

Marko Ahvenainen, Nina Janasik, Annukka Lehikoinen, Tapio Reinekoski

## Tulevaisuusresilienssi ja strateginen ennakointi: kriisinkestävyiden harjoittelua bayeslaisella kausaalimallinnuksella

### Ingressi

Artikkelissa esitellään menetelmä strategisen ennakkoinnin harjoitteluun. Menetelmä perustuu skenaarioiden edustamiseen todennäköisyyspohjaisen kausaalimallinnuksen keinoin. Mallinnuksessa hyödynnetään bayeslaiseen kausaalipäätelyyn perustuvaa mallia, Bayes-verkkoa. Harjoitusmenetelmää on testattu ensimmäisen kerran suomalaisen kaupunkiorganisaation kanssa kemikaalilogistisen suuronnettomuuden pitkän aikavälin seurauksien kartoittamiseksi. Menetelmän avulla tuotetaan sisäisesti johdonmukainen edustus eli malli siitä, miten harjoituksen osallistujat tutkijoiden fasilitoimana ajattelevat erilaisten mahdollisten tulevien maailmojen tuottuvan syiden ja seurausten ketjujen systeeminä. Menetelmä ei tarjoa niinkään asiantuntijatietoa kvantitatiivisena ”päätöksenteon tukena”, joka olisi irrallinen itse päätöksistä ja sen laadullisista perusteista. Sen sijaan menetelmä systematisoi ja tekee näkyväksi päätöksiin ja toimenpiteisiin johtavan ajattelun ja päättelyn. Tulevaisuusresilienssi määrittyy menetelmän valossa strategisen hallinnan mukailtavuudeksi ja hyytymättömyydeksi epävarmuuden ja kompleksiteetin edessä.

The article presents a method for exercising strategic future resilience. The exercise concept is based on representing scenarios with probabilistic causal inference and modelling using Bayesian Networks. The concept has been tested with experts of a Finnish city organisation to map the long-term consequences of a simulated chemical logistics disaster. The method yields an internally consistent and quantitatively reinforced representation, a model of how the expert users conceive of possible worlds unfolding as a system of causal paths. The result is not a traditional quantitative ‘decision support tool’ detached from actual decisions and the qualitative judgment on which they are based. Rather, the method is used to systematically map and trace the rationales and inferences that lead to decisive actions. The method allows strategic foresight and planning to be tenaciously calibrated with the uncertainties and complexities brought on by disruptive crises – a kind of futures resilience.

## 1 Johdanto

”On tuskin uusi havainto, että joudumme kohtaamaan olosuhteiden parantamiseen tähtäävän sähläilyämme odottamattomia seurauksia.”

(Casti 1997)

Yhteisön ja yksilöiden kriisinsietokyky, toimintakyvyn ylläpitäminen muuttuvissa olosuhteissa, valmius mukautua, muutosjoustavuus, järjestelmien kyky hylkiä ulkopuolelta tulevia uhkia, kriisien sietäminen sekä niistä palautuminen ja oppiminen – resilienssille ei ole yksiselitteistä määritelmää, vaan sen merkitys vaihtelee kontekstin mukaan (Ramezani et al. 2020). Käsite on levinnyt psykologian ja luonnontieteiden piiristä (Juntunen 2014) erityisesti yleiseen turvallisuuskeskusteluun (Hyvönen et al. 2019) ja juurtunut laajalti eri tieteenalojen, myös tulevaisuudentutkimuksen, tekniseen ja heuristiseen sanastoon (ks. esim. Deacon et al. 2018; Kim & Song 2018; Penadés et al. 2017).

Viheliäiset ongelmat, ilmastonmuutos ja kestävyys, adaptiivisten systeemien kompleksisuus, varautuminen ja ennaltaehkäisy, riskienhallinta ja arviointi, keskinäisriippuvuudet, kilpailulliset yhteistoimintajärjestelmät – eli epävarmuus, ennustamattomuus ja ennakoimattomuus – esiintyvät usein samassa käsitelmatriisissa resilienssin kanssa. Se vaikuttaisi kuvaavan sellaista maailmaa, jossa tulevaisuutta määrittäviä vaikutuksia ja niiden kanavoitumista on vaikea tietää. Resilienssiä tarvitaan, koska mikä tahansa suunniteltu kontrolli ja ennakoitu tulevaisuus voivat pettää. Jotta olisi mahdollista arvioida, millaista resilienssiä kriisien varalle eri yhteiskunnan järjestelmissä kaivataan, tarvitaan menetelmiä tulevaisuuden riskialttiuksien systemaattiseen kartoittamiseen. Epävarmuuden ja kompleksisuuden keskellä toimimisen kannalta kriittisintä on pystyä luomaan jaettu ymmärrys siitä, miten kulloinenkin epävarma ja kompleksinen systeemi toimii.

Tässä artikkelissa keskitymme resilienssin systemaattiseen ja kontekstuaaliseen tarkasteluun kaupungin strategisessa tulevaisuusajattelussa. Lähestymme tulevaisuusresilienssiä suhteessa niihin mahdollisiin ja tavoiteltuihin maailmoihin, joihin organisaatio toiminnallaan pyrkii. Esittelemme artikkelissa menetelmän, jolla voi tarttua järjestelmällisesti yllättäviin tulevien mahdollisten maailmojen ja niiden tekijöiden keskinäisiin suhteisiin. Menetelmän käyttöä on testattu ensi kerran suomalaisen kaupungin asiantuntijoiden kanssa kemikaalilogistisen suuronnettomuuden pitkän aikavälin seurausten kartoittamiseksi. Harjoituksessa pohdittiin ja mallinnettiin, miten erilaiset onnettomuusskenaarioiden variaatiot ja syy-seuraussuhteiden ketjut voisivat vaarantaa kaupungin strategisten tavoitteiden toteutumisen. Onnettomuutta ja tavoitteita tarkasteltiin sekä ympäristölle ja ekosysteemeille koituvista haitoista että ihmisille koituvista terveysuhkista käsin.

Menetelmä perustuu skenaarioiden edustamiseen todennäköisyyspohjaisen kausaalimallinnuksen keinoin (ks. esim. Pihlajamäki et al. 2020). Jotta tarkasteltavan systeemin alati kasvavaa kompleksiteettia olisi mahdollista käsitellä kokonaisuutena, skenaarioiden sisältämien syy-seuraussuhteiden laadullista hahmottamista tuetaan laskennallisella mallilla eli Bayes-verkolla (ks. esim. Fenton & Neil 2019). Bayeslainen kausaalipäätely formalisoi mahdolliset polkuriippuvuudet ja niiden muodostaman

skenaariovaruuden, joita on kognitiivisesti hankalaa tai mahdotonta käsitellä yhtä aikaa. Menetelmän avulla tuotetaan sisäisesti konsistentti representaatio siitä, miten mallin kausaalisuhteet ja -polut rakentavat käyttäjät ajattelevat erilaisten mahdollisten maailmojen tuottuvan syiden ja seurausten suhteiden pohjalta. Menetelmä ei tuota selkeitä päätösuosituksia, vaan mahdollistaa sen, että mallinnuksen perusteella nimettävien resilienssiä parantavien päätösten tai toimenpiteiden perusteet ja niiden rationaliteetti ovat suoraan jäljitettävissä ja todennettavissa. Mallin muuttujien vaihtoehtoisten tilojen yhdistelmiä ja niiden numeerisesti ilmaistuja todennäköisyyksiä voi testata ja kalibroida jatkuvasti päivittämällä malliin joko havaittua tai oletettua informaatiota käsillä olevasta systeemistä. Tällaisen kalibroinnin voi menetelmän avulla ulottaa akuutista ja operatiivisesta kriisinhallinnasta pitkän aikavälin strategisia tavoitteita uhkaaviin kehityskulkuihin ja niiden ennakkointiin.

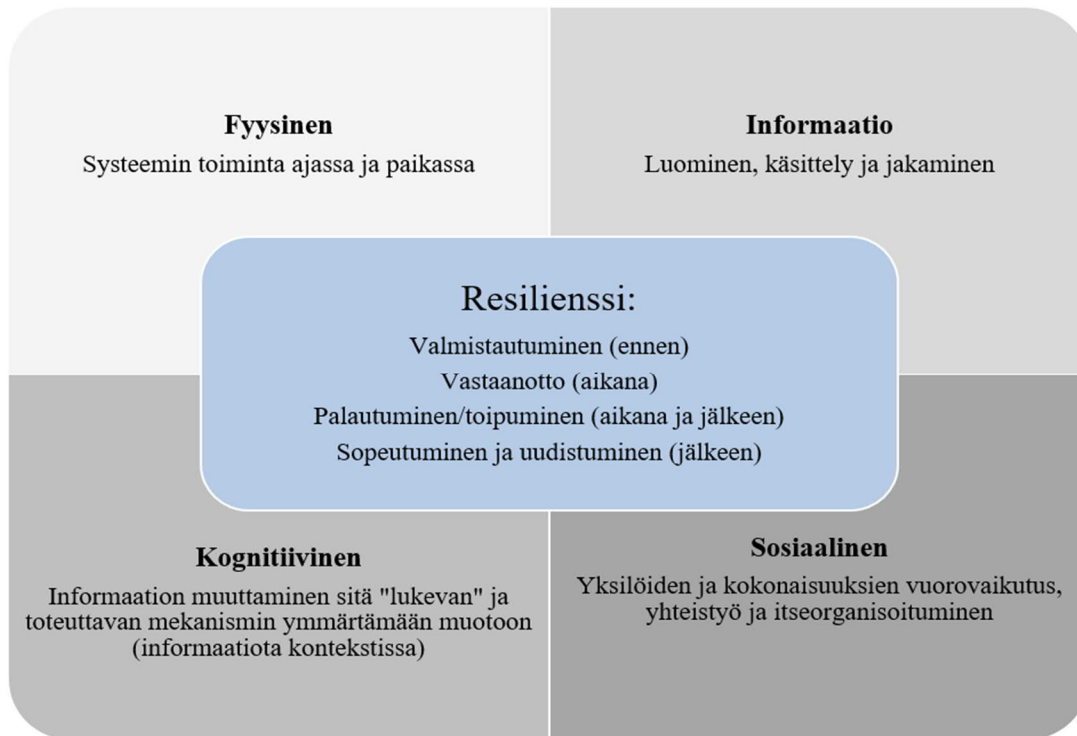
Määrittelemme seuraavaksi artikkelin keskeisiä termejä: resilienssiä, kompleksiteettiä ja epävarmuutta. Taustoitamme sitten harjoitusmenetelmän suunnittelua ohjanneita tutkimustavoitteita ja niiden muovautumista. Sen jälkeen kuvaamme menetelmän periaatteet ja yhdessä suomalaisen kaupungin asiantuntijoiden kanssa toteutetun pilottiharjoituksen. Lopuksi esitämme, että tulevaisuusresilienssissä on kyse strategisen hallinnan muuntumis- ja palautumiskyvystä, eli hyytymättömyydestä yllätysten edessä. Lopuksi pohdimme menetelmää tulevaisuutta koskevan tiedon muodostamisen välineenä sekä arvioimme harjoituksen puutteita ja tarpeita jatkokehittelylle.

## 2 Resilienssi, kompleksisuus ja epävarmuus ennakoinnissa

Resilienssin käsitteen juuret versovat kahdesta erilaisesta maaperästä: psykologiasta ja ekologisesta systeemiajattelusta (Juntunen 2014). Psykologiassa resilienssi viittaa yksilön tai ryhmän kyvykkyyteen sietää ja selvitä häiriöstä, jatkaa toimimista ja kehittyä. Kyvykkyys tarkoittaa tässä yhteydessä erityisesti uudistumisen ja mukautumisen taitoa, joka mahdollistaa toiminnan kriisitilanteessa, mutta myös yksilön positiivisen muutoksen kriisin myötä (Ramezani et al. 2020; Soni et al. 2011). Kyse ei ole siis pelkästä kriisin tai paineen sietämisestä, vaan resilienssi edellyttää positiivisen sopeutumisen ja uudistumisen kriisin jälkeiseen tilaan. Ekologiassa resilienssi tarkoittaa puolestaan nopeutta, jolla häiritty systeemi palaa tasapainotilaan tai systeemin kykyä ottaa vastaan häiriö ja organisoitua uudelleen muutostilanteessa. Itseorganisoitumisen tulee säilyttää systeemin identiteetti, joka muodostuu systeemin rakenteesta, sisäisistä vuorovaikutussuhteista sekä toiminnoista (Folke 2006; Ramezani et al. 2020).

Levitessään aina uusien tieteenalojen puhetapoihin resilienssi on saanut uusia, käyttöympäristön ja sovelluskohteen mukanaan tuomia erityispiirteitä. Viimeaikaisesta tulevaisuudentutkimuksellisesta kirjallisuudesta löytyy ainakin 23 erilaista määritelmää resilienssille (Ramezani et al. 2020), ja sen merkitykset vaihtelevat sovellusalojen ja tarkastelun kehystyksen mukaan. Alan johtavissa lehdissä *Futures* ja *Technological Foresight and Social Change* on viimeisten kymmenen vuoden aikana julkaistu avainsanalla

'resilienssi' yli kolme kertaa enemmän (560) tieteellisiä julkaisuja kuin ennen vuotta 2011 yhteensä (172). Erityisesti kompleksisessa systeemiajattelussa resilienssin tutkimus on siirtynyt kohti näkemystä, jossa korostetaan tasapainottamisen ja muutoksen kontrolloinnin sijaan itsenäisesti toimivien yksiköiden kapasiteettia kukoistaa epävarmuuden ja ennustamattomien häiriöiden keskellä (Juntunen 2014). Uhkakuvien muuttuessa yhä vaikeammin ennaltaehkäistäviksi ja ennustettaviksi resilienssistä on tullut keskeinen turvallisuuspoliittinen ja -strateginen käsite (Hyvönen 2019, Aaltola 2017). Määritelmien muotoilut eroavat toisistaan, mutta yhteistä niille ovat ainakin avoin uhkakuva ja systeemin peruselementtien ajallinen asemointi suhteessa häiriöön (ks. kuva 1.).



Kuva 1. Resilienssin 4x4-peruselementit (Linkov 2018, mukaillen)

Keskitymme artikkelissa ja kehittämämme menetelmän esittelyssä tulevaisuusresilienssiin kriisinsietokyvyn strategisena ennakoitina. Ennakoinnilla tarkoitamme tulevaisuutta kohti muuttuvan nykyisyyden hallintaa mennyttä, nykyisyyttä ja tulevaa koskevan tiedon avulla (Kuusi et al. 2013). Kyky ennakoida muodostuu informaation keräämisestä itsestä ja ympäristöstä, informaation jalostamisesta tiedoksi eli sen merkityksen kontekstualisoinnista sekä kyvystä hallita toimintaympäristöä ja omaa toimintaa. Mielekäs strateginen ennakointi edellyttää perustellun näkemyksen muodostamista siitä, mihin toimiin on ryhdyttävä tärkeinä pidettyjen päämäärien saavuttamiseksi ja ei-toivottavien tapahtumien ehkäisemiseksi. Tarvitaan siis järkeenkäypä vastaus siihen, miksi tietyltä toiminnalta on syytä odottaa haluttuja seurauksia. Teoriat ja mallit tarjoavat perustellun kehityksen havainnoille ja vähentävät näin selittämättömyyteen liittyvää epävarmuutta (ks. esim. Carroll 2017; Weinberg 2015). Ne eivät kuitenkaan tee tulevaisuudesta kauttaaltaan ennustettavaa. Läheskään kaikki mallintaminen ei ole tulevaisuuden ennustamista, vaan teorioiden testausta

ehdoilla ”jos, niin” ja ”mitä jos”. Lienee kuitenkin syytä pitää teoriaa sitä parempana mitä menestyksekkäämmin se selittää menneitä ja ennustaa tulevia havaintoja. Mallin validius eli tulevaisuutta ennustettaessa silti ole välttämättä sidoksissa sen kykyyn edustaa menneitä havaintoja tuottanutta systeemiä.

Roy Amaran (1981) postuloimissa tulevaisuuden lähtöoletuksissa systeemisen kompleksisuuden synnyttämä epävarmuus on tulevaisuuden ennustamattomuuden keskeinen peruste. Tulevaisuuden ensimmäinen premissi (ennustamattomuus) on Amaran mukaan rikkomaton. Voimme vaikuttaa tulevaisuuteen (kolmas premissi), mutta vaikuttavuudesta eli tuloksesta emme voi olla varmoja, sillä tulevaisuutta ei voi määrittää ennalta (toinen premissi). Missä määrin tulevaisuuden ennustamattomuus itse asiassa nousee yksittäisten, kokonaisuudesta enemmän vai vähemmän tietämättömien toimijoiden yhteisvaikutuksesta? Resilienssiä tarvitaan, koska ennakointi eli pyrkimys tulevaisuuden hallintaan voi epäonnistua yllättävällä eli ennakoimattomalla tavalla. Tulevaisuuden aito ennustamattomuus johtaa siis siihen, että on mahdollista olla väärässä tietämättä sitä vielä. Tätä määritelmää vasten ymmärrämme tulevaisuusresilienssin kyvykkyydeksi, joka mahdollistaa epävarmuudessa toimimisen myös strategian itsensä näkökulmasta. Tulevaisuuden aito ennustamattomuus johtaa siihen, että strategia saattaa joutua yllättävään uudelleenarviointiin. Tulevaisuusresilienssiä voi siis kutsua vankkumattomuudeksi tai hyytymättömyydeksi yllätysten edessä (myös Hanén 2017).

Tulevaisuuden suunnitteluun, hallintaan ja ennakointiin liittyy käytännöllinen paradoksi silloin kun todetaan maailman olevan kompleksinen, mutta sen suhteen toimitaan ikään kuin se ei olisi. Kompleksisuudesta kumpuavien uhkien ennustamaton luonne tiedostetaan, mutta käytännössä ennustamattomuutta pyritään hallitsemaan ja hillitsemään varautumalla siihen historiallisesti suuntautuen (Chandler 2014). Kompleksisuus liitetään usein systeemin käyttäytymisen epälinearisuuteen. Se tarkoittaa, että systeemin kokonaisuuden järjestyksen kuvausta on vaikea palauttaa erojen samankaltaisuuteen tai samankaltaisuuksien eroihin (Bohm 1987). Toisin sanoen systeemin käyttäytymistä ei voida kuvata yhden järjestyskäsitteiden puitteissa. Muutoksesta on siis vaikea ennakoida sen itsensä muutosta.

Systeemin käyttäytymisen epälinearisuus voi olla tunnettua, mutta kompleksisuus viittaa ennemminkin systeemin käyttäytymisen taipumukseen muuttua tuntemattomilla ja yllättävillä tavoilla. Kompleksisuuden voidaan ajatella olevan suoraan verrannollinen objektin lyhimmän kuvauksen pituuteen (Casti 1994). Kuvauksen pituus tarkoittaa lyhintä säännönmukaisuuksien joukkoa, jolla systeemin toiminta voidaan ”selittää” (Gell-Mann 1995). Kompleksisuudessa on siis kyse sen kuvauksen tiivistämisen mahdollisuudesta, eli systeemin ja sen ympäristön kompleksiteetin tarkoituksenmukaisesta redusoinnista, jotta systeemi voisi säilyttää ja uusintaa itsensä (Luhmann 2004, 48). Jos systeemin kuvausta ei voida tiivistää, on kyseessä satunnainen systeemi eli suurin mahdollinen kompleksisuus. Tällöin ainoa toimiva malli on systeemi itse (Gell-Mann 1995; von Baeyer 2005). Vaikka systeemi voitaisiin tiivistää sitä säännönmukaisuuksina kuvaavaan malliin, vielä perustavanlaatuisempi kysymys ja epävarmuuden lähde on se, mistä nämä säännönmukaisuudet tulevat. Onko syytä luottaa siihen, että havaitut säännönmukaisuudet, jotka ovat muodostuneet historiallisesti, pätevät myös tulevaisuuden kuvaamiseen? Voidaan

siis ajatella, että kompleksisuus rajoittaa mahdollisuutta oppia kokemuksesta ja samalla oppiminen itsessään luo kompleksisuutta, koska emme voi etukäteen tietää mitä opimme seuraavaksi ja mitä siitä seuraa.

Ennakoimattomuuden ja epävarmuuden väistämättömyyden ottaminen vakavasti tarkoittaa sen hyväksymistä, että ”turvallisuutta vaarantavat tilanteet syntyvät toimintojen odottamattomista yhdistelmistä, eivät niinkään toimintavirheistä tai häiriöistä, joita voidaan hallita suunnittelulla” (Sanastokeskus 2017). Pyrkimys hallita tulevaisuutta suunnittelulla ei siis ole turhaa, vaan tarkoittaa avoimuutta mahdollisuudelle, että mikä tahansa suunnitelmallinen kontrolli voi pettää. Tällöin oleellista ei ole se, millainen systeemi on tai mitä se tekee, vaan se, mitä systeemi saadaan tekemään.

### 3 Bayeslainen kausaalimallinnus: kriisiytyvän systeemin prognoosi ja strategisen resilienssin diagnoosi

Bayes-verkossa kausaalinen suhde esitetään ehdollisten todennäköisyyksien muodossa eli esimerkiksi  $P(a|b)$ . Se tarkoittaa todennäköisyyttä sille, että a tapahtuu, jos havaitsemme b:n. Asian voi ilmaista myös todennäköisyytenä sille, että a on totta, jos b on totta. Niin kauan kuin yksittäisen muuttujan tilaa ei ole havaittu, sitä edustetaan todennäköisyysjakaumalla yli muuttujan vaihtoehtoisten, kontrafaktuaalisten eli toisensa poissulkevien tilojen. Tilat saavat todennäköisyyksiä väliltä 0–1 (tai 0–100 %): nolla edustaa toteuman mahdottomuutta ja yksi täysin varmaa toteutumista. Tilojen todennäköisyydet summautuvat aina täyteen ykköseen (tai sataan prosenttiin), mikä tarkoittaa sitä, että jonkin muuttujan tiloista on toteuduttava. Kun mallin edustaman systeemin muuttujan (x) tilasta (y) tehdään havainto ( $P(x_y) = 1$ ), tieto päivittää kaikkien havaitsemattomien muuttujien todennäköisyysjakaumia mallissa määriteltujen todennäköisyyspohjaisten kausaalisuhteiden mukaisesti. Muuttujakohtainen todennäköisyysjakauma siis edustaa muuttujan mahdollisten tilojen keskinäistä toteutumistodennäköisyyttä jossakin tietyssä systeemin vallitsevassa tilanteessa havaittuine ja havaitsemattomine muuttujineen.

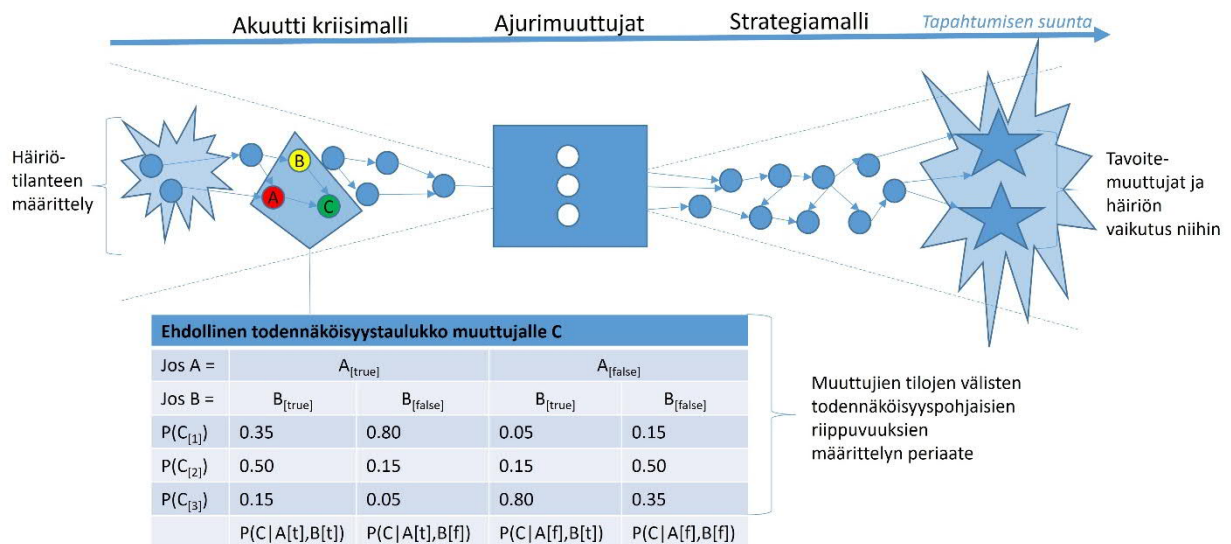
Bayes-verkoilla on menetelmänä joitakin yhtäläisyyksiä tulevaisuudentutkimuksessa paljon käytettyyn ristivaikutusanalyysiin, erityisesti silloin kun sitä käytetään skenaariomuuttujien toteutumistodennäköisyyksien keskinäisriippuvuuksien tarkasteluun (ks. Seppälä & Kuusi 2003). Toisin kuin ristivaikutusanalyysissä, Bayes-verkossa lopputulos on suunnattu syklitön verkko (Directed Acyclic Graph, DAG), jossa ei ole syy-seuraussuhdetta kuvaavien nuolien suunnassa mahdollisuus palata lähtöpisteeseen eli ajassa taaksepäin. Bayes-verkko muistuttaa myös tulevaisuustaulukkoa sillä erotuksella, että muuttujat ja niiden tilat on kytketty toisiinsa kausaalisesti. Morfologisesta skenaariotyöskentelystä tulevaisuustaulukkomenetelmällä Bayes-verkot poikkeavat siten, että kausaalinen kuvaus tapahtuu tapahtumisen, ei asioiden kontekstissa. Tapahtumisen on edettävä kronologisessa järjestyksessä ajan nuolen suuntaan eli muuttujien vaikutusta omaan tilaansa voidaan edustaa vain dynaamisesti aika-askeleittain (Fenton & Neil 2019, 471ff). Näin ollen asiat eivät vaikuta itseensä ja muodosta ajan ulkopuolella olevaa takaisinkytkentää. Systeemin muuttujien välisten riippuvuuksien ja

riippumattomuuksien määrittelyn kautta malli edustaa vallitsevaa tilannekuvaa eli kaikkia mahdollisia skenaarioita, jotka ovat samaan aikaan mahdollisuuksina olemassa, mutta joihin liittyvä todennäköisyys muuttuu riippuen siitä, mitä tiedämme tai oletamme tapahtuneeksi.

Bayes-verkko mahdollistaa ehdollisen päättelyn käsillä olevan tiedon ja siihen liittyvän epävarmuuden valossa. Päättely ei kuitenkaan rajoitu ainoastaan prognostiikkaan, vaan tieto virtaa verkossa myös nuolten suunnan vastaisesti, mikä sallii diagnostisen päättelyn havaintojen todennäköisistä taustaosuhteista. Kahden muuttujan mallilla  $a \rightarrow b$  voidaan siis arvioida  $b$ :n tilaa ehdolla  $a$ :n tila (esim.  $P(b=\text{tosi} \mid a=\text{tosi})$ ) ja toisin päin ( $P(a=\text{tosi} \mid b=\text{tosi})$ ). Erilaisten herkkyysanalyysien avulla voidaan tarkastella, millä kausaaliketjun edeltävistä muuttujista on eniten merkitystä kiinnostuksen kohteena olevan muuttujan tilaan (parametriherkkyys) tai siihen liittyvään epävarmuuteen (evidenssiherkkyys) (ks. esim. Korb & Nicholson 2011).

Esitämme seuraavaksi kehittämämme bayeslaisen tulevaisuusresilienssiharjoituksen kulun pääpiirteissään sellaisena kuin se toteutettiin sen ensimmäisessä testiversiossa vuoden 2021 alussa erään suomalaisen kaupunkiorganisaation asiantuntijoiden kanssa. Emme tarkastele harjoituksessa luodun Bayes-verkon tai siinä hyödynnetyn mallinnusohjelma Huginin (Madsen et al. 2005) teknisiä yksityiskohtia. Emme myöskään esitele harjoituksen yksityiskohtaisia tuloksia, koska ne kuuluvat lähtökohtaisesti salassapidon piiriin. Kuvaamme sen sijaan kausaalimallinnusta ja Bayes-verkkoja hyödyntävän menetelmäkonceptin, jolla voidaan strukturoida asiantuntijoiden näkemyksiä ja tulevaisuusresilienssin kehittämistä. Sovelluksen kontekstina voi kuitenkin ajatella mitä tahansa sosio-ekologista järjestelmää, sen rakennetta ja dynamiikkaa sekä sen strategista hallintaa.

Harjoitus toteutettiin suomalaisen kaupungin eri alojen asiantuntijoiden kanssa virtuaalisesti etäyhteydellä tilannehuoneen kaltaisessa asetelmassa. Aluksi osallistujat asetettiin kuvitteelliseen tilanteeseen lähitulevaisuudessa, jonka seurauksena voisi pitkällä aikavälillä olla kaupungin strategisia tavoitteita vaarantavia seurauksia. Lähtötilanteen akuutti kriisiskenaario oli taustahaastatteluissa ja alueellisessa riskiarviossa sivuttu hypoteettinen mutta mahdollinen tapahtuma: ympäristön ja terveyden vaarantava teollisuuskemikaalien kuljetukseen liittyvä suuronnettomuus, joka sijoitettiin todelliseen kaupunkiympäristöön. Pyrimme luomaan uskottavia ja realistisia syitä olettaa strategisten tavoitteiden voivan vaarantua onnettomuuden seurauksena. Sitomalla lähtöskenaarion todelliseen fyysiseen ympäristöön vahvistimme eläytymistä kuvitteelliseen tilanteeseen ja motivoimme ottamaan harjoituksen ”tosissaan”. Strategia ja ympäristö antoivat tulevaisuudelle omistajuuden, jota osallistujat ja heidän asiantuntijuutensa edustivat. Harjoitus toteutettiin kolmen tapaamisen aikana.



Kuva 2. Harjoituskonseptin mallinnuksen yleiskuvaus. Testiharjoituksessamme kirjoittajat loivat akuutin kriisimallin, josta osallistajat jatkoivat rakentamalla "strategiamallin" ajurimuuttujista kaupunkistrategian tavoiteindikaattoreihin. Riippuvuuksien todennäköisyyspohjainen edustaminen Bayes-verkkomallin todennäköisyystaulukoissa on esitetty ehdollisessa todennäköisyystaulukossa kuvitteelliselle kolmetilaiselle muuttujalle C, jonka vanhemmat A ja B ovat kaksitilaisia, tosi/epätosi-tyyppisiä muuttujia. Kukin sarake edustaa ehdollista todennäköisyysjakaumaa, jossa C:n tilojen todennäköisyydet summautuvat yhteen.

Harjoituskonseptin keskiössä on Bayes-verkko eli todennäköisyyspohjainen malli. Harjoituksessa ehdotuksemme mukaisesti sovellettuna Bayes-verkko on systeemianalyysin ja kognitiivisen mallinnuksen menetelmä, eli malli edustaa rakentajiensa ajattelua siitä, miten tarkasteltava maailma toimii rajatuissa, käsiteltävän kysymyksen kannalta relevanteissa puitteissa. Verkko koostuu i) analysoitavan systeemin graafisesta kuvauksesta, jossa määritellään laadullisesti muuttujat sekä niiden väliset riippuvuudet, sekä ii) muuttujille määritellyistä todennäköisyystauluista, joissa määritellään ehdollisin todennäköisyysjakaumin muuttujan määrällinen riippuvuus siihen vaikuttavista muista muuttujista.

Harjoituksen ensimmäisessä vaiheessa, prognoosissa, kuljettiin kausaalinen matka onnettomuuden laukaisemasta alkutilanteesta johdettujen "ajurimuuttujien" kautta strategisten tavoitteiden häiriintymiseen. Tutkijat ja harjoituksen osallistajat rakensivat yhteistyössä akuutin kriisiskenaarion pidemmän aikavälin seurauksia kuvaavan kausaalimallin. Tutkijat olivat laatineet harjoituksen lähtökohdaksi ns. akuutin kriisimallin (kuva 2), joka kuvasi tilanteen etenemisen kolmeen onnettomuuden akuutit vaikutukset kokoavaan haittanäkökulmaan asti (ajurimuuttujat kuvassa 2). Toiseen ääripäähän (kuvan 2 oikea pääty) työskentelyalustaa tutkijat olivat koostaneet kausaaliketjujen päätistemuuttujiksi kaupunkistrategiassa mainitut tavoitteet mittareineen. Osallistujien tehtävänä oli keskustellen ja piirtäen, tutkijoiden fasilitoimana, muodostaa onnettomuuden pitkän aikavälin vaikutuksia pohtimalla syy-seurauspolkuja, jotka yhdistäisivät akuuttia haittaa kuvaavat ajurimuuttujat kaupungin pitkän aikavälin strategiisiin tavoitteisiin. Keskustelun viritäjinä ja ohjaajina hyödynnettiin kaupungin strategiset tavoitteet ja niiden mittarit tiivistävää nelikenttää, jonka avulla jokaista akuutin haitan näkökulmaa

(ajurimuuttujaa) käsiteltiin. Näin muodostettiin ensimmäinen yhteys mahdollisiin mekanismeihin, joiden kautta osallistujat näkivät tutkijoiden rakentaman kriisimallin ajurimuuttujien johtavan strategisten tavoitteiden vaarantumiseen. Tätä näkemystä jäsenneltiin, tarkistettiin ja täsmennettiin harjoituksen edetessä kausaalipiirtämisen keinoin. Käytännössä tämä osuus harjoituksesta edustaa metodisesti kollektiivista kognitiivisen kartan laadintaa (LaMere et al. 2020).

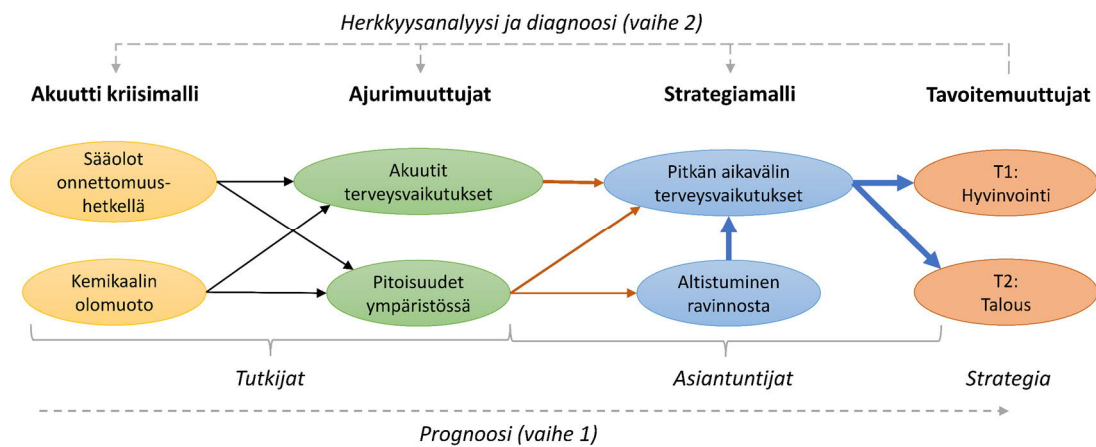
Kun analysoitavan systeemin graafinen kuvaus oli saatu valmiiksi, harjoituksen toisessa tapaamisessa siirryttiin määrittelemään muuttujien välisten riippuvuuksien suuntaa (negatiivinen/positiivinen riippuvuus), suhteellista voimakkuutta (heikko/kohtalainen/voimakas vaikutus) ja siihen liittyvää epävarmuuden määrää (vähäinen/kohtalainen/erityisen suuri epävarmuus). Kun näin elisitoitua mallia muunnettiin numeeriseksi Bayes-verkoksi, huomattiin, että osallistujien määrittelemät muuttujat voitiin jakaa tyypiltään kahteen kategoriaan: edustetun *asian muutosta* ja edustetun *tapahtuman toteutumista* kuvaaviin muuttujiin. Jälkimmäiset muuttujat olivat kaksitilaisia (tosi/ epätosi) totuusarvomuuttujia. Muutosta kuvaavat muuttujat taas rakennettiin edustamaan muutoksen astetta arvoasteikolla  $-2$  –  $+2$ , jossa noltila (“business as usual”) vastaa tilaa ennen häiriötä,  $-1$  ja  $+1$  kohtalaista, ja  $-2$  ja  $+2$  voimakasta negatiivista tai positiivista muutosta eli muuttujan kuvaaman asian tai ilmiön lisääntymistä tai vähenemistä suhteessa noltilaan. Bayes-verkon ehdollisten todennäköisyyssuhteiden täyttäminen tapahtui rinnastamalla osallistujien määrittelemä kahden muuttujan välisen riippuvuuden suunta ja voimakkuus muuttujien keskinäisen kaksikulotteisen tilakoordinaatiston nollapisteen (jossa kummankin muuttujan tila säilyy muuttumattomana) kautta kulkevan suoran kulmakertoimeen, johon liitettiin vähän tai paljon epävarmuutta.

Harjoituksen toisessa vaiheessa, diagnoosissa, kuljettiin ensimmäisessä vaiheessa häiritystä tulevaisuudesta takaisin häiriön syihin. Diagnoosivaiheessa muodostettiin näkemys siitä, miten mahdollisia maailmoja voisi manipuloida niin, että strategian vaarantumisen todennäköisyys pienenee. Parametriherkkyysanalyysin avulla selvitettiin muuttujat, joiden tilojen muutokset olivat merkittävimmin kytköksissä muutoksiin strategisia tavoitteita kuvaavien muuttujien tiloissa. Jotkin näistä muuttujista kuuluivat tutkijoiden luoman akuutin kriisimalliin piiriin, muun muassa onnettomuuden aikana vallinneisiin sääoloihin, mutta valtaosa sisältyi osallistujien rakentamiin strategiaa uhkaaviin pitkän aikavälin syy-seurausketjuihin. Herkkyysanalyysin perusteella tavoitteiden kannalta olennaisimmilta vaikuttaneita muuttujia tarkasteltiin asettamalla kukin tavoitemuuttuja huonoimpaan mahdolliseen tilaansa. Bayes-verkon logiikan mukaisesti tämä päivitetty tieto päivitti kaikkien muuttujien todennäköisyysjakaumia. Näin pystyttiin jäljittämään diagnostisesti, millaiset tekijät onnettomuuden jälkeisessä tulevaisuudessa todennäköisimmin vaarantaisivat kunkin tavoitteen.

Diagnoosin tulosten pohjalta tutkijat muotoilivat osallistujille harjoituksessa luetut narratiiviset kuvaukset (skenaariot) siitä, miltä alkutilanteen jälkeinen tulevaisuus näyttäisi silloin, kun päädytään kunkin tavoitteen osalta huonoimpaan mahdolliseen tilanteeseen. Tämä tarjosi uuden näkökulman asiantuntijoiden ajatteluun siitä, miten strategian tavoitteet voisivat tulevaisuudessa vaarantua. Narratiivien lisäksi osallistujilla oli harjoituksessa

käytössään mallinnusohjelman tarjoama näkymä koko mallista sekä muuttujien todennäköisyysjakaumat. Niiden pohjalta osallistujat kävivät keskusteluita siitä, mihin toimiin voidaan ja tulisi ennalta ryhtyä, jotta häiriön tulevat haitat jäisivät mahdollisimman vähäisiksi. Keskusteluissa esiin nousseet ajatukset koostettiin toimenpidetaulukoksi, jossa eriteltiin lähtötilanteen kaltaisen häiriön todennäköisyyttä tai sen seurauksia pienentäviä ja kaupungin strategista tulevaisuusresilienssiä kasvattavia toimia. Toimenpiteitä mietittäessä erityisen tärkeää on, että osallistujien valmiudet toimia perustuvat heidän ymmärrykseensä oman organisaationsa toimintamahdollisuuksista ja tavoitteista. Harjoitus tuotti näkemyksiä ja mahdollisesti uusia oivalluksia siihen, miten on perustellusti toimittava toisin, jos organisaation kriisivalmiutta ja resilienssiä halutaan lisätä. Ilman organisaation itseyymmärrystä nykyisistä toimintatavoista ja -valmiuksista sekä niihin uuden tiedon valossa liittyvistä puutteista perusteltuja toimenpiteitä ei olisi voinut johdonmukaisesti muotoilla.

Esimerkki 1. Yksinkertaistettu ja salassapidon takia kuvitteellinen havainnollistus mahdollisesta syy-seuraussuhteiden polusta akuutista kriisistä kohti strategisia tavoitteita (prognosi) ja takaisin tavoitteista kohti mallin indikoimia, resilienssin kannalta keskeisiä muuttujia.



Prognosivaiheessa tutkijat tai muut asiantuntijat rakentavat akuutin kriisimallin parhaan saatavilla olevan tiedon ja käytettävissä olevien resurssien pohjalta (keltaiset muuttujat). Malli päättyy eräänlaisiin ajurimuuttujiin (vihreällä), joiden ajatellaan olevan olennaisimpia pitkän aikavälin seurauksien arvioimisessa. Akuutti kriisimalli edustaa kemikaalionnettomuutta ja sen lyhyen aikavälin seurauksia (keltaisella). Kemikaalin olomuoto ja onnettomuushetken säätila vaikuttavat ihmisten altistumiseen kemikaalille ja siitä koituviin mahdollisiin akuutteihin terveysvaikutuksiin. Samaiset tekijät vaikuttavat myös siihen, millaisissa pitoisuuksissa kemikaalia esiintyy onnettomuuden jälkeen ympäristössä.

Harjoituksen ensi vaiheessa osallistujille esiteltiin onnettomuusskenaario ja sen lyhyen aikavälin kehittymistä kuvaava mallinnus ajurimuuttujiin saakka. Osallistujien tuli keskustellen jatkaa kausaalista ajattelua kohti pitkän aikavälin seurauksia ja pohtia niiden vaikutuksia organisaation strategiaan tavoitteisiin (oranssilla). Näin syntyi tavoitemuuttujiin päättyvän strategiamallin rakenne (sinisellä). Esimerkissä osallistujat ajattelevat kemikaalialtistuksesta syntyvien akuuttien terveysvaikutusten ja ympäristön saastumisen asteen aiheuttavan asukkaille pitkällä aikavälillä ilmeneviä terveyshaittoja. Osa ihmisten altistumisesta tapahtuu ravinnon välityksellä, osa muita reittejä pitkin. Väestössä ilmenevät terveyshaitat puolestaan vaikuttavat negatiivisesti kaupungin strategiaan tavoitteisiin asukkaiden hyvinvoinnista ja kestävästä kuntataloudesta.

Prognosivaiheen lopuksi osallistujat määrittivät muuttujien välisten kausaalilinkkien voimakkuuksia ja niihin liittyvää epävarmuutta nuolten paksuuden ja värin avulla. Esimerkissä on kolmenvahvuisia nuolia, paksuimmat edustavat voimakkaimpina pidettyjä vaikutuksia. Sininen väri kuvaa vähäiseksi, oranssi huomattavaksi arvioitua epävarmuutta vaikutuksessa. Tutkijat rakensivat graafisen esityksen mukaisen Bayes-verkon ja edustivat osallistujien ajattelua linkkien voimakkuudesta ja epävarmuudesta mallin muuttujien todennäköisyystaaluissa.

Valmista mallia käytettiin harjoituksen toisessa vaiheessa eli diagnoosissa selvittämään, mitkä onnettomuuden ja sen seurauksien osatekijät merkittävimmin uhkaavat strategisten tavoitteiden toteutumista pitkällä aikavälillä. Herkkyyksanalyysillä tunnistettiin, mitkä tekijät kausaaliketjuissa merkittävimmin vaikuttavat strategisten tavoitteiden tilaan onnettomuuden jälkeisessä tulevaisuudessa. Bayes-verkon mahdollistaman diagnostisen päättelyn avulla puolestaan tunnistettujen muuttujien todennäköisyysjakaumien tarkastelun silloin kun jokin tai jotkin tavoitemuuttujista on asetettu huonoimpaan mahdolliseen tilaansa. Jakaumien tarjoamaa informaatiota hyödyntämällä päästiin kiinni resilienssin kannalta olennaisiin tekijöihin. Niiden pohjalta osallistujat pohtivat, millaisin keinoin resilienssiä erilaisiin tulevaisuuksiin voitaisiin vahvistaa.

## 4 Johtopäätökset: tulevaisuusresilienssi vankkumattomana hyytymättömyytenä yllätysten edessä

*“Speculations (in a Bayesian vein) about the evolutionary function of literature suggests that one of the functions of fiction is to extend the learning process about the real world by presenting the mind with as many alternative scenarios as possible to recalibrate and specify our probabilistic understanding of the real world.” (Kukkonen 2014.)*

Tässä artikkelissa olemme tehneet keskeisen erottelun jonkin sosio-ekologisen järjestelmän resilienssin tai palautumis- ja muuntumiskyvyn ja toisaalta samaisen järjestelmän strategisen hallinnan resilienssin välillä. Strategisen hallinnan itsensä resilienssiä kutsumme tulevaisuusresilienssiksi ja määrittelemme sen vankkumattomuutena ja hyytymättömyytenä yllätysten edessä. Tulevaisuusresilienssi on toisin sanoen kyvykkyyttä suunnata ja muokata strategisia päämääriä joustavasti kriisien iskiessä sosio-ekologisiin järjestelmiin. Kehittämämme harjoitusmenetelmä tukee, testaa ja kalibroi nimenomaan organisaation tulevaisuusresilienssiä. Luemme harjoituksen vaiheet ja annin tiivistetysti kertaalleen tästä näkökulmasta.

Harjoitus alkoi onnettomuuden kuvauksella narratiivin keinoin. Tällä varsin perinteisellä skenariikan keinolla tarjosimme edellytykset pitkän tähtäimen tilannekuvan luomiselle, ei ainoastaan valitun sosio-ekologisen järjestelmän palautumis- ja muuntumiskyvystä, vaan myös sen strategisesta hallinnasta. Sen jälkeen harjoitus siirtyi kvantitatiiviseen moodiin, jonka puitteissa formalisoitiin bayeslaista todennäköisyyslaskentaa hyväksi käyttäen erilaisten mahdollisten skenaariopolkujen ja niiden muodostaman avaruuden keskinäissuhteet, joita on kognitiivisesti hankalaa tai mahdotonta käsitellä yhtä aikaa. Kvantitatiivinen työskentely tuotti sisäisesti konsistentin representaation siitä, miten mallin rakentajat ja käyttäjät ajattelivat erilaisten mahdollisten maailmojen tuottuvan syiden ja seurausten suhteiden pohjalta. Harjoituksen lopussa palattiin kvantitatiivisen herkkyysanalyysin avulla kvalitatiivisiin skenaarioihin eli tutkijoiden tuottamiin narratiiveihin siitä, millä kaikilla tavoin kaupungin asiantuntijat ajattelivat strategisten päämääriensä vaarantuvan yhdistelmäyllätyksen myötä. Näiden kvantitatiivisesti vahvistettujen ja tiukasti strategiaan päämääriin sidottujen narratiivien pohjalta tuli mahdolliseksi vastata kysymykseen, mitä meidän pitäisi tehdä toisin, jotta näin pahasti ei kävisi – niin sosio-ekologisten järjestelmien lyhyen tähtäimen kuin niiden strategisen hallinnan pitkän tähtäimen resilienssin osalta.

Menetelmällämme voi siis tarttua järjestelmällisesti ja kontekstisidonnaisesti tulevien mahdollisten maailmojen ja niiden osatekijöiden keskinäisiin suhteisiin. Ennen kaikkea se mahdollistaa siirtymän osallistujien laadullisesta ajatusten jäsentelystä numeeriseen systeemin analyysiin. Harjoituksen osallistujilta saamamme palautteen perusteella voimme sanoa, että menetelmä tukee kriisin laukaiseman kompleksisen epävarmuuksien avaruuden systemaattista ja organisaation asiantuntemuksen muotojen yhteistoiminnallista hahmottamista. Herkkyysanalyysi ja diagnoosivaihe taas tarjosivat tietoa siitä, mihin systeemin osiin vaikuttaminen olisi tärkeintä asiantuntijoiden omaa päättelyä kuvaavan kollektiivisen mallin perusteella.

Kehittämämme tulevaisuusresilienssin vahvistamisen menetelmä ei näin ollen tuota suoranaisia päätösuosituksia, vaan mahdollistaa sen, että mallinnuksen perusteella tehtävien päätösten tai toimenpiteiden perusteet ja järjestyminen niiden taustalla ovat suoraan jäljitettävissä. Mallilla erilaisia perusteiden, eli mallin muuttujien ja niiden suhteiden, yhdistelmiä ja niiden numeerisesti ilmaistuja todennäköisyyksiä voi testata ja kalibroida jatkuvasti päivittämällä malliin joko havaittua tai oletettua informaatiota käsillä olevasta sosio-ekologisesta järjestelmästä. Koska mallin jokainen muuttuja ja osasysteemi on kausaalisesti yhteydessä toisiinsa ja koko mallinnettuun systeemiin, menetelmän avulla hyvin eri mittakaavan tekijöitä, kuten myrkyllisten kemikaalien ominaisuuksia ja kaupunkistrategisia tavoitteita, voidaan käsitellä yhdessä. Resilienssin kannalta olennainen kysymys ei siis ole niinkään, mitä jonkin kaupunkiorganisaation osasysteemin, esimerkiksi pelastus- tai ympäristötoimen, tulisi tehdä ollakseen kriisinkestävä. Sen sijaan BOR-konsepti sisällyttää eri osasysteemit yhtenäiseksi samaan syy-seuraussuhteiden verkostoksi. Tällöin resilienssi muodostuu kyvystä kalibroida organisaation pitkän tähtäimen tavoitteita ja eri tavoin kriisiytyviä osasysteemejä jatkuvassa suhteessa toisiinsa.

Menetelmä ei siis pakotoi asiantuntijatietoa kvantitatiiviseksi ”päättöksen tueksi”, joka olisi irrallinen itse päätöksistä ja niiden laadullisista perusteista. Sen sijaan menetelmä systematisoi ja tekee näkyväksi päätöksiin ja toimenpiteisiin johtavan ajattelun ja päättelyn. Samalla se avaa tavoitteet ja strategisen hallinnan itsensä muunneltaviksi ja kalibroitaviksi kriittisten, tulevien yllätysten edessä.

## 5 Lopuksi

Jos tutkimuskohteeksi otetaan tulevaisuus (Niiniluoto 2013; 2018), tulevaisuuden mahdollisten nykyisyyksien sijaan, evidenssi kadotetaan. Tulevaisuuden mahdollisilla nykyisyyksillä viitataan tässä kohtaa siihen tosiasiaan, että vain tapahtuneilla asioilla voi olla niiden seurauksia. Koska fyysikaalinen todellisuus ei salli ristiriitaa (Yanofsky 2019), tapahtuu vain se mitä tapahtuu, ja tässä mielessä tapahtuminen ja sen kuvittelu eivät ole sama asia (Deutsch 1997). Toisaalta yritys pelastaa evidenssi on turhaa, koska tiedollisesti tulevaisuus on aina päättelyssä, ei havaituissa tosiasioissa. Pahimmillaan menneisyyteen suuntautuva ja lineaariseen regressioon tylyvä evidenssin pelastusyritys voi johtaa tulevaisuudentutkimuksen näivettymiseen pelkäsi tilastoanalyttiseksi menetelmätieteeksi. Kehittämämme menetelmä perustuu tulevaisuutta koskevan päättelyn formalisointiin.

Menetelmäämme voidaan ajatella tulevaisuutta koskevan ajattelun ja näkemyksellisen tiedon validointiprosessina.<sup>1</sup> Validointi kohdistui toteutetussa harjoituksessa yhteiseen näkemykseen

---

<sup>1</sup> Päättelymme kulkee seuraavasti:

- 1) Tulevaisuutta koskevaa näkemystä ei voida johtaa suoraan havainnoista, vaan se tuotetaan päättelyllä ja oikeutetaan vertaamalla sitä evidenssiin. Se tarkoittaa, että myös menneisyys on päätelty eli mahdollinen ja ilmaistavissa vain todennäköisenä.
- 2) Lähtöoletuksesta seuraa, että samoista havainnoista voidaan johtaa erilaisia ennusteita ilman ristiriitaa. Mahdollisen maailman todennäköisyys ja uskottavuus riippuvat siitä, mitä on omaksuttu selittäväksi viitekehyyksi.
- 3) Tulevaisuutta koskeva ennustamattomuus ja epävarmuus voidaan ilmaista mahdollisten maailmojen

siitä, miten mahdolliseksi tunnistettu häiriö voisi vaikuttaa asiantuntijoiden edustaman organisaation kykyyn toteuttaa strategiaansa ja toisaalta siihen, mitä organisaatiossa voitaisiin tehdä häiriön vaikutusten ehkäisemiseksi tai lieventämiseksi. Tavoite oli siis selittää tai kuvata, miksi strategia vaarantuu (proгноosi), jotta voidaan esittää perusteltu näkemys siitä, mihin asioihin vaikuttamalla vaarantumista voidaan hallita (diagnoosi). Tutkimuskohde oli näin ollen organisaation kriisinsietokyky, jota tutkittiin Bayes-verkkoja hyödyntävällä menetelmällä. Tutkimusaineiston eli tulevaisuudesta esitettyjen näkemysten perusteluna käytetyn evidenssin muodosti asiantuntijoiden ajattelu, joka oli valitun menetelmän myötä ehdollistettu kausaaliseksi päättelyksi. Menetelmäkonseptimme yhdistää osallistavan työpajatyöskentelyn, mallinnuksen ja sillä saavutettavan simuloitun skenariikan kokonaisvaltaiseksi tulevaisuuden ennakointiprosessiksi, jota voidaan hyödyntää strategisen suunnittelun ja siihen liittyvän pragmaattisen päätöksenteon apuna.

Tulevaisuusresilienssi strategisessa viitekehyksessä tarkoittaa artikkelissa organisaation kykyä pitää häiriön aiheuttama poikkeama tavoitteidensa kannalta siedettävänä. Organisaation resilienssi mahdollistaa, että sen toiminta voi jatkua ja että strategiaa voidaan toteuttaa myös häiriötilanteessa. Vakavien yllättävien kriisien myötä erilaisista organisaatioista voi yhdessä tulla uudella tavalla osa yhteiskunnan kokonaisresilienssiä. Tulevaisuusresilienssi muodostuu näin ollen kahdesta näkökulmasta: organisaatioiden kyvystä toteuttaa strategiaansa ja toisaalta kyvystä uudelleenorganisoidua kriiseissä. Organisaation strategia ei ole staattinen, vaan muutokseen vastaava ja osaltaan myös muutoksesta vastaava. Häiriön ei tarvitse olla tulevaisuutta kriisiyttävänä muutostekijänä äkillinen, vaan se voi syntyä myös hitaasti, esimerkiksi ilmaston lämpenemisen tai biodiversiteetin vähenemisen myötä. Simuloinnilla ja mallintamisella voidaan harjoitella ja tehdä näkyväksi, miten häiriö vaikuttaa organisaation strategisen tehtävän hoitoon ja miten valmiuksia selvittää, palautua ja kehittyä voidaan parantaa.

Menetelmämme merkittävin heikkous on sen työläys ja mallin rakentamisen vaatima aika niin tutkijoilta kuin osallistujilta. Jotta menetelmästä olisi apua organisaatioiden jatkuvaan, adaptiiviseen strategiatyöhön, tilannekuvan päivittämiseen kriisitilanteissa ja niiden pitkän aikavälin seurausten arvioinnissa, mallinnukseen liittyviä työvaiheita olisi sekä automatisoitava ja käytettävyyttä helpotettava. Nykyisellään menetelmä vaatii Bayes-

---

eriasteisena olemisena suhteessa toisiinsa ja näiden suhteiden muutoksena suhteessa evidenssiin.

4) Malli edustaa osallistujien (kausaalista) päättelyä annetuissa puitteissa.

5) Malli kuvaa aineiston tuottaman prosessin eli ilmaisee eksplisiittisesti, miksi havaintojen oletetaan olevan tulevaisuudessa tietynlaisia.

6) Tieteellisen tiedon tuottamisen ydinprosessi on havaintojen ja niitä selittävien hypoteesien vertailua.

7) Bayes-teoreema (Bayes & Price 1736) kvantifioi abduktiivisen päättelyn, eli formalisoi uskottavimmin toden tai todennäköisimmin toden hypoteesin valinnan prosessin. Bayes-päättely kalibroi tietyn selityksen paikkansapitävyyden todennäköisyyden kaikkien annettujen selitysten joukosta.

8) Bayeslainen kausaalimalli vertaa havaintoja selitykseen osallistujien oman päättelyn sisällä.

9) Malli edustaa rajatussa mielessä kaikkia mahdollisia tulevaisuuksia, eli mallin sisällä ennakointi on tulevaisuutta koskevan näkemyksen kalibrointia. Manipuloimalla mallia havaitulla tai oletetulla informaatiolla saadaan esiin mallin tekijöiden näkemys tätä informaatiota uskottavimmin vastaavasta historiasta ja tulevaisuudesta.

10) Tulevaisuusresilienssiä voidaan arvioida ja kehittää hyödyntämällä Bayes-verkkoihin perustuvaa kausaalimallinnusta.

laskennan ja -mallinnuksen erikoisosaamista, mutta uskomme, että konseptia on mahdollista kehittää itsenäiseen työskentelyyn soveltuvaksi. Se edellyttäisi Bayes-laskennan ja mallin rakentamisen ohjelmoimista ja yhdistämistä esimerkiksi täysin visuaaliseen käyttöliittymään.

## Lähteet

Aaltola, Mika (2017): Yhteiskunnan kriisiturvallisuus ja toipumiskyky keskinäisriippuvuuksien mahdollistamien painostuskeinojen aikakaudella. Seminaariesitys. Noudettu 25.8.2021 osoitteesta

[https://www.defmin.fi/files/4077/MATINE\\_Seminaari\\_161117\\_Aaltola.pdf](https://www.defmin.fi/files/4077/MATINE_Seminaari_161117_Aaltola.pdf)

Amara, Roy (1981): The Futures Field, *Futurist* 15(1), s. 25–29

Bayes, Thomas & Richard Price (1736): An essay towards solving a problem in the doctrine of changes. *Philosophical transactions* (1683–1775) 53, s. 370–418.

Bohm, David & David F. Peat (1987): *Science, Order, and Creativity*. Routledge, London.

Carroll, Sean (2016): *The Big Picture. On the Origins of Life, Meaning, and the Universe Itself*. Dutton, New York.

Casti, John L. (1997): *Yllätysten tiede*. WSOY, Juva.

Chandler, David (2014): Beyond neoliberalism: resilience, the new art of governing complexity. *Resilience: International Policies, Practices and Discourses* 2(1), s. 47–63.

Deacon, Leith, Kristof Van Assche, Jacob Papineau & Monica Gruezmacher (2018): Speculation, planning, and resilience: Case studies from resource-based communities in Western Canada. *Futures* 104, s. 37–46.

Deutsch, David (1997): *Todellisuuden rakenne*. Terra Cognita, Helsinki.

Fenton, Norman & Martin Neil (2019): *Risk Assessment and Decision Analysis with Bayesian Networks*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Folke, Carl (2006): Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16(3), s. 253–267.

Gell-Mann, Murray (1995): What is complexity? Remarks on simplicity and complexity by the Nobel Prize-winning author of *The Quark and the Jaguar*. *Complexity* 1(1), s. 16–19.

Hyvönen, Ari-Elmeri, Tapio Juntunen, Harri Mikkola, Juha Käpylä, Harri Gustafsberg, Markku Nyman, Tiina Rättilä, Sirpa Virta & Johanna Liljeroos (2019): Kokonaisresilienssi ja turvallisuus: tasot, prosessit ja arviointi. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 7/2019.

Juntunen, Tapio (2014): Kohti varautumisen ja selviytymisen kulttuuria. Kriittisiä näkökulmia resilienssiin. SPEK puheenvuoroja 2., Suomen Pelastusalan Keskusjärjestö SPEK, Helsinki.

Kim, Donghyun & Seul-Ki Song (2018): Measuring changes in urban functional capacity for climate resilience: Perspectives from Korea. *Futures* 102, s. 89–103.

Korb, Kevin B. & Ann E. Nicholson (2011): *Bayesian artificial intelligence*. CRC press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Kukkonen, Karin (2014): Presence and Prediction: The Embodied Reader's Cascades of Cognition. *Style* 48(3), s. 367–384.

Kuusi, Osmo, Timo Bergman & Hazel Salminen (2013): Tulevaisuudentutkimuksen käsitteitä. Teoksessa Bergman, Timo, Osmo Kuusi & Hazel Salminen (toim.): *Miten tutkimme tulevaisuuksia*, s. 324. Tulevaisuuden tutkimuksen seura ry, Helsinki.

Linkov, Igor (2018): Linking different forms of Resilience. Esitys. Noudettu 4.6.2021 osoitteesta [https://www.oecd.org/naec/Linking\\_different\\_forms\\_of\\_resilience.pdf](https://www.oecd.org/naec/Linking_different_forms_of_resilience.pdf)

Luhmann, Niklas (2004): *Ekologinen kommunikaatio*. Gaudeamus, Helsinki.

Madsen, Anders L., Frank Jensen, Uffe B. Kjaerulff & Michael Lang (2005): The Hugin tool for probabilistic graphical models. *International Journal on Artificial Intelligence Tools* 14, s. 507–543.

Niiniluoto, Ilkka (2013): Tulevaisuudentutkimus – tiedettä vai taidetta? Teoksessa Bergman, Timo, Osmo Kuusi & Hazel Salminen (toim.): *Miten tutkimme tulevaisuuksia?*, 23–29. Tulevaisuuden tutkimuksen seura ry, Helsinki.

Niiniluoto, Ilkka (2018): Onko tulevaisuudesta tietoa? *Futura* 3/2018, s. 6–11.

Niskanen, Vesa A. (2003): *Sumea logiikka. Kirkasta älyä ja mallinnusta*. Dark, Vantaa.

Pearl, Judea & Dana Mackenzie (2018): *The Book of Why. The New Science of Cause and Effect*. Basic Books, New York.

Penadés, M. Carmen, Ana G. Núñez & José H. Canós (2017): From planning to resilience: The role (and value) of the emergency plan. *Technological Forecasting and Social Change* 121, s. 17–30.

Pihlajamäki, Mia, Inari Helle, Päivi Haapasaari, Simo Sarkki, Sakari Kuikka & Annukka Lehikoinen (2020): Catching the future: Applying Bayesian belief networks to exploratory scenario storylines to assess long-term changes in Baltic herring (*Clupea harengus membras*, Clupeidae) and salmon (*Salmo salar*, Salmonidae) fisheries. *Fish and Fisheries* 21(4), s. 797–812.

Ramezani, Javaneh & Luis M. Camarinha-Matos (2020): Approaches for resilience and antifragility in collaborative business ecosystems. *Technological Forecasting & Social Change* 151, 119846.

Sanastokeskus (2017): *Kokonaisturvallisuuden sanasto*. Sanastokeskus TSK ry, Helsinki.

Seppälä, Yrjö & Osmo Kuusi (2003): Ristivaikutusanalyysi. Sovelluksena kuljetukset 2010. Teoksessa Matti Vapaavuori & Santtu von Bruun (toim.): Miten tutkimme tulevaisuutta, Toinen, uudistettu painos, s. 145–166. Tulevaisuuden tutkimuksen seura ry, Tampere.

Soni, Umang, Vipul Jain & Sameer Kumar (2014): Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. *Computers & Industrial Engineering* 74, s. 11–25.

Von Bayer, Hans Christian (2005): *Information. The New Language of Science*. Harvard University Press, Cambridge.

Weinberg, Steven (2015): *To Explain the World. The Discovery of Modern Science*. Harper/HarperCollins Publishers, New York.

West, Geoffrey (2017): *Skaala. Elämän ja kuoleman universaalit lait eliöissä, suurkaupungeissa ja yhtiöissä*. Terra Cognita, Helsinki.

Yanofsky, Noson S. (2019): *Perustellun tiedon ulkorajat. Mitä tiede, matematiikka ja logiikka eivät voi kertoa*. Terra Cognita Oy, Helsinki.