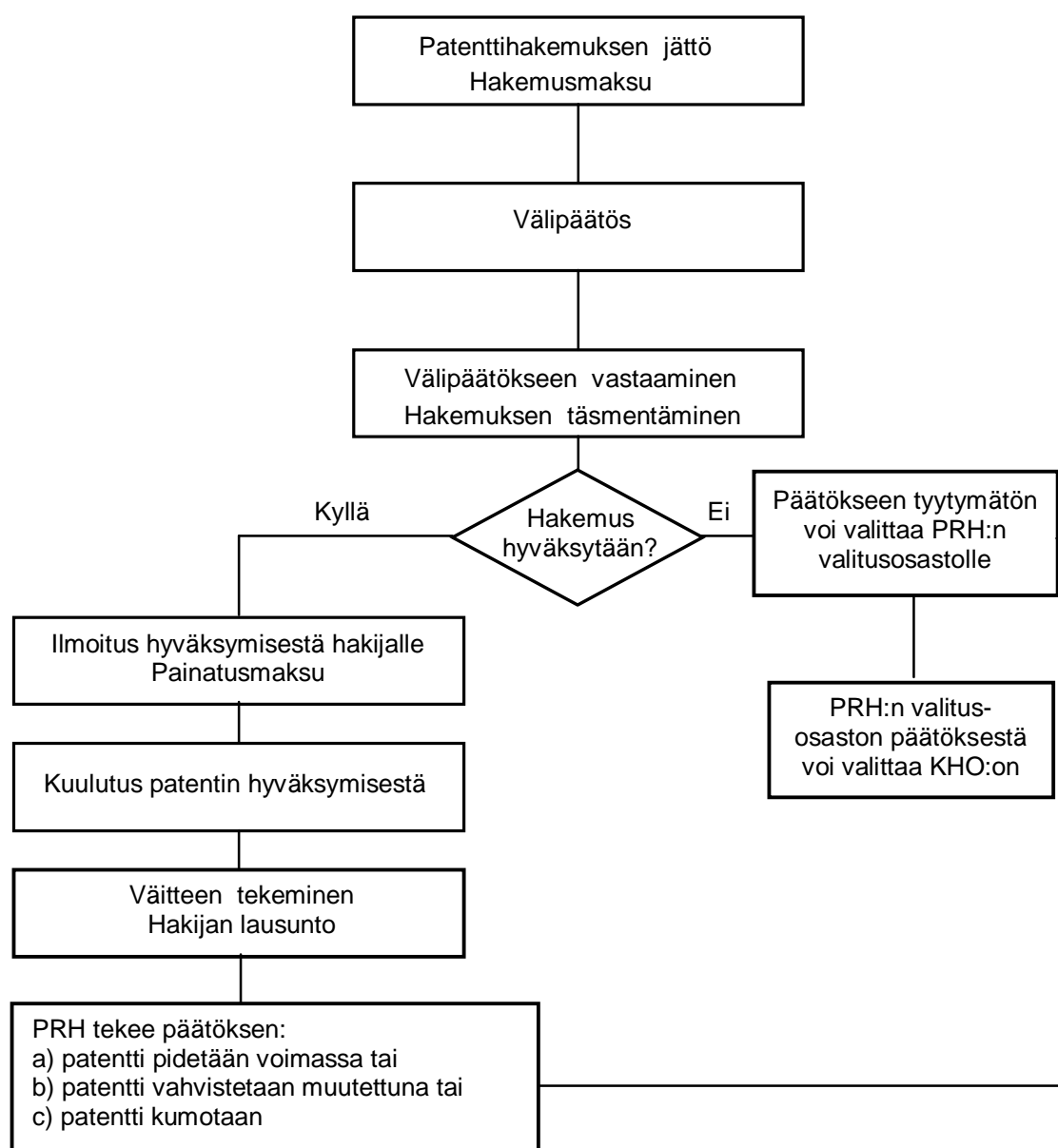
Hakemuksen tulee sisältää keksinnön **selitys**, tarvittaessa piirustuksineen, sekä täsmällisesti ilmaistuna se, mitä patentilla halutaan suojata, eli ns. **patenttivaatimukset**. Lisäksi hakemuksessa tulee olla tekniikan tietolähteeksi tarkoitettu selityksen ja patenttivaatimuksen **tiivistelmä**. Hakemusta tehtäessä on suoritettava vahvistettu **hakemusmaksu** (vuonna 2010 450 €[350 €sähköisesti tehty hakemus] + 40 €lisämaksu jokaisesta kymmenen ylittävästä vaatimuksesta).

Patenttihakemuksen käsittely noudattaa kaaviokuvaa 6.1. Patenttioviraston tutkijainainööri selvittää, ovatko patentin myöntämisen edellytykset olemassa. Selvitystyö tapahtuu pääasiallisesti eri maiden patenttiovirastojen julkaisujen ja julkiseksi tulleiden patenttihakemusten ja myönnettyjen patenttien perusteella.

Tavallisesti käy niin, että patenttia ei voida keksinnölle suoraan myöntää. Hakemus saattaa olla muodollisesti laadittu virheellisesti tai patenttivaatimus on niin laaja, ettei uutuusvaatimus ole täytetty. Tällöin patenttiovirasto antaa **välipäätöksen**, jossa hakijaa kehoitetaan määräajan kuluessa antamaan lausuntonsa ja korjaamaan hakemuksensa. Hakemusta voidaan nyt täsmentää ja patenttivaatimuksia muuttaa kuitenkin niin, ettei alkuperäisiin hakemuksiin lisätä sisällöllisesti uutta.

Mikäli patenttihakemus mahdollisine tarkistuksineen on hyväksyttävissä, patenttiovirasto antaa tästä ilmoituksen hakijalle. Hakijan on maksettava 2 kk kuluessa **painatusmaksu** (vuonna 2010 450 €[sähköisesti tehdyt asiakirjat 350 €]), jonka tapahduttua patentin hyväksymisestä kuulutetaan Patenttilehdessä. Tässä vaiheessa hakemus tulee julkiseksi. Jos hakemuksen käsittely on vienyt pitkän ajan, hakemus tulee julkiseksi jo ennen kuulutusta. Aikaraja on 18 kk. Patentin myöntöpäiväksi tulee päivä, jolloin hyväksymisestä on kuulutettu Patenttilehdessä.

Yhdeksän kuukauden kuluessa patentin myöntämisestä kuka tahansa saa tehdä myönnettyä patenttia vastaan **väitteen**, jossa esitetään perusteet patentin kumoamiseksi. Patentin hakija saa esittää oman kantansa mahdollisesta väitteestä, jonka jälkeen patenttiovirasto tekee päätöksensä patentin pitämisestä voimassa sellaisenaan tai muunnetussa muodossa tai patentin kumoamisesta. Päätökseen saa hakea muutosta 60 päivän ajan patenttioviraston valitusosastolta, jonka päätöksestä voi edelleen valittaa korkeimpaan hallinto-oikeuteen.



Kuva 6.1 Patentihakemuksen käsittelyn vaiheet.

Suomi liittyi kansainväliseen patenttiyhteistyösopimukseen (Patent Cooperation Treaty, lyh. PCT) vuonna 1980. Sopimukseen liittyneissä maissa keksinnön uutuus tutkitaan keskitetysti, kun se aikaisemmin tehtiin jokaisessa maassa erikseen.

Suomen patenttivirastoon tehtävä kansainvälinen hakemus laaditaan suomen-, ruotsin- tai englanninkielellä yhtenä kappaleena sitä varten tarkoitettulle vastaavan kieliselle lomakkeelle, jota on satavissa patenttivirastosta. Anomuslomakkeeseen on liitettävä

tavanomaiseen tapaan selitys, patenttivaatimukset, tiivistelmä ja mahdolliset piirustukset sekä maksulaskelma. Kansainväliselle hakemukselle asetetut muodolliset vaatimukset ovat erittäin yksityiskohtaiset ja ilmenevät PCT-sopimuksesta ja sen sovellussäännöistä.

Patenttivirasto toimittaa hakemuksen Maailman henkisen omaisuuden järjestön kansainväliseen toimistoon (World Intellectual Property Organization, lyh. WIPO) uutuustutkimusta varten.

Hakija voi valita kansainvälisten hakemusten uutuus- ja patentoitavuuden esitutkimuksia suorittavaksi kansainväliseksi viranomaiseksi joko Ruotsin tai Euroopan patenttiviraston. Viimeksi mainittua varten hakemus on laadittava englanninkielellä. Mikäli hakemus on jätetty suomen- tai ruotsinkielellä, hakijan on toimitettava Ruotsin virastoon ennen hakemuksen julkaisemista sen englanninkielinen käännös, koska hakemus julkaistaan tällä kielellä.

Uutuustutkimuksen jälkeen hakemuksen käsittelyä jatketaan nimettyjen maiden kansallisissa patenttivirastoissa, joista kukin ratkaisee itsenäisesti, myönnetäänkö keksinnölle patentti vai ei.

Jos keksijä haluaa patentin maassa, joka ei kuulu PCT-sopimuksen piiriin, on hakemus jätettävä ko. maan patenttivirastoon siinä muodossa kuin maan patenttilait määräävät.

Vuonna 1977 astui voimaan Euroopan patenttisopimus (EPC). Järjestelmään on liittynyt 18 valtiota, Suomi vuonna 1996. EPC-järjestelmässä hakemus toimitetaan patentti- ja rekisterihallitukseen tai suoraan Euroopan patenttivirastoon (EPO). Hakemuksessa nimetään ne maat, joissa patentti halutaan. EPO tekee uutuus- patentoitavuustutkimuksen sekä myöntää patentin. Patentti täytyy kuitenkin saattaa voimaan toimittamalla käännökset kansallisille patenttivirastoille. Eurooppa-patenttia koskevaa hakemusta ei erikseen tutkita kansallisissa patenttivirastoissa.

Afrikan Teollisoikeudellisen järjestön (OAPI) jäsenmaita varten myönnetään vain alueellinen patentti. Yhden OAPI-jäsenmaan nimeäminen merkitsee niiden kaikkien nimeämistä.

Sveitsin ja Liechtensteinin välillä on voimassa sopimus, jonka mukaisesti ne muodostavat yhtenäisen patenttisuojaj-alueen. Tämän johdosta näistä jommankumman nimeäminen merkitsee myös toisen nimeämistä.

6.1.4 Patentin hyödyntäminen

Patentti säilyy voimassa 20 vuotta hakemuksen jättämisestä lukien edellyttäen, että siitä maksetaan säädetty vuosimaksu. Vuosimaksu kohoaa voimassaolon myötä. Vuonna 2010 kolmen ensimmäisen patenttivuoden yhteismaksu oli 200 € ja 20. patenttivuoden maksu 900 €

Patentin haltija hyötyy patentistaan käyttämällä sitä itse, myymällä patentin tai valmistusoikeuden eli lisenssin. Lisenssin myynnin voi tehdä usealle valmistajalle, mutta tavallisesti annetaan yhdelle yksinvalmistusoikeus. Lisenssin luovuttaja saa yleensä sopimusta tehtäessä kertapalkkion sekä prosentuaalisen osuuden tuotteen myynnistä.

Jos joku käyttää toisen patenttia ilman lupaa, hän syyllistyy patentin loukkaukseen. Seuraamuksista oleellisin on vahingonkorvausvelvollisuus. Patentin haltija saa tavallisesti korvauksena runsaan lisenssin. Syytetty ei voi vedota siihen, ettei hän tiennyt patentin voimassaolosta.

6.1.5 Työsuhdekeksinnöt

Jos keksintö syntyy työsuhteessa, on keksijän neuvoteltava työnantajan kanssa keksinnön hyväksikäytöstä ja mahdollisen patentin omistusoikeudesta. Työnantajien joukossa poikkeuksen kuitenkin muodostavat yliopistot ja korkeakoulut. Niissä opettajat ja tutkijat omistavat aina keksintönsä, eikä neuvotteluja patentin hakemisesta työnantajan kanssa tarvitse käydä.

Työsuhdekeksintöjä koskevan lain (L 656/67) mukaan työnantajan oikeus keksintöön riippuu kahdesta seikasta, ensinnäkin miten keksintö liittyy työnantajan toimialaan ja toiseksi mikä on työnantajan osuus keksinnön syntymisessä.

- A. Jos keksintö liittyy työnantajan toimialaan ja se on syntynyt työtehtävien tuloksena tai syntymiseen on olennaisesti vaikuttanut työpaikan tekninen tieto ja taito, työnantajalla on oikeus valintansa mukaan ottaa keksintö kokonaan tai osaksi itselleen. Sama on tilanne, vaikkei keksintö liittyisi työnantajan toimialueeseen, mutta keksintö syntyy työnantajan antaman toimeksiannon tuloksena.
- B. Jos keksintö liittyy työnantajan toimialaan ja se on syntynyt muussa yhteydessä keksijän työsuhteeseen kuin A-tapauksessa, on työnantajalla oikeus lisenssiin.
- C. Jos keksinnön hyväksikäyttö kuuluu työnantajan toimialueeseen, mutta keksintö on syntynyt yhteydettä keksijän työsuhteeseen, on työnantajalla etuoikeus neuvotella keksijän kanssa oikeuksista keksintöön.
- D. Keksintöihin, jotka eivät liity työnantajan toimialueeseen eivätkä ole syntyneet työtehtävien tuloksena, työnantajalla ei ole mitään oikeutta.

Työsuhdekeksinnön syntyessä keksijällä on kaksi velvollisuutta. Ensinnäkin hänen tulee ilmoittaa kirjallisesti keksinnöstään työnantajalle ja toiseksi hän on salassapitovelvollinen niin, ettei keksintö tule julkiseksi, mikä estäisi patentin saamisen. Keksijä voi ilmoituksen tehtyään hakea patenttia Suomessa, mutta lopullinen patentin haltija ratkeaa, kun työnantajan kanssa on sovittu asiasta. Työnantajan tulee neljän kuukauden aikana vastata keksijälle, missä laajuudessa työnantaja katsoo omasta puolestaan keksinnön kuuluvan itselleen ja mikä olisi keksijän saama korvaus. Mikäli keksijä ja työnantaja eivät neuvotteluteitse pääse sopimukseen, käsitellään riitaisuudet Helsingin käräjäoikeudessa.

6.2 Hyödyllisyysmalli

Hyödyllisyysmalli on tarkoitettu ensisijaisesti sellaiselle keksinnölle, joka ei täytä patentin edellyttämää keksinnöllisyysvaatimusta, mutta jolle kuitenkin halutaan saada suoja ammattimaista hyväksikäyttöä varten. Suojan voi saada tekniseen ratkaisuun, jota

voidaan hyödyntää teollisesti. Keksinnön on patentin tapaan oltava uusi ja erottava selvästi kaikesta ennen rekisteröinnin hakemispäivää tunnetuksi tulleesta. Suojattavissa ovat myös kemialliset yhdisteet, ravinto- ja lääkeaineet sekä mikrobiologiset keksinnöt. Menetelmäkeksinnöille ei kuitenkaan suojaa saa.

Hyödyllisyysmallia haetaan patentti- ja rekisterihallitukselta. Hakemuksen muodostavat hakemuslomake ja sen liitteet keksinnön selitys, kuvat ja suojavaatimukset. Patentti- ja rekisterihallitus ei tutki keksinnön uutuutta tai keksinnöllisyyttä. Se ainoastaan tarkastaa, että hakemus on muodollisesti oikein laadittu. Jos hakemuksessa on huomautettavaa, patenttivirasto lähettää hakijalle välipäätöksen, jossa häntä kehoitetaan korjaamaan puutteet. Hakijalla on kaksi kuukautta aikaa tehdä korjaukset. Hyväksytty hyödyllisyysmalli merkitään hyödyllisyysmallirekisteriin ja siitä kuulutetaan Hyödyllisyysmallilehdessä.

Kuka tahansa voi milloin tahansa vaatia hyödyllisyysmallin julistamista mitättömäksi esimerkiksi sillä perusteella, että keksintö ei ole uusi.

Hyödyllisyysmallisuoja on halvempi kuin patenttisuoja. Rekisteröintimaksu vuonna 2010 oli 200 € ja lisämaksu jokaisesta viisi ylittävästä suojavaatimuksesta 20 €. Rekisteröinnin uudistamismaksu oli 250 €. Rekisteröinti on voimassa neljä vuotta ja sen voi uusia ensin neljäksi vuodeksi ja sen jälkeen vielä kahdeksi vuodeksi, joten pisimmillään suoja-aika on kymmenen vuotta.

Suomalainen hakija voi hakea hyödyllisyysmallisuojaa myös ulkomailla niissä maissa, joissa on voimassa hyödyllisyysmallilaki, kuten esimerkiksi Saksassa ja Tanskassa.

6.3 Mallisuoja

Mallioikeuslain (L 221/71) perusteella voi saada yksinoikeuden esineen ulkomuotoon samaan tapaan kuin patenttilain perusteella voi saada yksinoikeuden keksintöön. Mallilakia hyödyntävät ensisijaisesti muotoilijat. Mallisuoja voidaan käyttää yhdessä paten-

tin kanssa. Tällöin mallin rekisteröimishakemus ja patenttihakemus on jätettävä samalla kerralla.

Mallisuojan yleisiä periaatteita:

1. Mallilla tarkoitetaan tavaran ulkomuodon tai koristeen (ornamentin) esikuvaa.
2. Mallisuoja ei synny itsestään, vaan malli on rekisteröitävä.
3. Rekisteröimisoikeus kuuluu ensisijaisesti mallin luojaalle.
4. Tärkein edellytys rekisteröinnin saamiseksi on se, että malli oleellisesti eroaa aikaisemmin tunnetusta. Edelleen mallin on täytynyt syntyä itsenäisen luovan henkilön työn tuloksena.
5. Mallisuoja on ulkonäkösuoja, kun taas patenttisuoja on ideasuoja.
6. Ulkonäön ei tarvitse olla kaunis tai taiteellinen. Myös ruman ulkonäön voi suojata.
7. Mallisuojaalla saa yksinoikeuden mallin ammatilliseen käyttämiseen samaan tapaan kuin patentilla saa yksinoikeuden keksinnön ammatilliseen käyttämiseen.
8. Jäljitelmien valmistamiseen ja myyntiin syylistynyt on velvollinen korvaamaan aiheuttamansa vahingon.

6.3.1 Malli

Mallilla laissa tarkoitetaan tavaran ulkomuodon tai koristeen esikuvaa. Tavaroita ovat konkreettiset, teollisesti tai käsityönä valmistettavat esineet. Konkreettisia esineitä eivät ole esimerkiksi sisustussuunnitelmat, kampaukset, näyteikkunasomistukset, kaasut, nesteet ja käyttöohjeet. Sen sijaan tavaroita ovat esimerkiksi valmistalot, autot, autonrenkaat, polkupyörät, pakkauslaatikot, traktorit, avaimenperät, kotitalouskoneet, lukot, ikkunoiden tuulihaat, uistimet, polttoainebriketit ja proteesit.

Tavaraa on voitava myydä itsenäisenä tuotteena. Näin voidaan hakea esimerkiksi mallisuoja erikseen pöydän jalalle ja pöytälevylle, vaikkei niillä ole itsenäistä käyttöä. Niitä voidaan kuitenkin markkinoida erikseen. Sen sijaan esimerkiksi pullon kaulaa ei voi mallisuojata erikseen, sillä kaula on pullon epäitsenäinen osa. Suoja on haettava koko pullolle.

Suoja myönnetään tavaran ulkomuodolle. Siihen kuuluvat näkyvä geometrinen muoto, värit, pintojen rakenne ja yksityiskohdat. Mikä ei ole näkyvissä tavaraa rikkomatta, ei ole suojattavissa. Kuitenkin esimerkiksi laatikossa voidaan suojata myös se, mikä on nähtävissä, kun laatikko avataan. Avaaminen ei ole rikkomista, kun se tapahtuu avaamalla kansi, nostamalla luukku tai vastaavalla tavalla.

Mallilaissa sanotaan, että suoja myönnetään tavaran ulkomuodon tai koristeen esikuvalle, ei siis itse tavaralle. Tavaran ulkomuodon esikuva on piirustus tai mallikappale, jota käytetään valmistettaessa tavaraa. Muotti ei ole tavaran esikuva. Esimerkiksi piparkakkumuotti ei ole piparkakun malli eli esikuva, vaan se on haluttaessa muotin esikuva.

Mallisuojan voi saada myös koristeelle eli ornamentille. Tyypillisiä suojattavia koristeita ovat kuviot, joita käytetään kankaissa, tapeteissa, lautasliinoissa ja kertakäyttöasteoissa. Koristeelle on ominaista, että sitä käytetään koristustarkoituksessa. Tästä syystä esimerkiksi auton renkaiden kuviointia ei voi rekisteröidä koristeena, vaan renkaat on rekisteröitävä kokonaisuutena.

6.3.2 Mallin rekisteröimisen edellytykset

Mallin rekisteröimisen edellytyksenä on, että se

1. on uusi ja eroaa olennaisesti aikaisemmista malleista,
2. on luovan työn tulos,
3. ettei ole olemassa laissa määritettyä rekisteröinnin estettä.

Kohta yksi on samanlainen vaatimus kuin patenteillakin. Arvosteltaessa eroavuutta ei kiinnitetä huomiota yksinomaan yksityiskohtiin, vaan kokonaisvaikutelmaan, jonka tulee olla uusi.

Luovuusvaatimus merkitsee, ettei liian yksinkertaisia ja jokapäiväisiä malleja rekisteröidä. Tällaisia ovat esimerkiksi yksinkertaiset geometriset kuviot, kuten tasasivuinen kolmio, neliö ja ympyrä. Luovana ei myöskään pidetä esimerkiksi koristetta, missä esimerkiksi tarkasti matkitaan puun syiden kuvioita. Tällaista pidetään luonnon matki-

misena. Toisaalta luovuutta voi osoittaa luonnosta löytyvän muodon soveltaminen tiettyyn sopivaan tarkoitukseen.

Vaikka malli täyttäisi uutuuden ja luovuuden vaatimuksen, sitä ei rekisteröidä, jos on olemassa laissa mainittu este. Tällaisia esteitä ovat mm.

1. hyvien tapojen vastaisuus,
2. ilman asianomaista lupaa malliin otettu vaakuna, lippu tai muu tunnuskuva,
3. ilman lupaa otetut kuviot, jotka voidaan sekoittaa toisen sukunimeen, toiminimeen tai käyttämään tunnusmerkkiin.

6.3.3 Mallin rekisteröiminen

Mallin rekisteröimistä haetaan patentti- ja rekisterihallitukselta, missä on olemassa mallitoimisto. Hakeminen tapahtuu käytännössä tarkoitukseen laaditulla kaavakkeella, vaikkei sen käyttö olekaan pakollista. Hakemuksessa mainitaan hakijan nimi, mallin luoja ja ne tavarat, joita varten malli halutaan rekisteröidä. Tätä tavaraluetteloa ei saa jälkeinpäin täydentää. Jos esimerkiksi haluaa mallisuojaan juotoskolvin kahvalle, ei tavaraluetteloon saa myöhemmin lisätä esimerkiksi pistoolia, tukankuivaajaa ja kame-
raa, vaikka malli hyvinkin sopisi näidenkin kahvaksi. Tavaraluettelon on alun perin oltava riittävän täydellinen. Patentti- ja rekisterihallitus on tehnyt päätöksen käytettävistä tavaraluokituksesta.

Edelleen hakemuksessa voidaan pyytää hakemuksen pitämistä salassa. Pisin mahdollinen salassa pitämisaika on kuusi kuukautta. Ilman erityistä pyyntöä hakemus on julkinen hakemuksen jättämisestä alkaen. Tässä kohden mallihakemus poikkeaa patentti-
hakemuksesta.

Hakemuksen mukana jätetään luonnollisesti kuva mallista. Kuva voi olla piirros tai valokuva. Kuvan tulee olla sellainen kuin silmä näkee mallin. Paras on yleensä perspektiivikuva. Tekninen kokoonpanokuva ei kelpaa.

Hakemuksen liitteenä on hakijan annettava vakuutus siitä, että malli on hänen tietämänsä mukaan uusi.

Mallisuojan hakemisen jälkeen voi suoja hakea muissa maissa kuuden kuukauden aikana. Tällöin uusissa hakemuksissa on mainittava, missä maassa suoja on aikaisemmin haettu. Mallin rekisteröimisen ehdot, kuten uutuus, määräytyvät ensimmäisen hakemuksen jättöpäivän mukaan.

Samalla tavalla kuin patentin hakemisen yhteydessä peritään mallisuoja haettaessa erilaisia maksuja. Esimerkiksi hakemusmaksu vuonna 2010 oli 185 € kun tavaraluokkia oli yksi.

Hakemuksen käsittely tapahtuu samaan tapaan kuin patenttihakemuksen käsittely. Ensiksi selvitetään, onko mallin rekisteröimiselle esteitä. Jos esteitä löytyy, annetaan hakijalle välipäätös, johon hakijaa pyydetään vastaamaan. Jos vastausta ei anneta, hakemus jää sillänsä.

Kun hakemus täyttää vaatimukset, kuulutetaan hakemuksesta Mallioikeuslehdessä. Tämän jälkeen kuka tahansa voi tehdä vastaväitteen. Aikaa on kaksi kuukautta. Mahdollinen vastaväite annetaan tiedoksi hakijalle ja hän saa antaa oman lausuntonsa väitteestä.

Tämän jälkeen rekisteriviranomainen tekee lopullisen päätöksensä hyväksymisestä tai hylkäämisestä. Myönteisessä tapauksessa malli otetaan mallirekisteriin ja rekisteröinnistä kuulutetaan. Mallin haltija saa todistuksen rekisteröinnistä.

Rekisteriviranomaisen päätöksiin saa hakea muutosta kahden kuukauden ajan patentti- ja rekisterihallituksen valitusosastolta. Valitusosaston päätökseen tyytymätön voi edelleen valittaa korkeimpaan hallinto-oikeuteen samaan tapaan kuin patenttienkin kohdalla.

Mallin rekisteröinti on voimassa viisi vuotta rekisteröinnin hakemispäivästä lukien. Voimassaolon voi uusia neljästi viideksi vuodeksi kerrallaan. Suoja-aika on kuitenkin rajoitettu 15 vuoteen, jos malli on moniosaisen tuotteen osa ja se on tarkoitettu tuotteen

korjaamiseen alkuperäiseen muotoon. Mallisuojusta ei peritä vuosimaksuja. Sen sijaan mallin rekisteröinti ja rekisteröinnin uudistaminen ovat maksullisia.

6.4 Integroidun piirin piirimallisuoja

Vuonna 1991 tuli voimaan laki yksinoikeudesta integroidun piirin piirimalliin (L 32/91). Piirimallilla tarkoitetaan integroidun piirin osien kolmiulotteista sijoittelua.

Piirimallin tulee keksinnön tapaan olla omaperäinen. Mallin rekisteröintiä haetaan patentti- ja rekisterihallituksesta. Piirimallin saa patentista poiketen julkistaa ennen rekisteröinnin hakemista. Rekisteröintiä on kuitenkin haettava viimeistään kahden vuoden kuluessa siitä päivästä, jona piirimalli ensimmäisen kerran levitettiin yleisölle.

Jos piirimalli on syntynyt työtehtävissä, työnantaja omistaa piirimallin. Poikkeuksena ovat korkeakoulujen opettajat ja tutkijat, jotka omistavat keksimänsä piirimallit samalla tavalla kuin keksinnötkin.

Piirimallisuoja on voimassa 10 vuotta rekisteröinnin hakemisvuodesta tai jos piirimalli on ennen hakemista levitetty yleisölle, niin aika lasketaan levitysvuodesta.

Jollei piirimallin rekisteröintiä ole haettu tai piirimallia ole levitetty yleisölle 15 vuoden kuluessa mallin luomisvuoden päättymisestä, ei suojaa enää voi saada.

6.5 Tekijänoikeussuoja

Tekijänoikeuslaki (L 404/61, A 547/95) antaa suojan kirjalliselle ja taiteelliselle teokselle. Taiteellisia teoksia voivat olla taideteollisuuden ja taidekäsityön tuotteet, maalaukset, veistokset, näyttämöteokset, elokuvateokset ja sävellykset. Kirjallisia teoksia ovat paitsi kaunokirjalliset myös mm. tieteelliset teokset ja tällaisten teosten käännökset sekä tietokoneohjelmat.

Tekijänoikeus poikkeaa patentista ja mallisuojusta siinä, ettei sitä haeta eikä rekisteröidä. Suoja syntyy “itsestään” silloin, kun teos luodaan. Tekijänoikeus on voimassa tekijän elinajan ja 70 vuotta hänen kuolemansa jälkeen. Valokuvan tekijänoikeus on voimassa 50 vuotta sen vuoden päättymisestä, jona kuva valmistettiin.

Tekijänoikeuden haltijalla on yksinoikeus määrätä teoksen julkistamisesta ja valmistamisesta. Esimerkiksi teoksen kääntämistä tai äänittämistä ei saa tehdä ilman tekijän lupaa. Teosta ei saa myöskään muuttaa tekijän kirjallista tai taiteellista arvoa loukkavalla tavalla. Tekijän nimi tulee mainita teoksen yhteydessä.

Tekijänoikeus koskee sitä muotoa, johon tekijä on ajatuksensa saattanut, eikä itse ajatusta. Näin ollen tekijänoikeus ei suojaa esimerkiksi teknisen kirjoituksen sisältöä, vaan kirjoitukseen sisältyvät ideat ovat kaikkien käytettävissä, myös kaupallisesti. Näin ollen sisällölle on haettava ennen julkistamista patentti, jos se on patentoitavissa. Tekijänoikeuslaki ainoastaan kieltää teoksen kopioimisen ja levittämisen ilman tekijän lupaa.

Tekijänoikeudelle on määrätty eräitä rajoituksia. Teoksesta saa esimerkiksi ottaa kopion yksityiskäyttöön. Teoksesta voi ottaa lainauksen, kun lähde mainitaan ja lainaus esitetään alkuperäisen hengen mukaisena. Edelleen tekijänoikeus ei koske lakeja, asetuksia eikä viranomaisten eikä muiden julkisten elimien päätöksiä.

Tekijänoikeussuojaa ei saa ilman muuta mikä tahansa taidekäsityön tai taideteollisuuden tuote. Käytyjen oikeustapausten mukaan näyttää siltä, että taideteollisuuden tuotteet silloin, kun ne ovat käyttötaidetta (ruokailuvälineitä, huonekaluja jne.), eivät kuulu tekijänoikeuden piiriin. Niille on syytä hankkia mallisuoja. Sen sijaan lähempänä puhdasta taidetta olevat omaperäiset työt, kuten keramiikkataulut ja ryijyt, voivat olla tekijänoikeussuojan alaisia.

6.6 Tavaramerkkisuoja

Tavaramerkki on yrityksen tunnus, jota se käyttää erottamaan tuotteensa tai palveluksensa toisten yritysten tuotteista tai palveluksista. Tavaramerkissä voi olla kuvioita, kirjaimia, sanoja ja numeroita. Tavaramerkki voi olla myös tuotteen tai sen päällysteen

erikoislaatuinen asu. Tavaramerkistä määrätään tavaramerkkilaisissa (L 7/64) ja vastavassa asetuksessa (A 296/64).

Yksinoikeuden tavaramerkkiin saa joko rekisteröimällä tai vakiinnuttamalla. Merkkiä pidetään vakiintuneena, jos se on asianomaisessa elinkeino- ja kuluttajapiireissä yleisesti tunnettu merkin haltijan tavaroiden erityisenä merkinä. Rekisteröinti tapahtuu patentti- ja rekisterihallituksessa.

Rekisteröinnin edellytyksenä on, että se poikkeaa riittävästi aikaisemmin rekisteröidyistä ja vakiintuneista merkeistä sekä toisten toiminimistä. Edelleen merkin on oltava erottamiskykyinen, millä tarkoitetaan, että tavaramerkin tulee olla omiaan erottamaan omat tavarat toisten tavaroista. Esimerkiksi yleisnimiä, jotka ilmoittavat, mistä tavaralajista on kyse, ei voi rekisteröidä. Näin saunalle ei voi rekisteröidä tunnusta sauna.

Tavaramerkkinä voi olla myös iskulause, kuten “Koff - juomia joka janoon” tai “9 filmitähteä 10:stä käyttää Lux-saippuaa”. Iskulausetta ei voi kuitenkaan rekisteröidä, vaan se saa suojan vain vakiintuneisuuden kautta.

Tavaramerkin rekisteröinti on voimassa 10 vuotta. Rekisteröinnin voi uudistaa aina kymmenen vuoden jaksoksi kerrallaan.

6.7 Toiminimisuoja

Toiminimi on elinkeinonharjoittajan toiminnassaan käyttämä nimi. Toiminimeä koskevat säännökset ovat toiminimilaisissa (L 128/79).

Elinkeinonharjoittajalla on yksinoikeus toiminimeensä. Se merkitsee, että toinen elinkeinonharjoittaja ei saa käyttää siihen sekoitettavissa olevaa nimeä. Yksinoikeus saadaan joko rekisteröimällä tai vakiinnuttamalla nimi tavaramerkin tapaan. Rekisteröinti tapahtuu patentti- ja rekisterihallituksessa pidettävään kaupparekisteriin. Toiminimi katsotaan vakiintuneeksi, jos se on yleisesti tunnettu niiden keskuudessa, joihin elinkeinonharjoittajan toiminta kohdistuu.

6.8 Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa

Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa (L 1061/78) kieltää kaiken hyvän liiketavan vastaisen tai muutoin toisen elinkeinonharjoittajan kannalta sopimattoman menettelyn. Lain mukaan ei saa käyttää totuudenvastaista tai harhaanjohtavaa ilmaisua (esimerkiksi mainosta), joka koskee omaa tai toisen elinkeinotoimintaa.

Sopimattomana menettelyä pidetään myös sitä, jos joku hankkii oikeudettomasti tietoja toisen liikesalaisuuksista ja käyttää tai ilmaisee niitä. Toisen palveluksessa oleva ei saa ilmaista liikesalaisuuksia eikä käyttää niitä hyväkseen. Tämä koskee mm. tuotekehitystyön tuloksia.

Joskus jäljittelyä pidetään sopimattomana menettelyä. Tällaisiin tapauksiin kuuluu toisen yrityksen hyvin omaperäisen tuotteen jäljittely. Jäljitellyn tuotteen tulee lisäksi toimia jonkinlaisena valmistajan tunnuksena. Sopimattomana on pidetty myös systemaattista kopiointia. Yleissääntö kuitenkin on, että jollei tuote nauti patentti-, malli- tai tekijänoikeussuojaa, niin sitä voi vapaasti jäljitellä.

6.8 Kirjallisuutta

A 252. 1971. Mallioikeusasetus 2.2.1971/252 sekä muutokset A 75/739, A 76/943, A 95/1703, A 02/620.

A 296. 1964. Tavaramerkkiasetus 29.5.1964/296 sekä muutokset A 68/5, A 73/760, A 75/740, A 76/271, A 76/943, A 79/209, A 81/133, A 83/997, A 92/258, A 95/1702, A 96/188, A 00/370.

A 574. 1995. Tekijänoikeusasetus 21.4.1995/574 sekä muutokset A 96/160, A 05/1036, A 06/1173, A 08/1, A 08/1004.

A 527. 1988. Asetus oikeudesta työntekijän tekemiin keksintöihin 10.6.1988/527 sekä muutos A 00/1218.

A 669. 1980. Patenttiasetus 26.9.1980/669 sekä muutokset A 85/505, A 92/583, A 94/71, A 94/595, A 96/104, A 97/246, A 00/674, A 04/1200, A 06/144, A 07/1118, A 08/603.

A 1419. 1991. Asetus hyödyllisyysmallioikeudesta 5.12.1991/1419 sekä muutokset A 95/1701, A 96/119, A 08/701.

L 7. 1964. Tavaramerkkilaki 10.1.1964/7 sekä muutokset L 65/751, L 70/552, L76/176, L 80/795, L 83/996, L 92/581, L 92/1038, L 93/39, L 95/716, L 95/1699, L 95/1715, L 00/56, L 04/1220, L 06/680, L 10/393.

L 32. 1991. Laki yksinoikeudesta integroidun piirin piirimalliin 11.1.1991/32 sekä muutokset L 92/579, L 92/1036, L 95/719, L 99/631, L 06/681, L 10/396.

L 128. 1979. Toiminimilaki 2.2.1979/128 sekä muutokset L 90/233, L 90/1279, L 93/1123, L 94/1076, L 94/1302, L 97/148, L 01/247, L 01/1492, L 04/796, L 06/682, L 06/910.

L 221. 1971. Mallioikeuslaki 12.3.1971/221 sekä muutokset L 91/802, L 92/578, L 92/1035, L 92/1411, L 95/718, L 02/596, L 02/1215, L 06/685, L 10/394.

L 404. 1961. Tekijänoikeuslaki 8.7.1961/404 sekä muutokset L 71/669, L 74/648, L 80/897, L 82/960, L 84/442, L 84/578, L 86/54, L 87/309, L 91/34, 93/418–419, L 94/1254, L 95/446, L 95/715, L 95/1024, L95/1654, L 97/365, L 97/967, L 98/250, L 98/748, L 03/398, L 05/821, L 06/345, L 06/679, L 06/1228, L 07/1436, L 08/663, L 09/1442, L 10/307.

L 550. 1967. Patenttilaki 15.12.1967/550 sekä muutokset L 67/653, L 71/575, L 80/407, L 85/387, L 91/801, L 92/577, L 92/1409, L 94/593, L 95/717, L 95/1695, L 97/243, L 00/650, L 04/990, L 05/896, L 06/295, L 06/684, L 10/392.

L 656. 1967. Laki oikeudesta työntekijöiden tekemiin keksintöihin 29.12.1967/656 sekä muutokset L 82/961, L 88/526, L 95/1698, L 00/1078, L 06/370.

L 800. 1991. Laki hyödyllisyysmallioikeudesta 10.5.1991 sekä muutokset L 92/580, L 92/1037, L 92/1410, L 95/720, L 95/1396, L 95/1696, L 06/686, L 08/700, L 10/395.

L 1061. 1978. Laki sopimattomasta menettelystä elinkeinotoiminnassa 22.12.1978/1061 sekä muutokset L 86/405, L 90/810, L 00/1073, L 01/1582, L 02/461, L 08/562.

HAARMANN, P-L. 1988. Immateriaalioikeuden lakikirja. Helsinki, Lakimiesliiton kustannus. 610 s.

HAARMANN, P-L. 1989. Immateriaalioikeuden oppikirja. Helsinki, Lakimiesliiton kustannus. 208 s.

RAJALA, K. (toim.) 1998. Tutkimuksen tekijänoikeudet. Helsinki, WSOY. 211 s.

<http://www.finlex.fi> (Valtion SÄÄDÖSTIETOPANKKI – FINLEXin internet osoite)

<http://www.prh.fi> (Patentti- ja rekisterihallituksen internet osoite)

7

OPTIMOINNIN PERUSTEET

7.1 Johdanto

Ideoiden arvostelun yhteydessä kävi ilmi, että absoluuttisesti parasta ratkaisuvaihtoehtoa ei yleensä varmuudella pystytä löytämään. Tämä johtuu siitä, ettei ole olemassa yleispätevää kriteeriä, jolla voitaisiin määrätä tuotteen hyvyys, vaan ratkaisu riippuu arvostuksista. Laitteen suunnittelijan on kuitenkin arvioitava, mille seikoille potentiaaliset asiakkaat tulevat asettamaan painon ja tämän jälkeen pyrittävä löytämään mahdollisimman edullinen ratkaisu eli optimoitava konstruktio valitun kriteerin suhteen. Laitteen myynnissä on sitten markkinoitava myös tuotteen hyvyysidea.

Optimoitavana funktiona voi olla valmistuskustannukset, massa, tilavuus, häviöt, laitteen antama teho jne. Useasti se on jokin yhdistelmä näistä. Esimerkiksi tehomuuntajien kohdalla optimoitava funktio on tavallisesti valmistushinnan ja elinikäen syntyvien häviökustannusten summa kapitalisoituna ostohetkeen. Optimoitavaa funktiota kutsutaan myös hyvyys-, kustannus-, kohde- tai objektifunktioksi. Oikean kohdefunktion etsiminen on eräs tärkeimpiä tehtäviä ratkaistaessa optimointiongelmaa. Tässä yhteydessä ei kuitenkaan käsitellä kohdefunktion muodostamista, vaan ainoastaan niitä matemaattisia menetelmiä, joilla kohdefunktion ääriarvokohta voidaan löytää.

Jonkin komponentin tai laitteen suunnittelu voidaan yleensä kuvata numerosarjalla. Nämä numerot ovat tavallisesti laitteen mittoja ja fysikaalisia ominaisuuksia, mutta ne voivat merkitä myös materiaalikoodeja, työtapakoodeja jne. Merkitään numerosarjan elementtejä x_1, x_2, \dots, x_n . Seuraavassa niitä kutsutaan suunnittelumuuttujiksi ja suunnittelumuuttujien muodostamaa vektoria

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (7.1)$$

suunnitteluvektoriksi. Kutakin suunnittelumuuttujaa voidaan pitää suunnittelumuuttujien avaruudessa yhtenä ulottuvuutena ja kutakin suunnitteluvektoria pisteinä tässä avaruudessa. Kohdefunktiota merkitään $f(X)$:llä.

Yleensä suunnittelumuuttujia ei voida valita täysin vapaasti, vaan niitä sitovat toisiinsa tietyt rajoitukset. Esimerkiksi laitteen mittojen tulee olla positiivisia, lämpeneminen ei saa ylittää sallittua arvoa, moottorin huippumomentin tulee olla yli tietyn arvon jne. Rajoitusten muodostamat yhtälöt ovat yhtälöitä ja epäyhtälöitä. Yhtälön muotoinen rajoitus

$$g(X) = 0 \quad (7.2)$$

on joidenkin tai kaikkien suunnittelumuuttujien välinen ehto, jonka tulee olla täytetty. Esimerkiksi ehtona voi olla, että muuntajan oikosulkureaktanssilla tulee olla tietty arvo. Epäyhtälön muotoinen ehto

$$g(X) \leq 0 \quad (7.3)$$

esittää tyypillistä suunnittelun rajoitusta, kuten aikaisemmin mainittu: lämpenemisen on oltava sallitulla alueella.

Jotta suunnittelutehtävä voitaisiin yleensä ratkaista, tulee yhtälönmuotoisia rajoituksia olla vähemmän kuin suunnittelumuuttujia. Epäyhtälömuotoisia rajoituksia saa olla kuinka paljon tahansa. Ehtoyhtälöt (7.2) ja (7.3) rajoittavat suunnittelumuuttujien avaruudesta tietyt alueet pois. Jäljelle jäävää aluetta, josta optimia etsitään, kutsutaan seuraavassa "käyväksi alueeksi" ja pisteitä tällä alueella käyviksi ratkaisuuksi tai mahdollisiksi suunnitteluvaihtoehdoiksi.

Matemaattisessa muodossa optimointiprobleema kuuluu:

Etsi $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, jolla

$$\begin{aligned}
f(X) &= \max \quad (\text{tai min}), \text{ kun} \\
g_1(X) &= 0 \\
&\vdots \\
g_r(X) &= 0, \quad r < n \\
g_{r+1}(X) &\leq 0 \\
&\vdots \\
g_m(X) &\leq 0
\end{aligned} \tag{7.4}$$

Jos $g_i(X)$ -funktioita ei ole, kutsutaan optimointitehtävää vapaaksi ääriarvotehtäväksi. Kun $g_i(X)$ -funktioita on, kutsutaan tehtävää sidotuksi ääriarvotehtäväksi.

Matemaattiset optimointimenetelmät voidaan luokitella esimerkiksi seuraavasti:

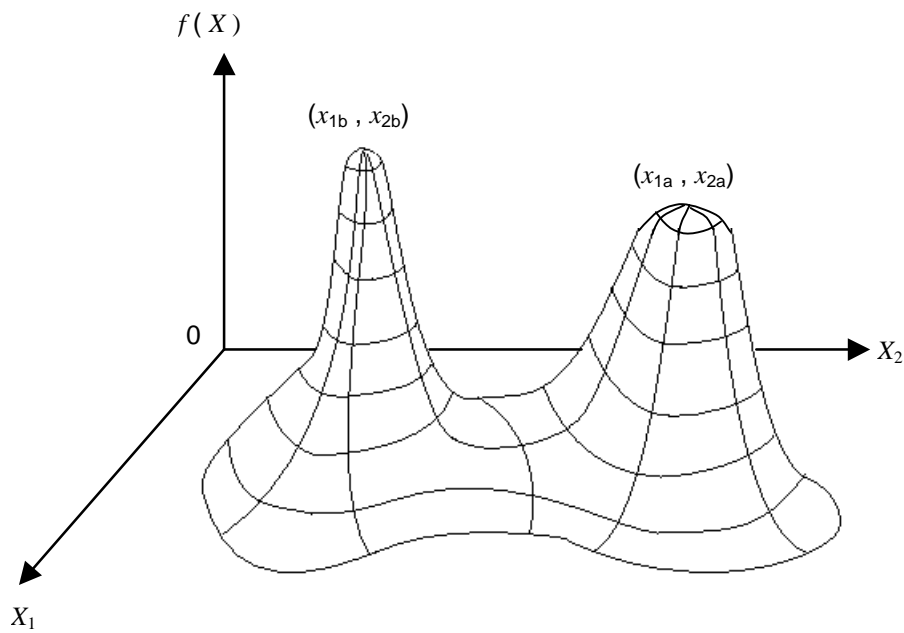
1. Yhden muuttujan vapaat optimointimenetelmät (rajoittavia ehtoja eli g_i -funktioita ei ole).
2. n -muuttujan ($n > 1$) vapaat optimointimenetelmät (rajoittavia ehtoja eli g_i -funktioita ei ole).
3. Sidotut optimointimenetelmät (rajoittavia ehtoja eli g_i -funktioita on).

7.2 Terminologiaa

Absoluuttinen maksimi. Funktiolla $f(X)$ on absoluuttinen maksimi tietyllä alueella pisteessä X^* , jos $f(X) \leq f(X^*)$ kaikkialla ko. alueella.

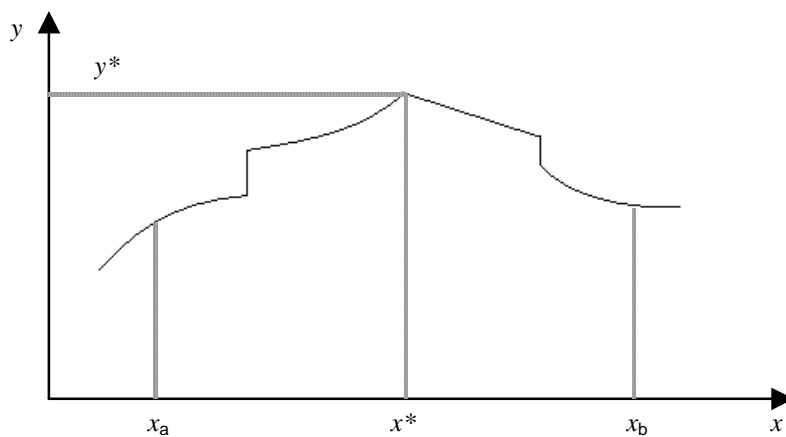
Paikallinen eli suhteellinen maksimi. Funktiolla $f(X)$ on paikallinen eli suhteellinen maksimi tietyllä alueella pisteessä X_0 , jos X_0 :n ympäristössä $f(X) \leq f(X_0)$, mutta muualla ko. alueella on piste tai pisteitä, joissa $f(X) \geq f(X_0)$.

Kuvassa 7.1 on funktiolla $f(X) = f(x_1, x_2)$ paikallinen maksimi pisteessä (x_{1a}, x_{2a}) ja absoluuttinen maksimi pisteessä (x_{1b}, x_{2b}) .



Kuva 7.1 Piste (x_{1a}, x_{2a}) on paikallinen maksimi ja piste (x_{1b}, x_{2b}) on absoluuttinen maksimi.

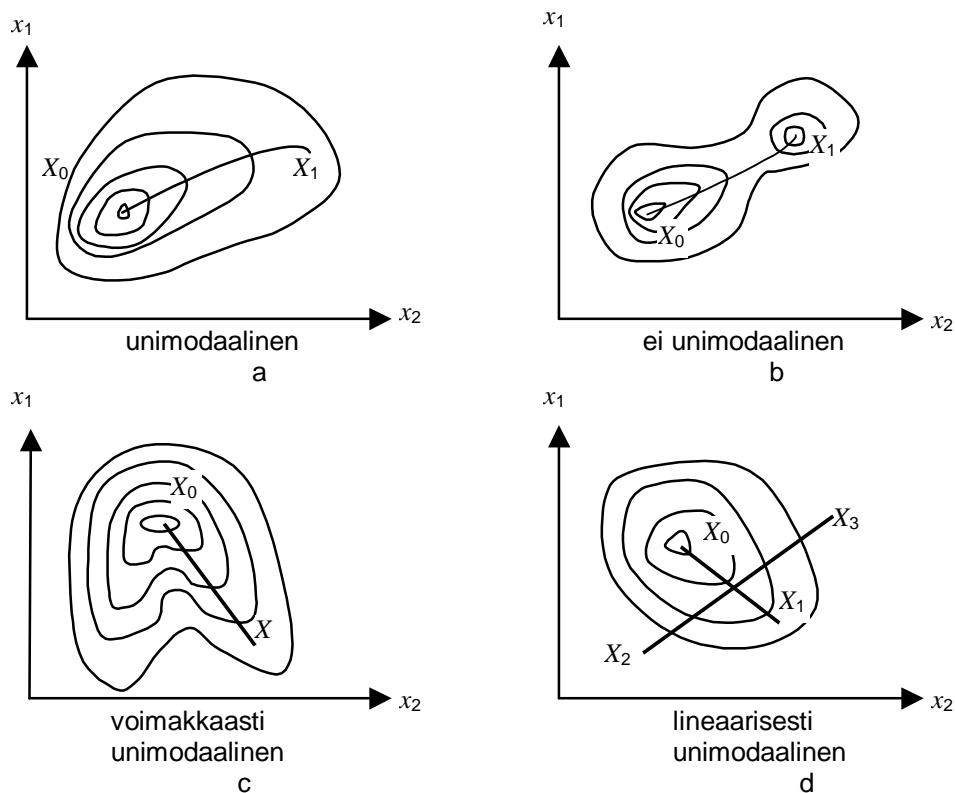
Unimodaalisuus. Jos yhden muuttujan funktiolla on vain yksi ääriarvokohta tietyllä välillä, sanotaan sen olevan unimodaalinen tällä välillä. Esimerkiksi kuvassa 7.2 esitetty funktio on unimodaalinen välillä (x_a, x_b) . Funktio saa maksimiarvonsa y^* pisteessä x^* . Funktio ei tarvitse olla derivoituva eikä jatkuva.



Kuva 7.2 Unimodaalinen funktio.

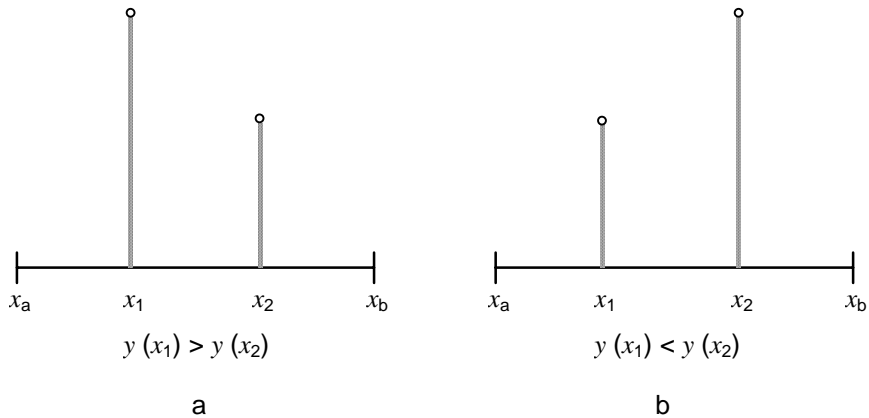
Unimodaalisuuden käsite voidaan laajentaa koskemaan useamman muuttujan funktiota. Unimodaalisuuteen kuuluu, että funktiolla on vain yksi ääriarvopiste tarkasteltavalla alueella. Kuvassa 7.3 on esitetty kolmenlaista unimodaalisuutta.

Funktion sanotaan olevan unimodaalinen, jos on olemassa tietyn ääriarvopisteen X_0 ja avaruuden jokaisen muun pisteen X välillä yhdysviiva (ei välttämättä suora), jota pitkin funktion arvot yksinomaan joko nousevat tai laskevat (kuva 7.3 a). Kuvassa 7.3 b ei ole mahdollista löytää reittiä ääriarvopisteen X_0 ja pisteen X_1 välillä, jota pitkin funktion arvot ainoastaan nousevat tai laskevat, ja funktio ei ole unimodaalinen. Jonkin verran ankarampi unimodaalisuuden muoto on voimakkaasti unimodaalinen, joka edellyttää, että funktion arvot nousevat tai laskevat jokaisen alueen pisteen X ja ääriarvopisteen X_0 välisellä suoralla viivalla. Näin on kuvassa 7.3 c. Vieläkin tiukempi unimodaalisuuden laji, lineaarisesti unimodaalinen, on esitetty kuvassa 7.3 d. Tässä tapauksessa funktion arvot ovat unimodaalisia jokaisella suoralla, joka yhdistää kaksi mielivaltaista alueen pistettä (esim. X_0 , X_1 , ja X_2 , ja X_3).



Kuva 7.3 Unimodaalisuuden eri asteita.

Jatkoväli. Tämän käsitteen havainnollistamiseksi tarkastellaan unimodaalista funktiota, jonka maksimia etsitään väliltä (x_a, x_b) , kuva 7.4. Funktion arvot lasketaan kahdessa koepisteessä x_1 ja x_2 . Kaksi tulosta on mahdollista.



Kuva 7.4 Jatkoväli a (x_a, x_2) ja b (x_1, x_b) .

Jos, $y(x_1) > y(x_2)$ (kuva 7.4a), maksimikohta on osavälillä (x_a, x_2) ; muussa tapauksessa, maksimipiste on välillä (x_1, x_b) (kuva 7.4b). Kummassakin tapauksessa osaväliä, jossa maksimi esiintyy, kutsutaan jatkoväliksi. Ennen kuin koepisteitä x_1 ja x_2 valittiin ja funktion arvoja laskettiin, oli väli (x_a, x_b) jatkoväli.

7.3 Yhden muuttujan funktion vapaita optimointimenetelmiä

Taulukossa 7.1 on lueteltu yhden muuttujan funktion optimointimenetelmiä, kun rajoittavia yhtälöitä ei ole. Ääriarvokohdassa on kohdefunktion $f(x)$ ensimmäinen derivaatta $f'(x)$ nolla. Klassisen differentiaalilaskennan käyttökelpoisuutta rajoittaa kuitenkin useimpien kohdefunktioiden mutkikas ja epälineaarinen luonne. Taulukon ryhmässä II on esitetty joukko numeerisia menetelmiä $f'(x)$:n nollakohtien määrittämiseksi.

Taulukon ryhmässä III on esitetty hakumenetelmiä, joissa ei tarvitse tuntea kohdefunktion derivaattaa $f'(x)$. Ne edellyttävät vain, että kohdefunktio $f(x)$ on laskettavissa. Jaksottaiset menetelmät edellyttävät lisäksi, että kohdefunktio on unimodaalinen. Sen sijaan menetelmät eivät vaadi kohdefunktion derivoituvuutta eivätkä jatkuvuutta. Seuraavassa käsitellään hakumenetelmiä. Menetelmien vertailun yksinkertaistamiseksi

oletetaan, että väli, josta ääriarvo etsitään, on sopivalla lineaarisella muunnoksella siirretty yksikköväliin (0,1). Sen tähden kunkin menetelmän jatkovälin pituus on aluksi 1.

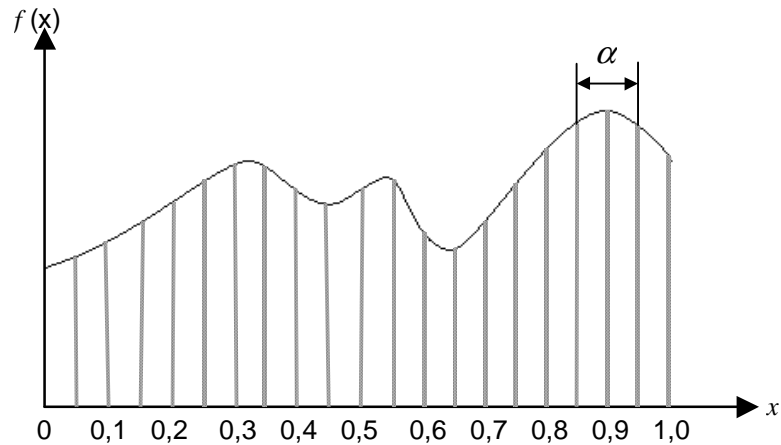
Yksiulotteiset hakujärjestelmät luokitellaan kahteen ryhmään: **simultaanisiin ja jaksottaisiin menetelmiin**. Simultaanisissa menetelmissä kaikki pisteet, joissa funktion arvo lasketaan, valitaan etukäteen. Jaksottaisissa menetelmissä otetaan oppia aikaisemmin lasketuista kohdefunktion arvoista ja uusi laskettava piste riippuu edellisistä funktion arvoista.

Taulukko 7.1 Yhden muuttujan funktion vapaita optimointimenetelmiä.

- I Differentiaalilaskenta
- II Numeeriset menetelmät $f'(x)$:n nollakohtien etsimiseksi
 1. Newtonin menetelmä
 2. Lineaarinen interpolaatio
 3. Iteraatiomenetelmä
 4. Menetelmiä polynomeille
 - a) Bernoullin menetelmä
 - b) QD-algoritmi
 - c) Graeffen menetelmä
- III Hakumenetelmät
 - A. Simultaaniset menetelmät
 1. Tyhjentävä haku
 - B. Jaksottaiset menetelmät
 1. Jaksottainen tyhjentävä haku
 2. Dikotominen haku
 3. Fibonaccin haku
 4. Kultaisen leikkauksen hakumenetelmä

7.3.1 Tyhjentävä haku

Kuva 7.5 havainnollistaa tyhjentävää hakuja. Siinä kohdefunktion arvo lasketaan samansuuruisen ($\alpha/2$) välimatkojen päästä. Kohdefunktion ei tarvitse olla derivoituva eikä edes jatkuva. Välimatkojen tulee olla kyllin pieniä, jotta kaikki tarpeelliset funktion piirteet tulisivat esille. Tarvittavia funktion arvoja on laskettava



Kuva 7.5 Tyhjentävä haku.

$$N = \frac{2}{\alpha} - 1 \quad (7.5)$$

Selvästikään tämä ei ole kovin tehokas keino, jos halutaan tarkka tulos, jolloin α on pieni. Pieni α on valittava myös silloin, kun kohdefunktion muoto on vaikeasti arvioitavissa.

7.3.2 Jaksottainen tyhjentävä haku

Jaksottaisissa menetelmissä argumentteja, joilla kohdefunktion arvo lasketaan, ei tunneta etukäteen, vaan argumenttiarvot riippuvat jo lasketuista $f(x)$:n arvoista. Sen sijaan tiedetään ennakolta, montako funktion arvoa on laskettava, kun lopullisen jatkovälin pituus on määrätty. Kohdefunktion ei tarvitse olla derivoituva eikä jatkuva mutta sen täytyy olla unimodaalinen.

Jaksottaisessa tyhjentävässä haussa lasketaan kohdefunktion arvot tasaisten välimatkojen päästä samalla tavalla kuin edellisessä kappaleessa selostetussa tyhjentävässä haussa, mutta käyttäen harvaa laskuverkkoa. Näin saadaan karkea likiarvo ääriarvoille ja laskuverkkoa tihennetään saadussa jatkovälissä. Esimerkiksi jos kuvassa 7.5 oleva verkko 0,1 jaotuksella on ensimmäinen harva verkko, saadaan jatkoväliksi (0,8, 1,0). Tämän jälkeen jatkoväli jaetaan 10 osaan ja ääriarvolle saadaan tarkempi likiarvo.

Jaksottaisessa tyhjentävässä haussa päästään samaan tarkkuuteen vähemmällä funktion arvojen laskemisella kuin tyhjentävässä haussa, mutta laskettava määrä on kummallakin menetelmällä suuri. Unimodaalisuuden takia ensimmäinen laskentaverkko voi olla hyvinkin harva. Pienin määrä on kaksi funktion arvoa. Tyhjentävässä haussa funktion arvot lasketaan tasaisten välimatkojen päästä. Laskentapisteiden tasainen sijainti ei ole edullisin, vaan sopiva valinta vähentää laskentamäärää. Tätä käsitellään seuraavissa kappaleissa.

7.3.3 Dikotominen haku

Dikotomisessa haussa lasketaan kohdefunktion $f(x)$ arvo kahdella argumentilla, jotka ovat tarkasteltavan välin keskipisteestä pienen matkan $\varepsilon/2$ päässä, eli lasketaan $f(1/2 + \varepsilon/2)$ ja $f(1/2 - \varepsilon/2)$. Kuvassa 7.6 näitä kohtia on merkitty lähellä käyriä olevilla ykkösillä. Se väli, jossa $f(x)$:n arvo on pienempi, kuvassa 7.6 väli $(0, 1/2 - \varepsilon/2)$, hylätään ja väli, jossa $f(x)$ on suurempi, tulee uudeksi jatkoväliksi. Kuvassa 7.6 uusi jatkoväli on $(1/2 - \varepsilon/2, 1)$. Kaksi $f(x)$:n arvoa lasketaan lähelle jatkovälin keskipistettä (kakkoset lähellä käyrää) ja väliä vastaavasti lyhennetään näiden uusien funktion arvojen perusteella. Tämä prosessi vähentää jatkoväliä noin puoleen kullakin iteraatiolla. Jotta jatkoväli lyhenisi 1:stä α :an, on laskettava N funktion arvoa:

$$N = 2 \frac{\ln\left(\frac{1-\varepsilon}{\alpha-\varepsilon}\right)}{\ln 2} \approx 2,891 \ln\left(\frac{1-\varepsilon}{\alpha-\varepsilon}\right) \quad (7.6)$$

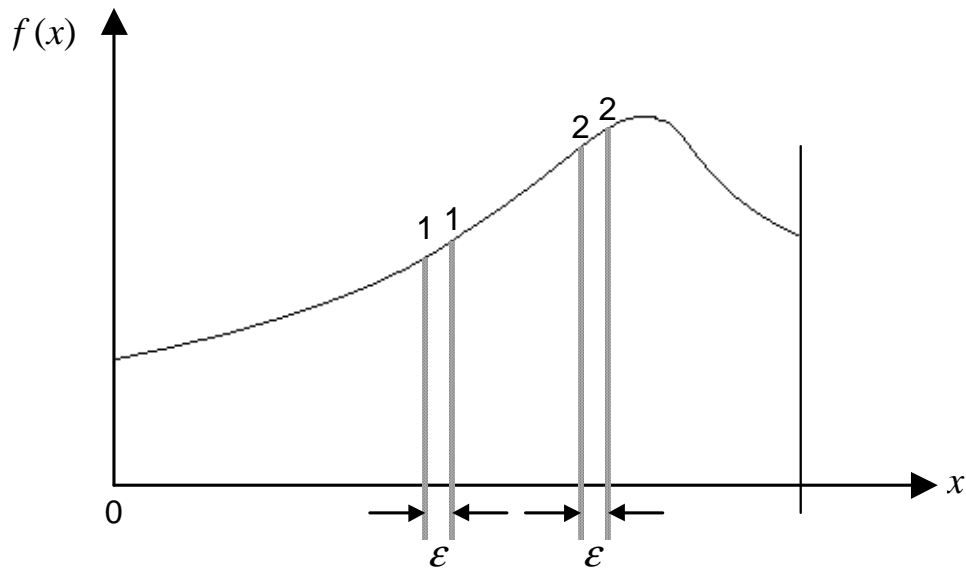
Koska jokaisella iteraatiolla lasketaan kaksi funktion arvoa, iteraatioiden lukumäärä n on

$$n = \frac{1}{2} N \quad (7.7)$$

Kääntäen

$$N = 2n \quad (7.8)$$

$$\alpha = \frac{1}{2^n} + \left(1 + \frac{1}{2^n}\right) \varepsilon \quad (7.9)$$



Kuva 7.6 Dikotominen haku.

7.3.4 Fibonacciin haku

Voidaan osittaa, että nopein tapa unimodaalisen funktion optimoimiseksi on ns. Fibonacciin menetelmä. Tässä menetelmässä lasketaan funktion arvo kahdella argumentilla, kuten dikotomisessa haussa, mutta argumenttien arvot määräytyvät erikoisella tavalla, ns. Fibonacciin lukusarjan avulla.

Fibonacciin lukusarja $F_0, F_1, F_2, \dots, F_i, \dots$ noudattaa seuraavaa sääntöä:

$$\begin{aligned} F_0 &= 1 \\ F_1 &= 1 \\ F_i &= F_{i-2} + F_{i-1} \quad , \text{ kun } i \geq 2 \end{aligned} \quad (7.10)$$

Tämän rekursiokaavan avulla saadut Fibonacciin lukusarjan ensimmäiset numerot on esitetty taulukossa 7.2.

Taulukko 7.2 Fibonaccin lukusarja.

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8
F_i	1	1	2	3	5	8	13	21	34

Fibonaccin haussa voidaan jatkoväli pienentää arvoon

$$I_n = \frac{I_1}{F_n} \tag{7.11}$$

laskemalla n funktion arvoa. Yhtälössä (7.11) I_1 on aloitusväli ja F_n on n :s Fibonaccin luku.

Tarkastellaan esimerkkinä kuvan 7.7 mukaista tapausta. Aloitusväli $I_1 = 1$. Viimeiseksi jatkoväliksi halutaan $I_n = 1/13$. Yhtälöstä (7.11) saadaan sijoittamalla $I_1 = 1$ ja $I_n = 1/13$ F_n :n arvoksi $F_n = 13$. Taulukosta 7.2 saadaan arvoa $F_n = 13$ vastaavaksi n :n arvoksi $n = 6$. Näin ollen kuudella funktion arvon laskemisella tulisi Fibonaccin haulla pystyä pienentämään jatkoväli yhdestä $1/13$:aan. Nämä kuusi funktion arvoa lasketaan seuraavasti.

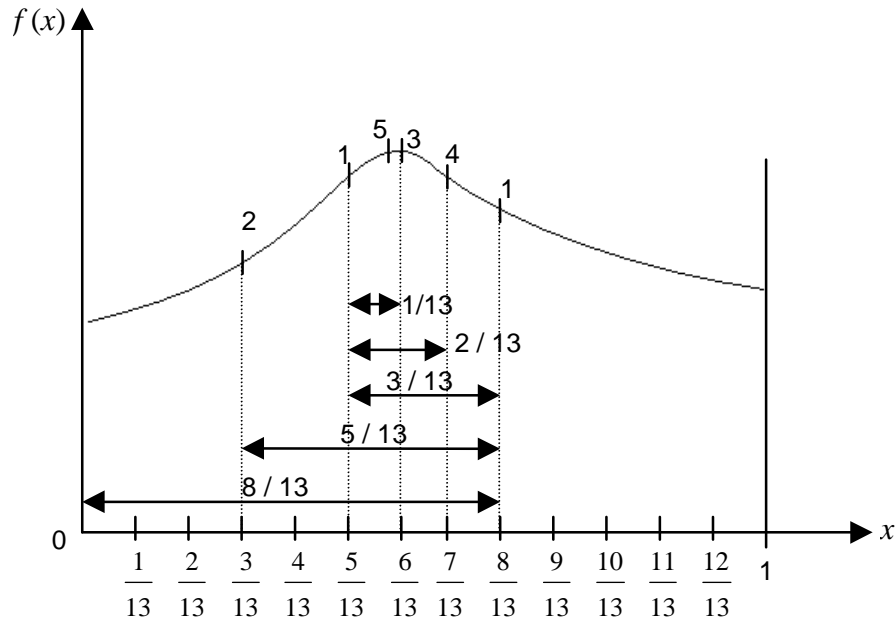
Ensimmäiseksi kohdefunktion arvo lasketaan argumentin arvoilla, jotka ovat matkan

$$D = \frac{F_{n-1}}{F_n} I_1 \tag{7.12}$$

päässä aloitusvälin $I_1 = 1$ molemmista päistä. Esimerkkitapauksessa argumentit ovat

$$x_1 = \frac{F_5}{F_6} I_1 = \frac{8}{13}$$

$$x_2 = 1 - \frac{F_5}{F_6} I_1 = \frac{F_6 - F_5}{F_6} I_1 = \frac{F_4}{F_6} I_1 = \frac{5}{13}$$



Kuva 7.7 Fibonaccin haku.

Kuvassa 7.7 x_1 ja x_2 on merkitty 1:llä lähellä käyrää. Koska $f(5/13) > f(8/13)$, jatkoväli toista iterointikierrosta varten on $(0, 8/13)$ ja sen pituus on $I_2 = 8/13$. Jatkoväli sisältää toisen ensimmäisen iteroinnin koepisteistä, tässä tapauksessa pisteen $x_2 = 5/13$. Tämä säilytetään koepisteinä myös toisella iterointikierroksella ja ainoastaan yksi koepiste tarvitaan. Siksi valitaan x_2 :een nähden symmetrinen piste x_3 , joka on yhtä kaukana jatkovälin alkupäästä (origosta) kuin x_2 on jatkovälin loppupäästä. Fibonaccin luvuilla esitettynä x_2 ja x_3 ovat jatkovälin alkupäästä mitattuina kohdissa

$$x_2 = \frac{F_4}{F_5} I_2 = \frac{5}{8} \cdot \frac{8}{13} = \frac{5}{13}$$

$$x_3 = \frac{F_3}{F_5} I_2 = \frac{3}{8} \cdot \frac{8}{13} = \frac{3}{13}$$

Yleisemmin j :nnellä iteraatiokierroksella koepisteet ovat jatkovälin alkupäästä mitattuina

$$\frac{F_{n-j-1}}{F_{n-j+1}} I_j \quad \text{ja} \quad \frac{F_{n-j}}{F_{n-j+1}} I_j$$

Toinen näistä koepisteistä on aina laskettu edellisellä iteraatiokierroksella.

Esimerkkitapauksessamme toisen iteraatiokierroksen koepisteet on merkitty kuvaan 7.7 lähellä käyrää olevilla 2:lla. $f(5/13) > f(3/13)$ ja uusi jatkoväli on $(3/13, 8/13)$ ja sen pituus on $I_3 = 5/13$. Iteraatiokierroksen $j = 3$ koepisteet ovat

$$x_2 = \frac{3}{13} + \frac{F_2}{F_4} I_3 = \frac{3}{13} + \frac{2}{5} \cdot \frac{5}{13} = \frac{5}{13}$$

$$x_4 = \frac{3}{13} + \frac{F_3}{F_4} I_3 = \frac{3}{13} + \frac{3}{5} \cdot \frac{5}{13} = \frac{6}{13}$$

Näin jatketaan, kunnes viimeisellä iteraatiokierroksella ($j = 5$) koepisteet yhtyvät ja ovat jatkovälin keskipisteessä. Viimeistä eli kuudetta koepistettä ei tästä syystä aseteta symmetrisesti jatkovälillä olevaan vanhaan koepisteeseen nähden, vaan viimeistä koepistettä siirretään pienen matkan verran sivuun vanhasta koepisteestä. Näin kuuden funktion arvon laskemisen jälkeen jatkovälin pituus on $1/13$.

Jatkovälin pienentämiseksi 1:stä α :an on laskettava N funktion arvoa:

$$N = n \quad (7.13) \quad \text{ja} \quad \alpha = \frac{1}{F_n} \quad (7.14)$$

7.3.5 Kultaisen leikkauksen hakumenetelmä

Kun Fibonaccin haussa $i > 5$, on suhde $F_{i-1} / F_i = 0,618$, joka on ns. "kultaisen leikkauksen" -luku. Tällöin kaksi ensimmäistä koepistettä voidaan sijoittaa matkan $0,618 \cdot I_1$ päähän aloitusvälin molemmista päistä. Tämän jälkeen jatketaan samalla tavalla kuin Fibonaccin haussa. Kullakin jatkovälillä uusi koepiste sijoitetaan symmetrisesti jatkovälillä olevaan vanhaan koepisteeseen nähden. Tämä kultaisen leikkauksen hakumenetelmä on lähes yhtä tehokas kuin Fibonaccin menetelmä. $\alpha =$ viimeisen jatkovälin pituus, $n =$ iteraatioiden lukumäärä ja $N =$ tarvittava funktion arvojen määrä ovat

$$\alpha = 0,618^n \quad (7.15)$$

$$N = n + 1 = 1 - 2,08 \ln \alpha \quad (7.16)$$

Taulukossa 7.3 on esitetty tarvittavien funktion arvojen lukumäärä eri optimointimenetelmillä, kun alkuväli $I_1 = 1$ pienennetään arvoon α . Taulukosta nähdään, että jaksotaiset menetelmät ovat selvästi parempia kuin tyhjentävä haku.

Taulukko 7.3 Laskettavien funktion arvojen lukumäärä eri optimointimenetelmillä, kun alkuväli $I_1 = 1$ pienennetään arvoon α .

a	Tyhjentävä	Diktotominen 1)	Kult. leikk.	Fibonacci
0,1	19	7	6	6
0,01	199	14	11	11
0,001	1999	20	16	16
0,0001	19999	27	21	20

1) riippuu ε sta

7.4 n -muuttujan vapaita optimointimenetelmiä

Taulukossa 7.4 luetellaan optimointimenetelmiä, jotka sopivat useamman kuin yhden muuttujan funktioiden ääriarvojen löytämiseen.

Differentiaalilaskenta on klassinen menetelmä ratkaistaessa n -ulotteisia ääriarvotehtäviä. Sen käyttökelpoisuus on kuitenkin suunnittelun alalla melko rajallinen, koska korkean kertaluvun derivaattojen laskeminen on vaikeaa ja lisäksi joudutaan tavallisesti ratkaisemaan epälineaarisia yhtälöryhmiä. Yksi kriteeri jatkuvan ja derivoituvan funktion ääriarvopisteen löytämiseksi on se, että siinä kaikki ensimmäisen kertaluvun osittaisderivaatat katoavat. Tällöin saattaa olla mahdollista käyttää jotain numeerista juuren etsimismenetelmää. Newtonin - Raphsonin menetelmää käytetään paljon epälineaaristen yhtälöryhmien ratkaisemiseksi. Se on iteratiivinen menetelmä ja sillä on

hyvät suppenemisominaisuudet (kun se suppenee). Ikävä kyllä se vaatii kaikkien toisen kertaluvun osittaisderivaattojen laskemisen.

Hakumenetelmistä simultaanimenetelmät ja jaksottaisista menetelmistä ryhmän 1 menetelmät vaativat vain $f(X)$:n arvojen laskemisen. Siksi nämä menetelmät ovat erittäin käyttökelpoisia silloin, kun derivaattoja on vaikea laskea. Tämä on tavallista koneiden suunnittelussa. Jaksottaiset menetelmät edellyttävät kuitenkin, että kohdefunktio on unimodaalinen. Sen sijaan simultaaniset menetelmät eivät edellytä unimodaalisuuttaakaan. Seuraavassa käsitellään ryhmän III hakumenetelmiä taulukossa 7.4 esitettyssä järjestyksessä.

Taulukko 7.4 n -muuttujan vapaita optimointimenetelmiä ($n > 1$).

- I Differentiaalilaskenta
 - A. Juuren etsimismenetelmät $f_{x_i}(X)$:lle
 - 1. Newtonin - Raphsonin menetelmä
- II Numeeriset menetelmät
- III Hakumenetelmät
 - A. Simultaaniset menetelmät
 - 1. Tyhjentävä haku
 - 2. Satunnainen haku
 - B. Jaksottaiset menetelmät
 - 1. Menetelmät, jotka vaativat vain $f(X)$:n arvon laskemisen
 - a) Jaksottainen tyhjentävä haku
 - b) Jaksottainen satunnainen haku
 - c) Ristikkohaku
 - d) Univariaattinen haku
 - e) Satunnainen kulku
 - 2. Menetelmät, jotka vaativat $f(X)$:n derivaatan laskemisen
 - a) Gradienttimenetelmä
 - b) Partan-menetelmät

7.4.1 Tyhjentävä haku

n -ulotteinen tyhjentävä haku on luonteeltaan samanlainen kuin aikaisemmin käsitelty yksiulotteinen tyhjentävä haku. Tarkasteltava n -ulotteinen alue peitetään hilalla ja kohdefunktion arvo lasketaan jokaisessa solmupisteessä. Esimerkiksi 3-ulotteisessa tapauksessa tarkasteltava alue jaetaan pieniin kuutioihin ja funktion arvo lasketaan kuutioiden nurkkapisteissä. Jos kussakin ulottuvuudessa käytettäisiin esim. 100 argumentin arvoa, niin kolmessa ulottuvuudessa olisi laskettava $100^3 = 10^6$ funktion arvoa. n -ulotteisessa tapauksessa, kun funktion optimia etsitään alueesta $a_i \leq x_i \leq b_i$ ja haluttu viimeinen jatkoväli muuttujille $x_i = \alpha_i$, on laskettava N funktion arvoa

$$N = \prod_{i=1}^n \left[\frac{2(b_i - a_i)}{\alpha_i} - 1 \right] \quad (7.17)$$

Tyhjentävä haku vaatii laskettavaksi hyvin suuren määrän funktion arvoja eikä se ole käyttökelpoinen, vaikka käytettävissä olisi tehokaskin tietokone.

7.4.2 Satunnainen haku

Olkoon $f(X)$, missä $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, määritetty alueessa R , jossa $f(X)$:n ääriarvo halutaan määrätä. Satunnainen haku toimii seuraavasti. Valitaan mielivaltainen piste alueesta R ja lasketaan funktion arvo siinä. Valitaan toinen mielivaltainen piste alueesta R ja lasketaan funktion arvo siinä. Näin jatketaan ja kullakin kerralla säilytetään muistissa piste, jossa funktion arvo on suurin (pienin). Kun satunnaispisteitä on laskettu riittävä määrä, on näiden pisteiden joukossa tietyllä todennäköisyydellä myös ääriarvopiste tai tarkemmin sanottuna ääriarvopiste on halutun jatkovälin sisällä.

Tarvittavien laskentapisteiden määrä halutun tarkkuuden saavuttamiseksi saadaan seuraavasti. Olkoon käypä alue R suuntaissärmiö, jonka i :nnen sivun pituus on d_i . Viimeisen jatkovälin pituus muuttujan x_i :n suhteen olkoon α_i . Aloitussuuntaissärmiön

tilavuus on $d_1 \cdot d_2 \dots d_n$ ja viimeisen suuntaissärmiön tilavuus $\alpha_1 \cdot \alpha_2 \dots \alpha_n$. Särmiöitten tilavuuksien suhde on

$$a = \prod_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{d_i} \quad (7.18)$$

a on myös todennäköisyys sille, että satunnaispiste X on lopullisen jatkovälisuuntaissärmiön sisällä eli X esittää halutulla tarkkuudella optimipistettä. Todennäköisyys sille, että satunnaisesti valittu X ei ole tässä suuntaissärmiössä, on $1 - a$. Jos satunnaispisteitä on valittu p kappaletta, on $(1 - a)^p$ todennäköisyys sille, ettei yksikään valituista pisteistä osu siihen suuntaissärmiöön, jossa optimipiste on. Täten todennäköisyys s , että ainakin yksi p satunnaisesti valituista X :n arvoista tulee olemaan optimisuuntaissärmiön sisällä, on

$$s = 1 - (1 - a)^p \quad (7.19)$$

Ratkaistuna p :n suhteen

$$p = \frac{\ln(1 - s)}{\ln(1 - a)} \quad (7.20)$$

Joitakin p :n arvoja valituilla a :n ja s :n arvoilla on esitetty taulukossa 7.5. Esimerkiksi jos lasketaan funktion arvo 44 satunnaisesti valitussa pisteessä, niin 99 %:n todennäköisyydellä optimipiste on saatu suuntaissärmiön sisälle, jonka tilavuus on 1/10 aloitussärmiön eli käyvän alueen tilavuudesta. Edelleen optimipiste on 90 %:n todennäköisyydellä särmiön sisällä, jonka tilavuus on 5/100 käyvän alueen tilavuudesta.

Taulukko 7.5 Satunnaisesti valittujen laskentapisteiden lukumäärä, kun vaaditulla varmuudella s halutaan aloitussuuntaissärmiö pienentää a :teen osaan.

a	$s = 0,8$	$s = 0,9$	$s = 0,95$	$s = 0,99$
0,1	16	22	29	44
0,05	32	45	59	90
0,025	64	91	119	182
0,010	161	230	299	459
0,005	322	460	598	919

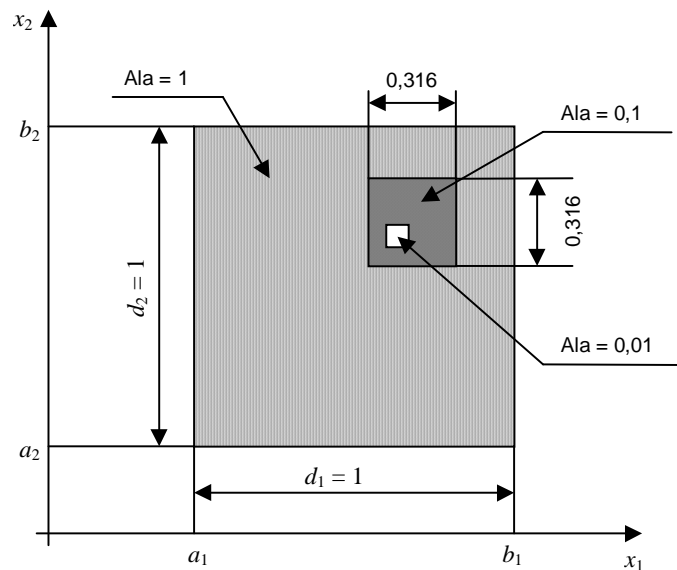
Satunnaisessa haussa tarvittavien funktion arvojen lukumäärä lisääntyy eksponentiaalisesti ulottuvuuksien lukumäärän mukaan. Tästä syystä se ei ole mikään todellinen parannus aikaisemmin kuvattuun tyhjentävään hakuun nähden.

7.4.3 Jaksottainen tyhjentävä haku

Moniulotteinen jaksottainen tyhjentävä haku toimii samalla tavalla kuin yksiulotteinen jaksottainen tyhjentävä haku. Ensiksi tarkasteltava alue peitetään harvalla hilalla. Näin saadaan karkea likiarvo ääriarvolle. Laskentaverkkoa tihennetään jatkoavaruudessa ja ääriarvon laskentatarkkuus paranee. Menetelmällä löydetään paikallinen ääriarvo, mikä on globaalinen, jos funktio on unimodaalinen.

7.4.4 Jaksottainen satunnainen haku

Satunnaisessa haussa tarvittavaa suurta funktion arvojen määrää voidaan vähentää huomattavasti käyttämällä jaksottaisen tyhjentävän haun tapaan jaksottaista satunnaista hakua. Tarkastellaan esimerkkinä kuvan 7.8 mukaista tapausta, jossa kahden muuttujan funktion $f(x_1, x_2)$ maksimiarvo on etsittävä alueelta $x_1 = a_1 \dots b_1$ ja $x_2 = a_2 \dots b_2$. Olkoon $b_1 - a_1 = d_1 = 1$ ja $b_2 - a_2 = d_2 = 1$, jolloin ensimmäisen jatkovälineliön pinta-ala on 1.



Kuva 7.8 Jaksottainen satunnainen haku.

Ensimmäisessä vaiheessa etsitään tutkittavalta alueelta neliö, jonka ala = 0,1 ja jossa funktion $f(x_1, x_2)$ maksimi on todennäköisyydellä 0,99. Taulukon 7.5 mukaan on tällöin tutkittavaan alueeseen sijoitettava 44 satunnaiskoepistettä ($s = 0,99$ ja $a = 0,1$). Uuden jatkovälineliön sivun pituus on 0,316 ja keskipiste on ensimmäisellä kierroksella löydetty maksimipiste. Tämän jälkeen uudesta jatkovälineliöstä etsitään osa-alue, jonka ala on 0,01 ja jossa funktion $f(x_1, x_2)$ maksimikohta on todennäköisyydellä 0,99. Tähän tarvitaan jälleen 44 satunnaiskoepistettä. Kokonaistodennäköisyys, että funktion $f(x_1, x_2)$ maksimi on uudella osa-alueella, on $0,992 = 0,98$ ja tähän on tarvinnut laskea kaiken kaikkiaan 88 funktion arvoa. Edellisessä kappaleessa esitetyllä yksinkertaisella satunnaisen haun menetelmällä tarvittaisiin 390 funktion arvoa, jotta funktion maksimikohta olisi todennäköisyydellä 0,98 neliössä, jonka ala = 0,01. Jaksottainen satunnainen haku on siis huomattavasti tehokkaampi kuin yksinkertainen satunnainen haku.

Jaksottaista satunnaista hakua voidaan jatkaa äärettömiin kokonaistodennäköisyyden s vähentyessä kullakin iteraatiolla. Kohdefunktion luonteen suhteen ei ole mitään rajoituksia, so. derivoituvuutta, jatkuvuutta ja unimodaalisuutta ei vaadita.

Edellä esitettyssä esimerkissä valittiin peräkkäisten jatkovälineliöiden pinta-alojen suhteeksi 0,1. Tämä ei kuitenkaan ole edullisin suhde, mikä saadaan seuraavasti.

Olkoon haun jaksojen lukumäärä i . Koko haun osalta optimin löytymisen todennäköisyys on silloin:

$$s_k = s^i \tag{7.21}$$

missä s on todennäköisyys sille, että ainakin yksi laskentapisteistä osuu jakson optimaavuuden sisälle.

Viimeisen suuntaissärmiön ja aloitussuuntaissärmiön tilavuuksien suhde on

$$a_k = a^i \tag{7.22}$$

missä a on kahden peräkkäisen laskentajakson avaruuksien tilavuuksien suhde.

Yhtälöstä (7.22) saadaan tarvittavien jaksojen lukumääräksi:

$$i = \frac{\ln a_k}{\ln a} \quad (7.23)$$

Yhdessä jaksossa laskettavien pisteiden lukumäärä p saadaan yhtälöstä (7.20). Laskentapisteiden kokonaismäärä on:

$$p_k = ip \quad (7.24)$$

Sijoittamalla yhtälöön (7.24) yhtälöstä (7.20) p , yhtälöstä (7.21) s ja yhtälöstä (7.23) i saadaan:

$$p_k = \frac{\frac{\ln a}{\ln a_k} \ln(1 - s_k^{\frac{\ln a}{\ln a_k}})}{\ln a \ln(1 - a)} \quad (7.25)$$

Kun tavoitteena on tietty todennäköisyys s_k ja laskentatarkkuus a_k , on p_k :lla a :n suhteen minimiarvo, joka on ratkaistavissa yhtälöstä (7.25). Ratkaisua ei kuitenkaan voida esittää suljetussa muodossa. Numeerisesti laskemalla havaitaan, että p_k :n minimi esiintyy a :n arvoilla:

$$a_{\text{opt}} \approx 0,45 \quad (7.26)$$

a_{opt} ei riipu paljoakaan s_k :n ja a_k :n arvoista.

Sovelletaan saattua tulosta kuvan 7.8 esimerkkiin, jossa $a_k = 0,01$ ja $s_k = 0,98$. Kun valitaan a :lle optimiarvo $a = 0,45$, saadaan yhtälöstä (7.23)

$$i = \frac{\ln 0,01}{\ln 0,45} = 5,8$$

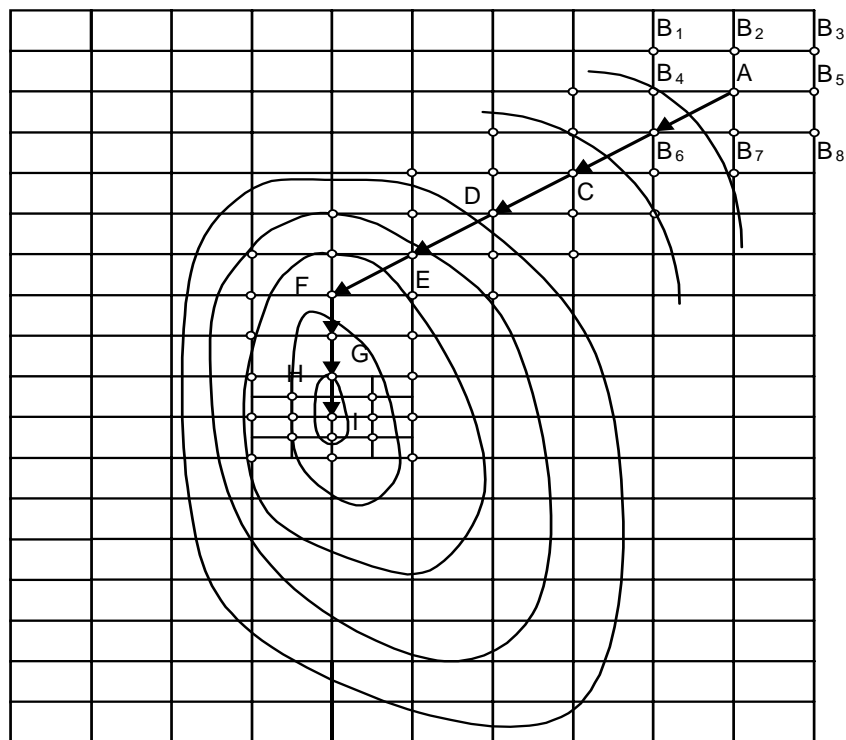
Pyöristetään $i = 6$, jota vastaa $a = 0,464$. Yhtälöstä (7.25) saadaan laskentapisteiden lukumääräksi:

$$p_k = 6 \frac{\ln(1 - 0,98^{\frac{1}{6}})}{\ln(1 - 0,464)} = 55$$

Siis etsimällä optimi kuudessa portaassa ja laskemalla kussakin portaassa 9–10 pistettä, yhteensä 55 pistettä on optimi 98 %:n todennäköisyydellä alueella, jonka ala on 1/100-osa käyvästä alueesta. Kun portaita oli kaksi, oli laskettava $2 \cdot 44 = 88$ pistettä saman tarkkuuden saavuttamiseksi.

7.4.4 Ristikohaku

Ristikomenetelmässä tarkasteltavalle alueelle asetetaan harva verkko, kuva 7.9. Mieli-
valtainen verkon solmu valitaan lähtökohdaksi. Funktion arvo lasketaan siinä sekä $(3^n - 1)$:ssä viereisessä solmupisteessä (n on ulottuvuuksien lukumäärä).



Kuva 7.9 Ristikohaku.

Kuvassa 7.9 $n = 2$ ja funktion arvo lasketaan lähtöpisteessä A sekä kahdeksassa viereisessä solmupisteessä, jotka on merkitty kirjaimin B_1 – B_8 . Piste, jossa funktio saa suurimman (pienimmän) arvon, valitaan seuraavaksi lähtökohdaksi ja menettely toistetaan. Niitä funktion arvoja, jotka on jo laskettu, ei enää tarvitse laskea uudestaan.

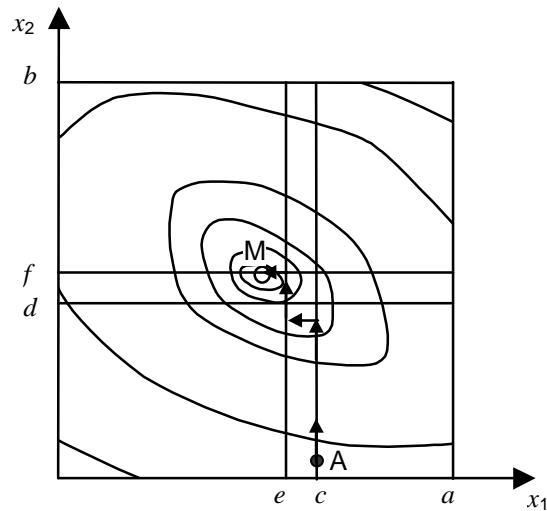
Menetelmää jatketaan kunnes funktiolle ei enää löydetä suurempaa (pienempää) arvoa. Tämän jälkeen verkon kokoa pienennetään joka ulottuvuudessa ja hakua jatketaan pienemmällä verkon silmukoilla. Verkon kokoa pienennetään niin kauan, kunnes kunkin ulottuvuuden pisteiden välinen etäisyys on pienempi kuin haluttu toleranssiarvo.

7.4.5 Univariaattinen haku

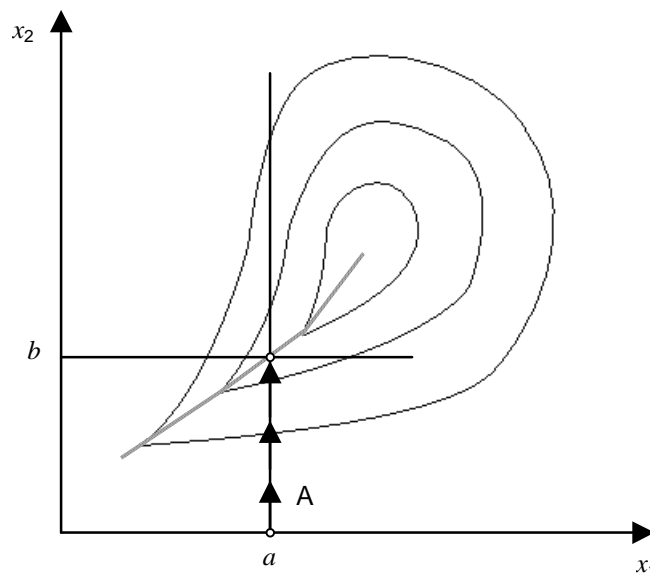
Univariaattisessa haussa muutetaan kerralla vain yhtä muuttujaa. Tarkastellaan kuvan 7.10 mukaista tapausta, missä funktion $f(x_1, x_2)$ maksimikohtaa etsitään alueelta $0 \leq x_1 \leq a$, $0 \leq x_2 \leq b$. Valitaan mielivaltainen lähtöpiste A. Univariaattisessa haussa pidetään toinen muuttujista, esim. x_1 vakiona, $x_1 = c$, ja suoritetaan yhden muuttujan funktion haku x_2 :n suhteen. Tällöin voidaan käyttää esim. dikotomista tai kultaisen leikkauksen menetelmää. Yksinkertainen menetelmä on lisätä x_2 :ta vakiolisäyksellä niin kauan, kun funktion arvo kasvaa. Lineaarinen haku päättyy pisteessä $x_2 = d$. Tämän jälkeen vaihdetaan muuttujaa. x_2 pidetään vakiona, $x_2 = d$, ja ääriarvo etsitään x_1 :n suhteen. Haku päättyy pisteessä $x_1 = e$. Näin jatketaan, kunnes lopulta päädytään maksimipisteeseen M.

n -muuttujan tapauksessa menetelmä on samanlainen. Ääriarvo etsitään yhden muuttujan suhteen pitämällä loput $n - 1$ muuttujaa vakioina. Kun kaikki muuttujat on käyty lävitse, aloitetaan alusta jälleen ensimmäisellä muuttujalla. Näin jatketaan, kunnes yhden täyden kierroksen aikana funktion arvo ei ole parantunut. Tällöin on päädytty optimipisteeseen.

Univariaattinen haku on yksinkertainen, mutta se voi johtaa väärään optimipisteeseen. Tarkastellaan kuvan 7.11 mukaista tapausta, jossa optimoitavalla funktiolla on harjanne.



Kuva 7.10 Univariaattinen haku.



Kuva 7.11 Univariaattinen haku ei toimi, jos kohdefunktiossa on epäjatkuvuuskohta tai jyrkkä harjanne.

Haku alkaa pisteestä A, jossa $x_1 = a$. Ääriarvo x_2 :n suhteen on tällöin pisteessä $x_2 = b$. Haku suunnassa $x_2 = b$ päättyy samaan pisteeseen, so. pisteeseen (a, b) . Tämä piste ei ole kuitenkaan oikea maksimipiste, kuten kuvasta nähdään. Univariaattista hakua voidaan käyttää vain silloin, kun tiedetään, että optimoitava funktio on jatkuva eikä se sisällä kuvan 7.11 mukaisia harjanteita. Edelleen optimoitavan funktion on oltava unimodaalinen, kuten yleensäkin jaksottaista hakua käytettäessä.

7.4.6 Satunnainen kulku

Univariaattisen menetelmän harjanteita koskeva rajoitus vältetään ns. satunnaisen kulun menetelmässä. Siinä valitaan mielivaltainen lähtöpiste, kuten univariaattisessa haussa. Tämän jälkeen valitaan kulkusuunta satunnaisesti. Jos kohdefunktion arvo paranee valittuun suuntaan, suoritetaan maksimointi (minimointi) tähän suuntaan. Näin jatketaan, kunnes lukuisista yrityksistä huolimatta ei enää löydetä satunnaisesti valittua suuntaa, johon kohdefunktion arvo paranisi.

7.4.7 Gradienttimenetelmä

Gradienttimenetelmä kuuluu niiden menetelmien joukkoon, jotka vaativat kohdefunktion $f(X)$ ensimmäisen derivaatan laskemisen. Jos on mahdollista, derivaatat tulisi laskea analyttisistä lausekkeista. Käytännössä tämä ei useastikaan ole mahdollista, vaan derivaatat täytyy laskea numeerisesti.

Kaikkien n ensimmäisen kertaluvun derivaattojen laskeminen numeerisesti (n on avaruuden dimensio) vaatii tavallisesti $n + 1$ funktion arvon laskemista. Funktion arvoja joudutaan tällöin laskemaan runsaasti.

Gradienttimenetelmä toimii seuraavasti. Funktio $f(X)$, missä $X = (x_1, x_2 \dots x_n)$, on minimoitava. Valitaan mielivaltainen lähtöpiste X_0 . Lähtöpisteestä on edullista kulkea siihen suuntaan, missä $f(X)$ pienenee jyrkimmin. Tämä on $f(X)$:n gradientin vastakkainen suunta. Gradientti on vektori

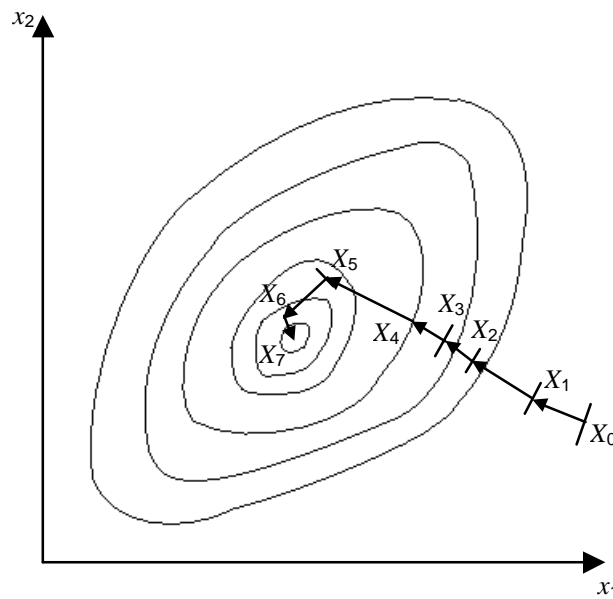
$$\nabla f = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right) \quad (7.27)$$

Merkitään α :lla matkaa, jonka verran liikutaan gradientin vastakkaiseen suuntaan. α :n tulee olla sellainen, että funktion arvo päätepisteessä on pienempi kuin lähtöpisteessä. Muuten α on mielivaltainen. Kun lähtöpisteestä X_0 siirrytään matka α gradientin suuntaan (kuva 7.12), tullaan pisteeseen X_1

$$X_1 = X_0 - \alpha \frac{\nabla f_{X_0}}{|\nabla f_{X_0}|} \quad (7.28)$$

missä ∇f_{X_0} on gradientti pisteessä X_0 .

Pisteessä X_1 otetaan jälleen uusi gradientin suunta ja siirrytään sen vastakkaiseen suuntaan jonkin matkaa ja tullaan pisteeseen X_2 . Pisteiden $k + 1$ koordinaatit saadaan pisteen k koordinaateista yhtälöstä



Kuva 7.12 Gradienttimenetelmä.

$$X_{k+1} = X_k - \alpha_k \cdot \frac{\nabla f_{X_k}}{|\nabla f_{X_k}|} \quad (7.29)$$

Matkan pituutta pisteestä k pisteeseen $k + 1$ on merkitty α_k :lla. Se voi vaihdella kullakin kierroksella.

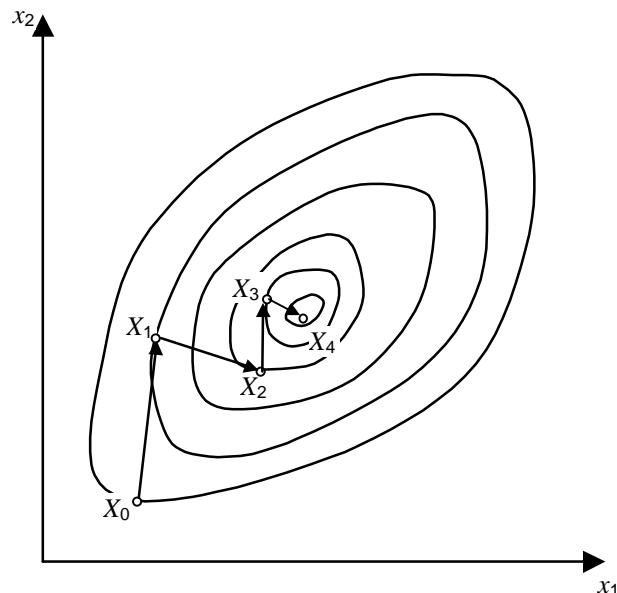
Eräs tapa on liikkua gradientin vastakkaiseen suuntaan niin kauan, kunnes funktion arvo alkaa uudestaan kasvaa (kuva 7.13). Tällöin voidaan käyttää mitä tahansa yksiulotteista hakumenetelmää funktion

$$f\left(X_k - \alpha_k \cdot \frac{\nabla f_{Xk}}{|\nabla f_{Xk}|}\right)$$

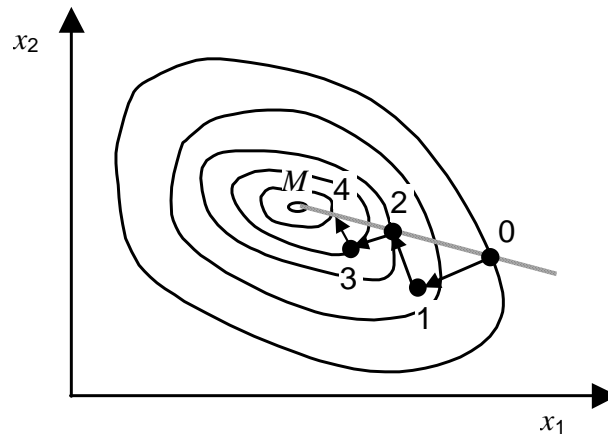
minimoimiseksi pitämällä X_k :ta ja $(\nabla f_{Xk} / |\nabla f_{Xk}|)$:ta vakiona ja α_k :ta muuttujana. Voidaan myös pitää α_k :ta vakiona, jolloin edetään vakioaskelin niin kauan, kunnes funktion arvo alkaa uudestaan kasvaa. Haku päättyy, kun funktion arvon pieneneminen gradientin vastakkaiseen suuntaan on vähäistä.

Useasti kuvitellaan, että gradientin vastakkainen suunta johtaa minimipisteeseen lyhintä tietä. Gradientin vastakkainen suunta on paras suunta ainoastaan äärettömän lyhyellä askeleella. Äärellisillä askeleilla, kuten kuva 7.14 osoittaa, tämä ei ole välttämättä paras suunta. Paras suunta on suunta lähtöpisteestä suoraan minimipistettä kohti. Gradientin vastakkainen suunta on äärellisillä askeleilla paras vain silloin, kun gradientin suunta säilyy vakiona.

Kuva 7.14 esittää kahden muuttujan kvadraattisen funktion minimointia gradienttimenetelmää käyttäen. Gradientin vastakkaiseen suuntaan on kuvassa aina kuljettu niin kauan, kun funktio pienenee. Kuten nähdään, reitti lähtöpisteestä O minimiin M on huomattavasti pitempi kuin lyhin matka suoraan O:sta M:ään. Riippuen kohdefunktion



Kuva 7.13 Gradienttimenetelmä, jossa liikutaan gradientin vastakkaiseen suuntaan niin kauan, kun funktio pienenee.



Kuva 7.14 Gradienttimenetelmän kiihdyttäminen Partan-menetelmällä (a).

luonteesta gradienttimenetelmä voi olla hyvinkin hidas. Tämän takia on kehitelty menetelmiä, jotka kiihdyttävät gradienttimenetelmää. Seuraavassa kappaleessa esitetään kaksi tällaista kiihdytysmenetelmää.

7.4.8 Partan-menetelmä

Kuvasta 7.14 nähdään neliölliselle funktiolle ominainen piirre. Kun piirretään gradienttimenetelmässä laskettujen pisteiden $X_0:n$ ja $X_2:n$ kautta suora, kulkee se ääriarvopisteen M kautta. Tätä neliöllisten funktioiden ominaisuutta voidaan käyttää gradienttimenetelmän kiihdyttämiseen myös ei-neliöllisten funktioiden kohdalla, sillä useimmat jatkuvat ja derivoituvat funktiot saavat lähes neliöllisen muodon ääriarvopisteen välittömässä läheisyydessä.

Kaksiulotteisessa tapauksessa Partan-menetelmällä on tavallisesti jompikumpi seuraavista muodoista:

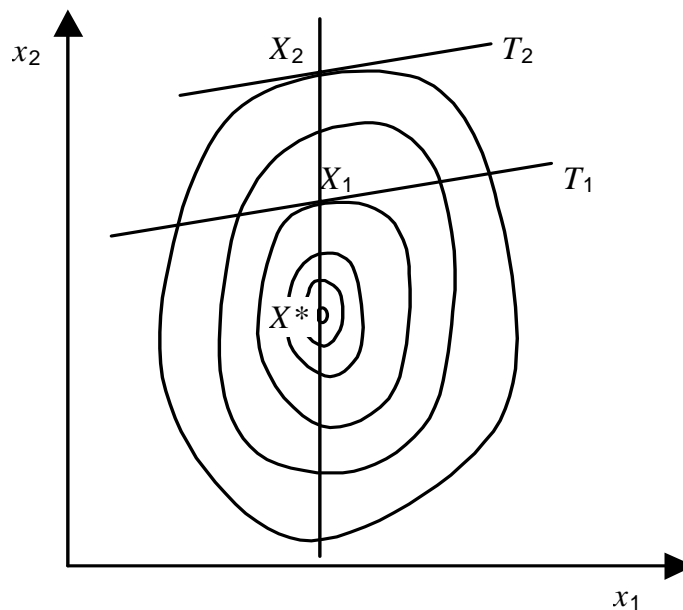
Menetelmä (a) (kuva 7.14):

1. Tämä menetelmä alkaa kahdella gradienttimenetelmän kierroksella siten, että gradientin vastakkaiseen suuntaan liikutaan niin kauan, kun funktion arvo pienee. Olkoon X_0 lähtöpiste kuvassa 7.14. Tällöin kahden ensimmäisen gradienttihaun päätepisteet ovat X_1 ja X_2 .

- Tämän jälkeen lineaarinen minimointi suoritetaan pitkin X_0 :n ja X_2 :n kautta kulkevaa suoraa. Voidaan helposti osoittaa, että minimipiste tällä suoralla on ääriarvopiste, jos $f(X)$ on neliöllinen funktio. Jos kohdefunktio ei ole neliöllinen funktio, jatketaan pisteestä M samalla tavalla kuin edellä eli lasketaan ensiksi kaksi gradienttimenetelmän kierrosta ja tämän jälkeen suoritetaan lineaarinen minimointi. Näin jatketaan kunnes päädytään minimipisteeseen.

Menetelmä (b) (kuva 7.15):

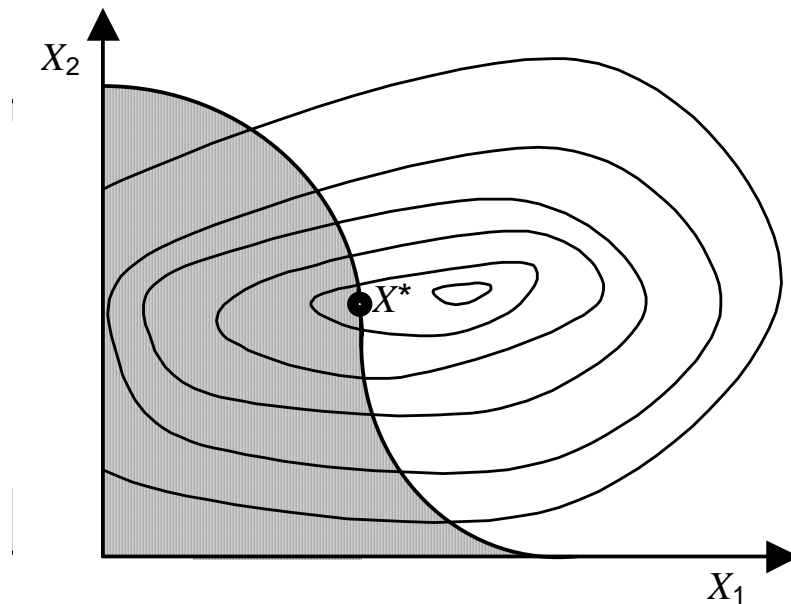
- Valitaan mielivaltainen suora T_1 riippumattomien muuttujien avaruudesta. Valitaan toinen, mikä tahansa T_1 :den suuntainen suora T_2 .
- Etsitään kohdefunktion minimipiste suoralla T_1 käyttäen jotain yksiulotteista hakutekniikkaa. Minimipiste (olkoon se X_1) on piste, jossa suora T_1 on kohdefunktion nivooviivan tangentti.
- Etsitään kohdefunktion minimipiste suoralla T_2 . Merkitään sitä X_2 :lla.
- Tämän jälkeen etsitään kohdefunktion pienin arvo suoralla, joka kulkee X_1 :n ja X_2 :n kautta, käyttäen yksiulotteista hakumenetelmää. Jos funktio on neliöllinen, tämän suoran minimipiste on kohdefunktion ääriarvopiste X^* .
- Jos kohdefunktio ei ole täysin neliöllinen, toistetaan edellä esitetty menetelmä käyttäen toisena suorana X_1 :n ja X_2 :n kautta kulkevaa suoraa, jolla kohdefunktion minimipiste on jo laskettu.



Kuva 7.15 Gradienttimenetelmän kiihdyttäminen Partan-menetelmällä (b).

7.5 Sidottuja optimointimenetelmiä

Kuva 7.16 esittää tyypillistä kaksiulotteista optimointiongelmaa, jossa on yksi epälineaarinen rajoitus. Tehtävänä on etsiä kohdefunktion minimiarvo X^* viivoitetulta alueelta. Kuvan esittämässä tapauksessa vapaa ääriarvopiste on käypien ratkaisujen muodostaman alueen ulkopuolella.



Kuva 7.16 Sidottu optimointitehtävä. Minimipiste käyvällä (varjostetulla) alueella on X^* .

Menetelmät, joita voidaan käyttää ratkaistaessa sidottuja optimointitehtäviä, vaihtelevat mutkikkuudeltaan ja tehokkuudeltaan pääasiallisesti kohdefunktion ja rajoitusten luonteen mukaisesti. Taulukossa 7.6 on esitetty joitakin käytettävissä olevia menetelmiä.

Taulukko 7.6 Sidottuja optimointimenetelmiä.

- I Lineaarinen ohjelmointi
- II Epälineaarinen ohjelmointi
 - A. Vapaiden optimointimenetelmien sovellutuksia.
 - B. Kohdefunktion muokkaaminen.
 - C. Geneettinen optimointi

7.5.1 Lineaarinen ohjelmointi

Lineaariseksi ohjelmoinniksi kutsutaan menetelmiä, joilla voidaan määrätä lineaarisen kohdefunktion joko minimi tai maksimi, kun myös rajoitukset ovat lineaarisia funktioita. Matemaattisessa muodossa tehtävä kuuluu seuraavasti.

Etsi $X = (x_1, \dots, x_n)$, jolla

$$f(X) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad \text{min (tai max), kun} \quad (7.30)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \{ \leq, =, \geq \} b_i, \quad i = 1, \dots, m \quad (7.31)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n$$

Yhtälössä (7.31) on esitetty kolme mahdollista merkkiä, mutta vain yksi niistä soveltuu yksityiseen yhtälöön. Lineaarisen optimointitehtävän ratkaisemiseksi on kehitetty useita tehokkaita algoritmeja.

Tarkastellaan esimerkkinä yksinkertaista tehtävää:

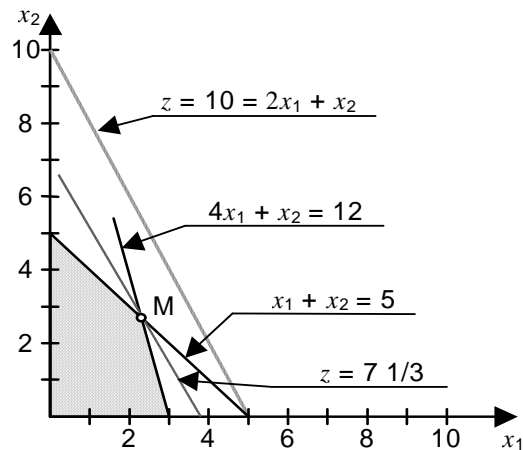
Maksimoi

$$z = 2x_1 + x_2 \quad (7.32)$$

kun

$$\begin{aligned} 4x_1 + x_2 &\leq 12 \\ x_1 + x_2 &\leq 5 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (7.33)$$

Ratkaisu on esitetty graafisesti kuvassa 7.17. Koska muuttujien tulee olla positiivisia, käypä alue rajoittuu ensimmäiseen kvadranttiin x_1, x_2 -tasossa. Ensimmäisen ehdon mukaan ainoastaan ne pisteet (x_1, x_2) , jotka ovat suoran $4x_1 + x_2 = 12$ alapuolella otetaan huomioon. Toisen ehdon mukaan pisteiden tulee olla myös suoran $x_1 + x_2 = 5$ alapuolella. Näin ollen käypä alue on kuvassa 7.17 varjostettuna esitetty alue. Huomaa, että tämä alue on konvekksi. Näin on aina, kun rajoitukset ovat lineaarisia riippumatta avaruuden ulottuvuuksien määrästä.



Kuva 7.17 Esimerkki lineaarisesta ohjelmoinnista.

Kun z :lle yhtälössä (7.32) annetaan vakioarvo, tulee yhtälöstä suora x_1, x_2 -tasossa. Kuvassa 7.17 on esitetty esimerkkinä suora, joka vastaa z :n arvoa 10. Antamalla z :lle eri arvoja saadaan suoraparvi, joka muodostuu kuvassa 7.17 esitetyn suoran kanssa yhdensuuntaisista suorista. Osa tämän suoraparven suorista kulkee myös käyvän alueen lävitse. Se suora, jolla z on suurin ja joka kulkee käyvän alueen lävitse, antaa ratkaisun tehtävään. Graafisesti ratkaisu voidaan suorittaa seuraavasti. Liikutetaan suoraa $2x_1 + x_2 = 10$ yhdensuuntaisesti niin kauan, kunnes jokin suoran pisteistä koskettaa käypää aluetta. Ensimmäinen kosketus tapahtuu kuvan mukaisesti pisteessä M , joka on $(2 \frac{1}{3}, 2 \frac{2}{3})$ ja jossa kohdefunktio saa arvon $z = 7 \frac{1}{3}$.

Edellä esitetystä esimerkistä nähdään, että optimipiste tulee olemaan aina käyvän alueen reunapiste. Tavallisesti optimipiste on jokin käyvän alueen kulmapisteistä. Erikoistapauksessa, jossa jokin käyvän alueen reunasuorista on kohdefunktiota esittävän suoraparven suuntainen, ovat kaikki pisteet tällä reunasuoralla yhtä hyviä.

Numeeriset lineaariset ohjelmointimenetelmät tutkivat z :n arvoja vain käyvän alueen nurkkapisteissä. Haku tapahtuu niin, että liikutaan nurkkapisteestä toiseen siten, että z :n arvo seuraavassa nurkkapisteessä on vähintään yhtä hyvä kuin edellisessä. Optimi löydetään äärellisellä siirtymisten määrällä tai päädytään tulokseen, jonka mukaan äärellistä ratkaisua ei ole olemassa. Linearisessa ohjelmoinnissa käytettäviä algoritmeja ei tässä yhteydessä käsitellä. Tietokoneilla laajatin lineaarisiksi ohjelmoinniksi muokattavat probleemat ratkeavat kirjasto-ohjelmilla.

7.5.2 Vapaiden optimointimenetelmien sovellutuksia

Useisiin aikaisemmin käsiteltyihin vapaisiin optimointimenetelmiin sisältyy joitakin rajoituksia. Rajoitukset ovat tällöin kuitenkin koskeneet vain muuttujia. Optimia on etsitty alueelta, jossa muuttujille on annettu ala- ja yläraja. Rajoituksena ei ole ollut muuttujien välistä yhtälöä tai epäyhtälöä.

Vapaista optimointimenetelmistä voidaan **tyhjentävää hakua**, **satunnaista hakua** ja **jaksottaista satunnaista hakua** käyttää sellaisenaan etsittäessä sidottua optimia. Tällöin ne pisteet, jotka joutuvat käyvän alueen ulkopuolelle, jätetään huomioon ottamatta.

Ristikkohakua ja **univariaattista hakua** ei voida käyttää etsittäessä sidottua optimia. Sen sijaan **gradienttimenetelmästä** on tehty muunnos, jota voidaan käyttää ratkaistessa sidottua ääriarvotehtävää. Jouduttaessa käyvän alueen rajalle muodostetaan gradienttivektorin rajan suuntainen projektio. Hakua jatketaan projektiovektorin suuntaan. Suunnittelutehtävissä tätä menetelmää ei kuitenkaan usein voida käyttää, sillä käyvän alueen rajaa ei tavallisesti tunneta yhtälön muodossa. Esimerkiksi suunnittelutehtävissä käyvän alueen rajan muodostaa usein lämpeneminen. Kustakin suunnitteluvaihtoehdosta voidaan lämpenemislaskujen jälkeen sanoa, onko kyseinen piste käyvällä alueella vai sen ulkopuolella. Silti on hyvin vaikea muodostaa rajan yhtälöä, joka tarvittaisiin muodostettaessa gradienttivektorin rajan suuntaista projektiota.

7.5.3 Kohdefunktion muokkaaminen

Eliminointimenetelmä. Jos rajoitus on yhtälön muotoinen ja se voidaan ratkaista jonkin muuttujan x_i suhteen, voidaan ratkaisu sijoittaa kohdefunktioon $f(X)$ x_i :n tilalle. Tällöin muuttujien lukumäärä vähenee yhdellä jokaista yhtälönmuotoista rajoitusta kohden.

Sideyhtälöä ei tarvitse välttämättä ratkaista eksplisiittisessä muodossa x_i :n suhteen, vaan x_i voidaan esimerkiksi iteroida sideyhtälöstä, kun muille muuttujille on valittu arvo.

Muuttujien vaihto. Muuttujan vaihdossa tavoitteena on korvata yksi muuttujista $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ uudella muuttujalla w niin, että sideyhtälö

$$g(X) \geq 0$$

muuttuu muotoon

$$w \geq w_0 \quad (\text{vakio})$$

Jos kohdefunktio oli aikaisemmin $f(X)$ ja w :llä korvattiin muuttuja x_i , on uusi kohdefunktio $f_u(x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n, w)$. Mikäli kaikki sideyhtälöt voidaan näin muokata, muuttuu tehtävä vapaaksi optimointitehtäväksi.

Tarkastellaan esimerkkinä epätahtikoneen optimointia, jossa muuttujiksi on valittu aluksi riippumattomat koneen mitat ja käämitystiedot. Rajoituksena on vaatimus, että huippumomentin T_h tulee olla vähintään kaksi kertaa nimellismomentti T_N eli

$$g(X) = \frac{T_h}{T_N} - 2 \geq 0$$

Valitaan uudeksi muuttujaksi

$$w = \frac{T_h}{T_N}$$

jolloin rajoitus muuttuu muotoon

$$w \geq 2$$

w :llä voidaan korvata esimerkiksi staattorikäämityksen johdinkierrosluku N_1 . Huippumomentti on

$$T_h = \frac{3p}{2\omega} \cdot \frac{U_1^2}{X_k} = \frac{3p}{2\omega^2} \cdot \frac{U_1^2}{N_1^2 A_k}$$

josta

$$N_1 = \sqrt{\frac{3p}{2\omega^2} \cdot \frac{U_1^2}{T_h A_k}} = \sqrt{\frac{3p}{2\omega^2} \cdot \frac{U_1^2}{w A_k T_N}}$$

missä A_k = koneen mitoista laskettavissa oleva hajapiirin permeanssi. N_1 :n lauseke sijoitetaan tämän jälkeen optimointitehtävässä N_1 :n paikalle.

Edellä käytetty huippumomentin yhtälö on likiarvoinen. Tällöin saattaa käydä niin, että optimoinnin tuloksena saadaan tarkemmin laskettaessa huippumomentiksi jonkin verran annettua rajaa pienempi arvo. Tästä ei kuitenkaan yleensä ole haittaa, sillä käytännössä suunnittelurajoitusten asettaminen on usein harkintakysymys, jolloin vaaditusta ehdosta voidaan jonkin verran tinkiä. Näin ollen riippuen tehtävän luonteesta voidaan muuttujan vaihdon yhteydessä usein käyttää likiarvoyhtälöitä tarkkojen ja mutkikkaiden yhtälöiden asemesta.

Sakkomenetelmä. Sakkomenetelmässä kohdefunktion arvoa muutetaan käyvän alueen ulkopuolella niin, että kohdefunktion arvo on käyvän alueen ulkopuolella ainakin lähellä rajaa suurempi kuin käyvällä alueella. Käyvällä alueella kohdefunktiota ei muuteta. Näin voidaan eliminoida rajoitukset ja tehtävä muuttuu vapaaksi optimointitehtäväksi.

Eräs sakkomenetelmä on esitetty kuvassa 7.18. Siinä tehtävänä on etsiä X , jolla funktio

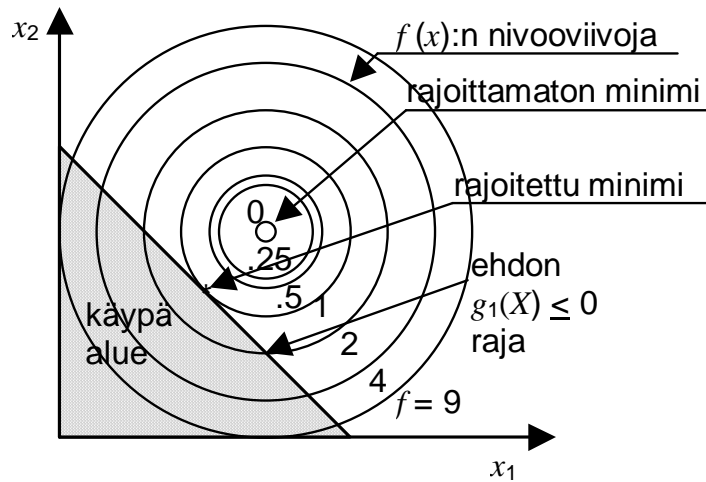
$$f(X) = (x_1 - 3)^2 + (x_2 - 3)^2 \quad (7.34)$$

saa minimistä, kun

$$\begin{aligned} g(X) &= 0,75x_1 + x_2 - 4 \leq 0 \\ x_1 &\geq 0 \\ x_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (7.35)$$

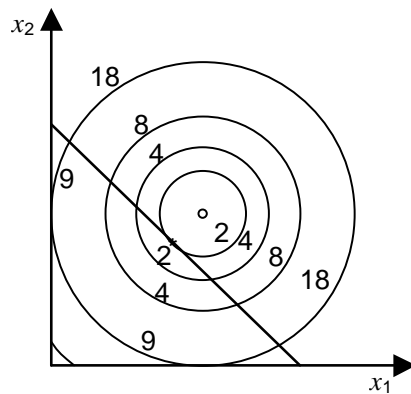
Käypä alue on esitetty kuvassa 7.18 tummennettuna. Oletetaan, että haku alkaa käyvältä alueelta. Niin pian kuin raja ylitetään, saatu $f(X)$:n arvo kerrotaan kahdella. Esimerkitapauksessa kohdefunktion nivooviivat muuttuvat kuvan 7.19 mukaisesti. Kohdefunktiosta tulee rajalla epäjatkuva, mutta rajoituksia ei enää ole. Tehtävän ratkaisuun

voidaan käyttää tämän jälkeen niitä vapaita optimointimenetelmiä, jotka soveltuvat epäjatkuvien funktioiden optimointiin.



Kuva 7.18 Sidottu optimointitehtävä.

Kuvasta 7.19 havaitaan esitetyn sakkomenetelmän eräs haittapuoli. Jos aloituspiste on käyvän alueen ulkopuolella, johtaa haku rajoittamattomaan minimiin eikä rajoitettuun minimiin kuten on toivottu.



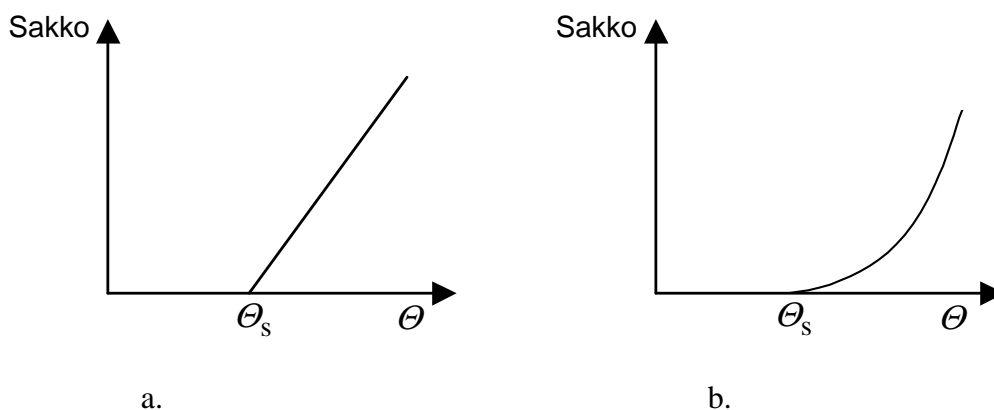
Kuva 7.19 Kuvan 7.18 optimointitehtävän ratkaiseminen sakkomenetelmällä.

Kohdefunktiota voidaan muuttaa myös niin, että siihen lisätään sakkotermi, kun raja ylitetään. Sakon suuruus kasvaa tavallisesti ylityksen funktiona.

Tarkastellaan esimerkkinä tapausta, missä laitteen mitoitus on optimoitava niin, että sen lämpeneminen ei ylitä sallittua arvoa Θ_s . Sakkofunktio voi olla esim. kuvan 7.20 a tai b

mukainen. Kun lämpeneminen $\theta > \theta_s$, lisätään kohdefunktion sakkotermi, joka kuvan 7.20 a tapauksessa kasvaa lineaarisesti yrityksen funktiona. Kuvan 7.20 a mukainen sakko aiheuttaa kohdefunktion derivaattaan epäjatkuvuuskohdan, joka rajoittaa käytettävissä olevia optimointimenetelmiä. Kuvan 7.20 b mukainen sakko sen sijaan ei aiheuta epäjatkuvuuskohtaa.

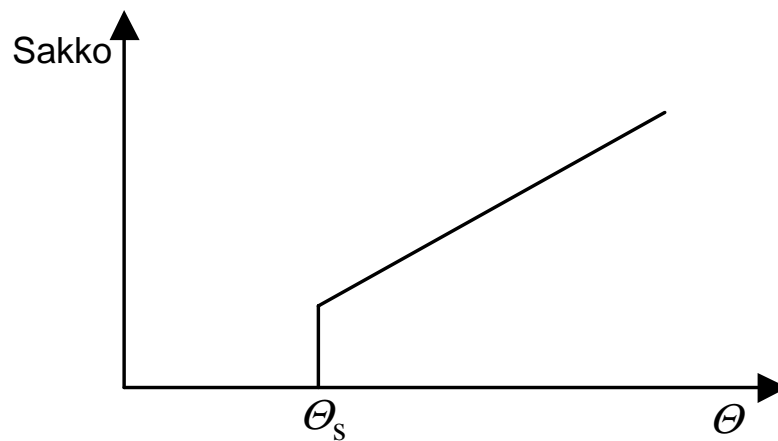
Jos rajoittamaton optimi on alueella $\theta > \theta_s$, on rajoitettu optimipiste sallitulla lämpenemisrajalla. Käytettäessä kuvan 7.20 mukaisia sakkofunktioita päädytään kuitenkin optimipisteeseen, jossa lämpeneminen on jonkin verran yli θ_s .



Kuva 7.20 Kohdefunktion lisättävä sakko kasvaa a. lineaarisesti ja b. neliöllisesti, kun sallittu raja θ_s ylitetään.

Ylitys riippuu sakkofunktion jyrkkyydestä. Käytännössä tämä voidaan välttää pienentämällä sallittua lämpenemistä θ_s jonkin verran. Toinen mahdollisuus on käyttää kuvan 7.21 mukaista sakkofunktiota, jossa sakko saa rajakohdassa θ_s pienen hyppäyksen ja tämän jälkeen sakko kasvaa lineaarisesti ylityksen funktiona. Tällöin kuitenkin kohdefunktion tulee epäjatkuvuuskohta, joka rajoittaa käytettävissä olevia optimointimenetelmiä.

Käyttämällä jyrkkää sakkofunktiota saadaan haku pysymään käyväällä alueella. Jyrkkä sakkofunktio kuitenkin vaikeuttaa optimointia. Ongelma voidaan kiertää käyttämällä optimoinnin alussa loivaa sakkofunktiota. Kun haku joutuu käyvän alueen ulkopuolelle, sakkofunktiota jyrkennetään jokaisella iteraatiokierroksella, kunnes ollaan jälleen käyväällä alueella.



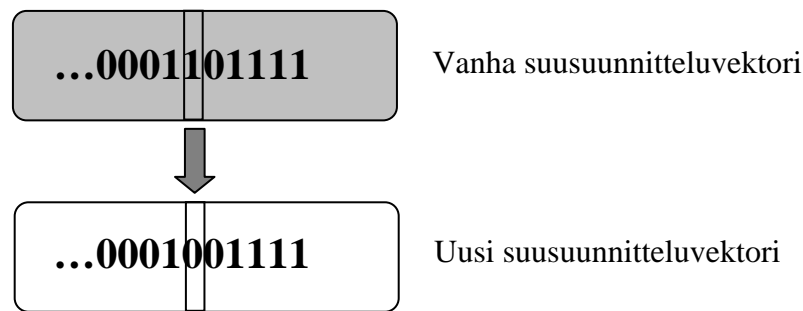
Kuva 7.21 Kohdefunktioon lisättävä sakkotermi kasvaa ensin porrasmaisesti ja sen jälkeen lineaarisesti.

7.5.4 Geneettinen optimointi

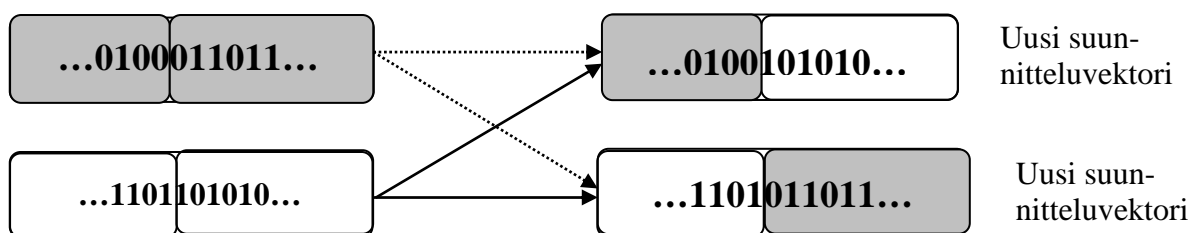
Geneettisen optimoinnin ideana on matkia luonnossa tapahtuvaa kehitystä, missä heikommat yksilöt kuolevat ja paremmat jäävät eloon ja lisääntyvät. Suunnitteluvektoria $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ voidaan pitää kromosomina ja sen elementtejä (laitteen mittoja, materiaalikodeja jne.) geneeinä.

Geneettiset operaattorit muuttavat suunnitteluvektorin geneejä. Operaattoreita on kahta päätyyppiä mutaatioita ja risteytyksiä. Mutaatiossa operaattori vaihtaa yhden tai useamman geenin arvoa kromosomissa. Risteytyksessä uuden suunnitteluvektorin geenit ovat kombinaatio kahden vanhemman suunnitteluvektorin geneistä. Kuvissa 7.22 ja 7.23 on havainnollistettu mutaatiota ja risteytystä binääriluvuilla. Mutaatiossa vaihtaa yksi binääriluvun elementti arvoaan. Risteytyksessä uusi geeni muodostuu kahdesta geenistä ("isän" ja "äidin" geneistä).

Geneettisessä optimoinnissa lasketaan sukupolvia. Sukupolven koko on tavallisesti 50 yksilöä (laitetta). Kuvassa 7.24 on esitetty kahden sukupolven, vanhan ja uuden, yhdeksän ensimmäistä yksilöä. Geneettinen optimointi tapahtuu seuraavasti:

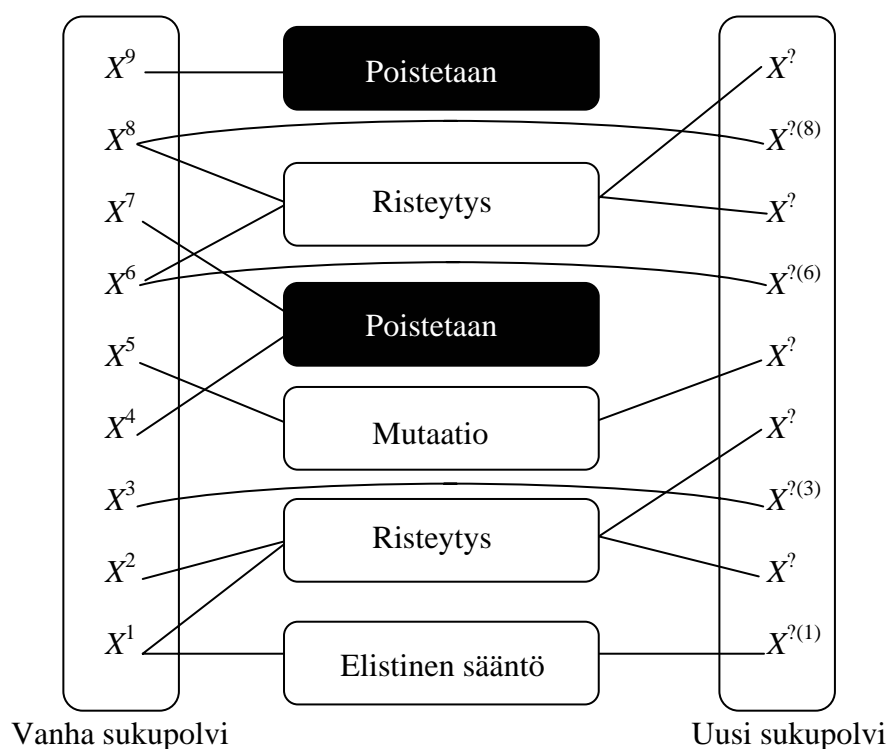


Kuva 7.22 Mutaatiossa operaattorit muuttavat geenien arvoja.



Kuva 7.23 Risteytyksessä uusien kromosomien geenit muodostuvat kahden vanhemman geneistä.

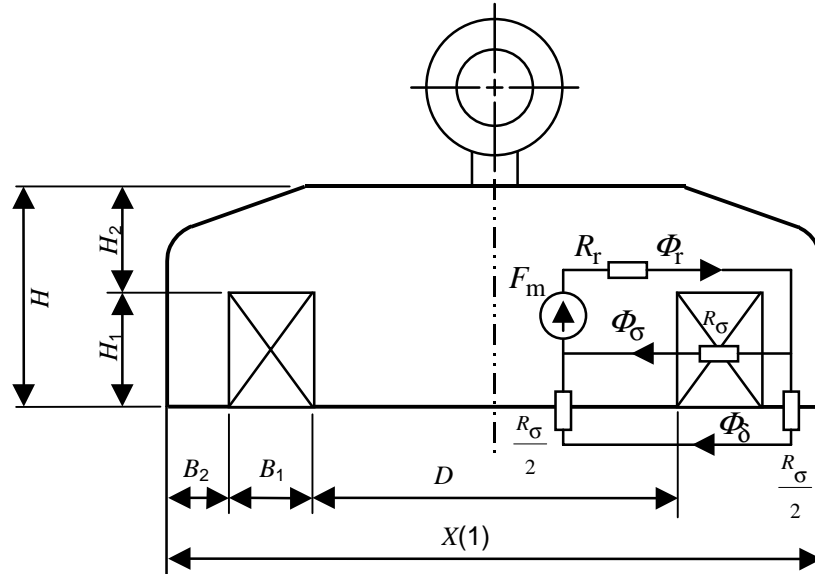
1. Lasketaan aloitussukupolvi, esim. 50 identtistä laitetta.
2. Tehdään 50 mutaatiota. Saadaan 50 erilaista laitetta.
3. Järjestetään laitteet kohdefunktion määräämään paremmuusjärjestykseen.
4. Valitaan laitteet, joista osa risteytetään, osalle tehdään mutaatio, osa siirretään muuttumattomana uuteen sukupolveen ja osa poistetaan eli kuolevat (kuva 7.24). Valinnassa vanhan sukupolven jokaiselle laitteelle annetaan todennäköisyys, joka on sitä suurempi mitä parempi laite on. Todennäköisyydet määräävät risteytyksen, mutaation ja poistamisen siten, että suuren todennäköisyyden omaavien laitteiden geenit todennäköisesti säilyvät risteytyksen, mutaation tai siirron kautta ja pienen todennäköisyyden omaavien laitteiden säilyvyys on pieni ja kuoleminen suuri. Vanhan sukupolven paras laite siirretään aina uuteen sukupolveen. Tätä kutsutaan elistiseksi säännöksi.
5. Uuden sukupolven laitteet järjestetään paremmuusjärjestykseen.
6. Optimointi jatkuu palaamalla kohtaan 4, kunnes ennalta määrätty määrä sukupolvia on laskettu.



Kuva 7.24 Uuden sukupolven muodostuminen vanhasta geneettisessä optimoinnissa.

7.6 Esimerkki

Esimerkkinä käsitellään rautalevyjen siirtoon tarkoitetun sähkömagneetin mitoitusta. Magneetin poikkileikkausta esittää kuva 7.25, johon on merkitty käytetyt mittojen symbolit ja magneettipiirin sijaiskytkentä. Tehtävänä on etsiä mitoitus, jolla magneetin raaka-ainekustannukset ovat minimissään. Vapaita muuttujia on kolme: ulkohalkaisija $X(1)$, ilmavälin vuontiheys $X(2)$ ja korkeus H . Rajoituksena on, että lämpeneminen ei saa ylittää suurinta sallittua arvoa Θ_s . Tehtävän luonteesta johtuu, että raaka-ainemenekki on sitä pienempi mitä suurempi on lämpeneminen. Tästä syystä optimi esiintyy lämpenemisen asettamalla rajalla. Yksi vapaista muuttujista voidaan eliminoida ratkaisemalla sen arvo ehdosta, että lämpeneminen on Θ_s . Eliminoitavaksi muuttujaksi valitaan korkeus H .



Kuva 7.25 Sähkömagneetin mitat ja magneettipiirin sijaiskytkentä.

Tehtävässä oletetaan tunnetuksi haluttu nostovoima F , magneetin syöttöjännite U (tasajännite), raudan magnetoitumiskäyrä $B_r = f(H_r)$, käämitilan täytekerroin f_k , käämin ja rautasydämen hinnat massaa kohden h_k ja h_r ja ilmarako δ magneetin ja nostettavan levyn välillä.

Tehtävä voidaan ratkaista kuvien 7.26 ja 7.27 esittämien kulkukaavioiden mukaisesti. Kuva 7.26 esittää ohjelman osaa, joka laskee magneetin hinnan, kun vapaille muuttujille on annettu arvot. Optimointimenetelmäksi on valittu univariaattinen haku ja sen kulkukaaviota esittää kuva 7.27.

Kulkukaavioiden mukaisesti ratkaisu tapahtuu seuraavasti.

1. Annetaan alkuarvot hinnalle H_v , $X(1)$:n ja $X(2)$:n muutoksille $D(1)$ ja $D(2)$ sekä indekseille K ja ohjelmakierrosten laskijoille $I1$, $I2$ ja $I3$.
2. Luetaan muuttujien $X(1)$, $X(2)$ ja H lähtöarvot.
3. Lasketaan magneetin mitat. Ilmavälin ala

$$A_\delta = \frac{\mu_0 F}{X(2)^2}$$

Toisaalta A_δ on

$$A_\delta = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi}{4} \left\{ X(1)^2 - [X(1) - 2B_2]^2 \right\}$$

josta saadaan sisähalkaisijaksi D ja mitaksi B_2

$$D = \sqrt{\frac{4A_\delta}{\pi}}$$

$$B_2 = \frac{1}{2} \left[X(1) - \sqrt{X(1)^2 - D^2} \right]$$

Magneetti mitoitetaan niin, että vuon raudassa kohtaama pinta-ala on vakio. Tästä seuraa

$$H_2 = \frac{D}{4}$$

4. Käämin korkeus

$$H_1 = H - H_2$$

5. Magneettipiirin reluktanssit voidaan laskea, kun magneetin mitat tunnetaan.

Ilmavälin reluktanssi

$$R_\delta = \frac{2\delta}{\mu_0 A_\delta}$$

ja hajapiirin reluktanssi

$$R_\sigma = \frac{2B_1}{\pi(D + B_1)H_1}$$

Raudan reluktanssin laskemiseksi on tunnettava raudan permeabiliteetti. Se ratkaistaan seuraavasti. Lasketaan ilmaväli-
vuon

$$\Phi_\delta = X(2)A_\delta$$

hajavuon

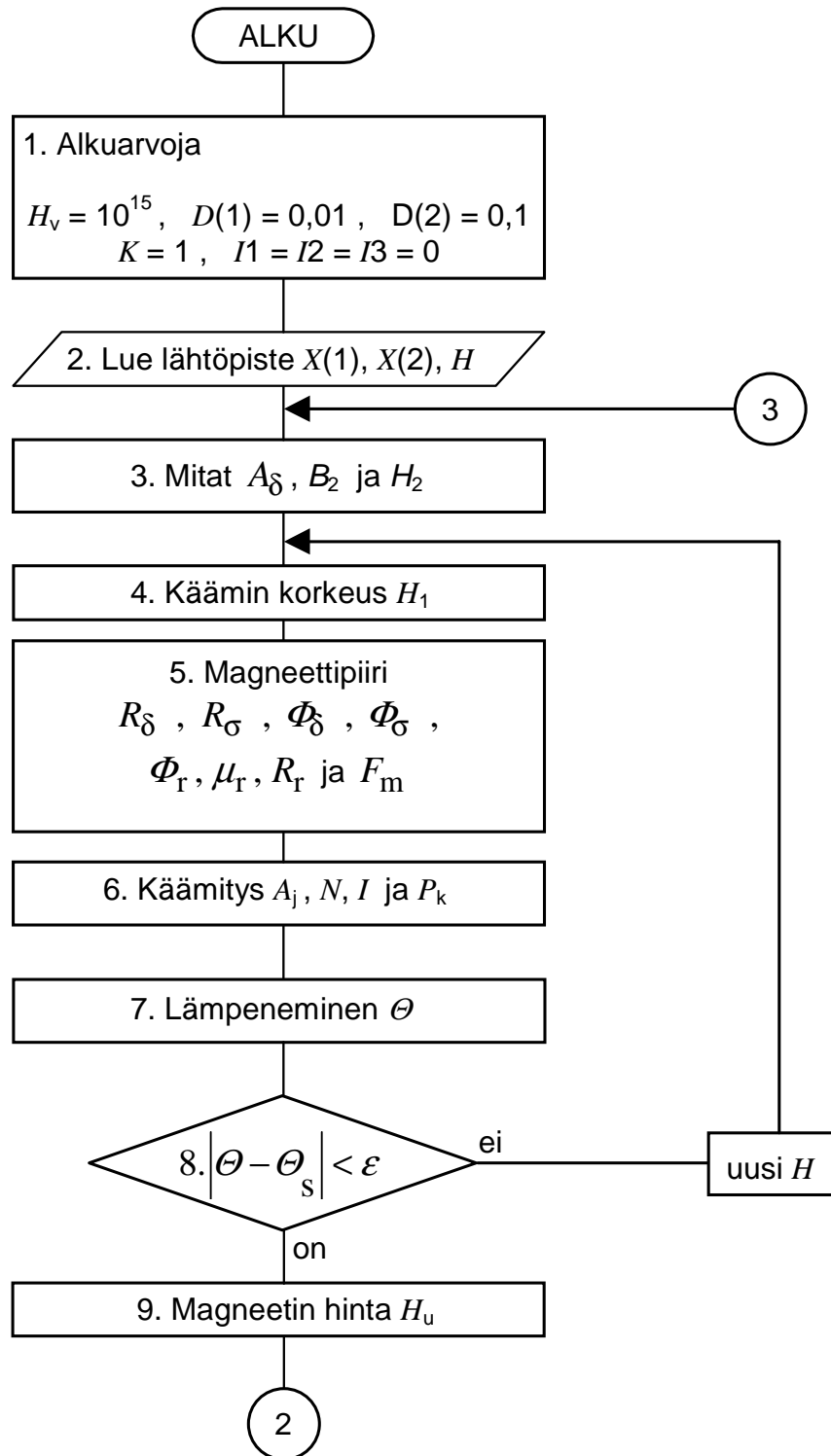
$$\Phi_\sigma = \frac{R_\delta}{R_\sigma} \Phi_\delta$$

vuon raudassa

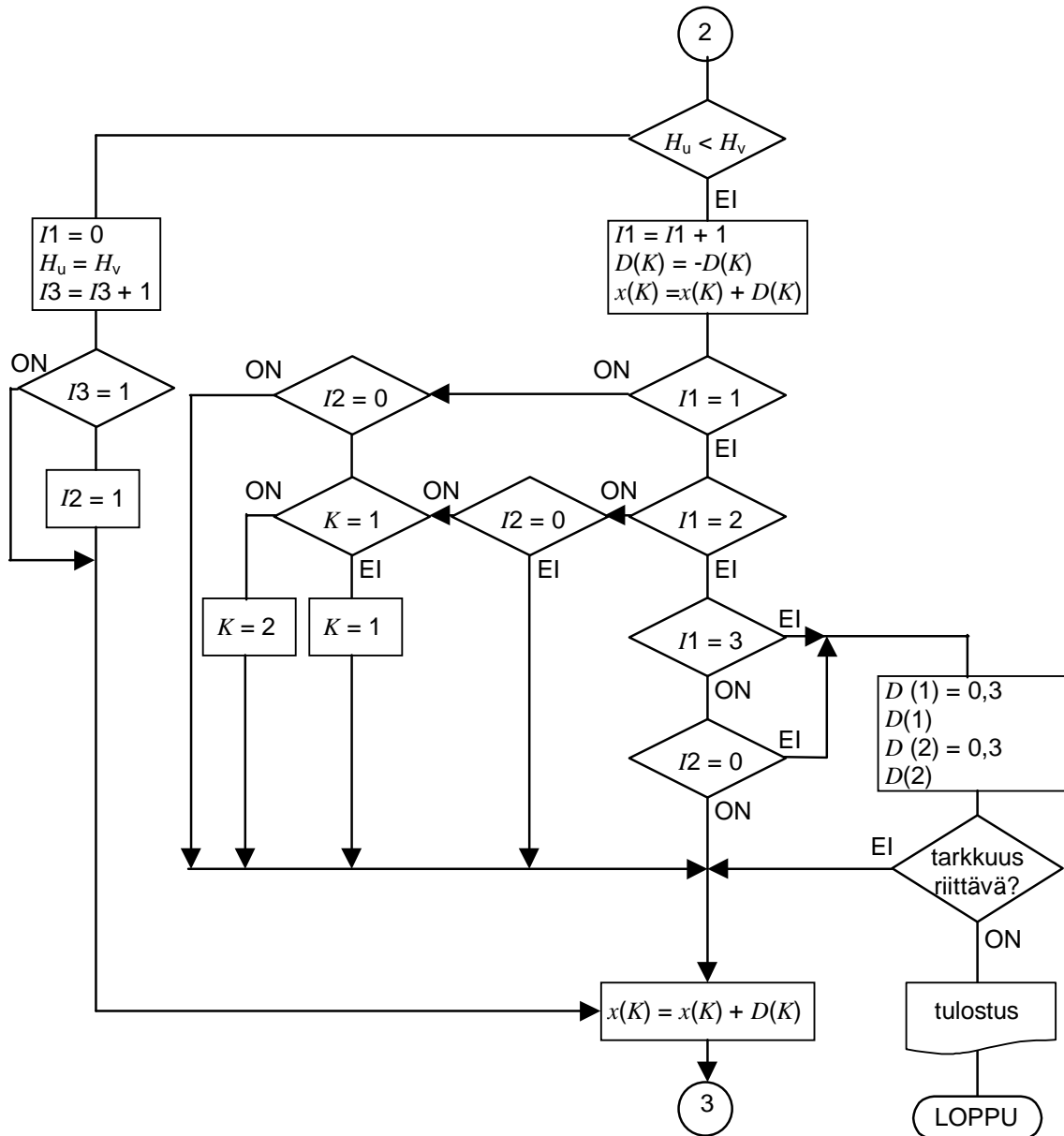
$$\Phi_r = \Phi_\delta + \Phi_\sigma$$

vuontiheys raudassa

$$B_r = \frac{\Phi_r}{A_\delta}$$



Kuva 7.26 Sähkömagneetin mitoituksen kulkukaavio.



Kuva 7.27 Univariaattisen haun kulkukaavio sovellettuna nostomagneetin mitoittamiseen (kuva 7.26).

ja raudan permeabiliteetti

$$\mu_r = \frac{B_r}{H_r}$$

missä H_r on magnetoitumiskäyrältä luettu, tiheyttä B_r vastaava kentänvoimakkuus.

Raudan reluktanssi

$$R_r = \frac{l_r}{\mu_r A_\delta}$$

missä l_r on magneetin mitoista laskettavissa oleva vuon raudassa kulkeman matkan pituus. Magnetomotorinen voima

$$F_m = \Phi_r \left(R_r + \frac{R_\delta R_\sigma}{R_\delta + R_\sigma} \right)$$

6. Käämityksen mitoitus. Johdinkierrosten keskimääräinen pituus

$$l_m = \pi(D + B_l)$$

Käämityksen resistanssin yhtälöstä

$$R = \frac{U}{I} = \frac{N l_m}{\gamma A_j}$$

missä γ on sähkönjohtavuus, N johdinkierrosluku ja A_j johtimen poikkipinta-ala, voidaan ratkaista

$$A_j = \frac{N I l_m}{\gamma U} = \frac{F_m l_m}{\gamma U}$$

Johdinkierrosluku

$$N = \frac{f_k B_l H_l}{A_j}$$

Virta

$$I = \frac{F_m}{N}$$

Häviöt

$$P_k = I^2 \frac{N l_m}{\gamma A_j}$$

7. Lämpenemisen laskeminen. Kun magneetin mitat ja siinä syntyvät häviöt tunnetaan, voidaan magneetin lämpeneminen laskea esimerkiksi lämmönvirtausta kuvaavan lämpöverkon avulla. Tässä yhteydessä ei käsitellä lämpöverkon muodostamista ja ratkaisemista, vaan todetaan, että lohkoista 7 saadaan tulokseksi magneetin lämpeneminen Θ .

8. Mikäli Θ ei ole riittävän lähellä sallittua arvoa Θ_s muutetaan korkeutta H ja palataan lohkoon 4.

9. Kun riittävä tarkkuus on saavutettu, lasketaan magneetin hinta

$$H_u = h_k m_k + h_r m_r$$

missä m_k ja m_r ovat käämityksen ja raudan massat. Tämän jälkeen siirrytään ohjelman osaan, joka muuttaa $X(1)$:n ja $X(2)$:n arvoja valitun optimointimenetelmän mukaisesti (kuva 7.27). Optimointi toimii kappaleessa 7.4.5 esitetyllä tavalla. Ohjelmakierrosten laskijoiden alkuarvot ovat $I_1 = I_2 = I_3 = 0$. I_2 ja I_3 saavat aikaan sen, että lähtöpisteen ympäristössä haetaan tarvittaessa koepisteitä neljässä eri suunnassa. Lähtöpisteen jälkeen ($I_2 = 1$) riittää, kun hakuyrityksiä tehdään kolmessa suunnassa. I_3 vaihtaa I_2 :n arvon nolasta ykköseksi. Muuttuja I_1 laskee peräkkäiset epäonnistuneet hakuyritykset. Aina kun kohdefunktion arvo paranee, I_1 :lle annetaan arvo nolla. H_u on laskettu uusi hinta ja H_v aikaisemmin saatu pienin hinta.

Optimointi päättyy, kun vuontiheyteen $X(2)$ tehtävä muutos $D(2) < 0,009$ T. Halkaisijaan tehtävä muutos on tällöin ollut 1 mm.

7.7 Kirjallisuutta

ADBY, P., DEMPSTER, M. 1974. Introduction to optimization methods. London, Chapman and Hall.

ANDERSEN, O.W. 1969. Optimum design of electrical machines. Göteborg, Diss. Chalmers tekniska högskola.

BAZARAA, M., SHERALI, H., SHETTY, C. 1993. Nonlinear programming: theory and algorithms. New York, Wiley. 638 s.

FOX, R. 1971. Optimization methods for engineering design. Massachusetts - California - London - Ontario, Addison - Wesley.

KALEVA, O. 1990. Optimointi. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, opintomoniste 138. 104 s.

LOKKI, O. 1978 osa I, 1977 osa II. Matemaattinen ohjelmointi. Espoo, Ota DATA.

MICHALEWICZ Z. 1995. Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Springer Verlag. 251 s.

MISCHKE, C. 1968. An introduction to computer - aided design. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall.

PALKO, S. 1996. Structural optimisation of an induction motor using a genetic algorithm and finite element method. Helsinki, väitöskirja, Acta Polytechnica Scandinavica, Electrical engineering series, No 84. 99 s.

WILDE, D. 1964. Optimum seeking methods. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall.

WILDE, D., BEIGHTLER, C. 1967. Foundations of Optimization. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall.

Tuotekehitys-kirja antaa lukijalle perustiedot tuotekehitystoiminnasta, sen eri työvaiheista ja luovan suunnittelun menetelmistä. Tuotekehityshanke on kirjassa jaettu neljään vaiheeseen: käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Tuotekehityksessä esiin tulevien ongelmien ratkaisumenetelmistä on käsitelty mm. aivoriihi, kirjallinen aivoriihi, muuntelulista, synektiikka, tuplatiimi, tuumatalkoot ja morfologinen analyysi. Ongelman analysoimismenetelmistä on esitetty japanilainen TT-menetelmä. Kirjassa perehdytään lyhyesti projektin valvontamenetelmiin, ergonomiaan, luotettavuuteen sekä patentin ja mallisuojan hakemiseen. Lopuksi on esitetty suunnittelutehtäviin soveltuvia optimointimenetelmiä. Kirja soveltuu alan opiskelijoille ja käytännön suunnittelijoille.

ISBN 978-952-60-3320-4

URL: <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>