

# **Systemianalyysin soveltaminen ympäristöpäätöksenteossa ja ympäristöarvioinneissa**

## **– Esimerkkejä menetelmiä soveltavista projekteista Suomen ympäristökeskuksessa**

Jyri Mustajoki

Suomen ympäristökeskus

FORS-seminaari 21.11.2019



S Y K E

# Taustaa

- DI ja TkT Systemianalyysin laboratorio, TKK (Aalto)
  - Pääaine – Systemi- ja operaatiotutkimus
    - Optimointi, päätösanalyysi, mallintaminen, simulointi, riskianalyysi...
  - Oma tutkimusaihe: Monitavoitteinen päätösanalyysi (MCDA)
    - Jäsennetty lähestymistapa monia tavoitteita ja sidosryhmiä koskevien ongelmien mallintamiseen ja vaihtoehtojen arviointiin
  - DI-työ (1999): Web-HIPRE -työkalun kehitys tukemaan MCDA:ta
  - Väitöskirja (2007): MCDA-menetelmien ja niitä tukevien järjestelmien kehitys ja soveltaminen
- Tutkijatohtori Tampereen teknillisessä yliopistossa 2009–2012
  - MCDA-menetelmäkehitystä ja soveltamista
- SYKEN Vesien hallinta ja arvioinnit -ryhmässä 2012–
  - MCDA:n ja muiden systemianalyysimenetelmien soveltaminen käytännössä



# Suomen ympäristökeskus (SYKE)

- Monialainen tutkimus- ja asiantuntijalaitos
- Tehtävänä ratkaista yhteiskunnan polttavia kysymyksiä, joilla on vaikutusta ympäristöön
- Tavoitteena tuottaa ymmärrystä, asiantuntemusta ja palveluita kestävän yhteiskunnan takaamiseksi, esim.
  - tutkimus- & kehitystoiminta
  - asiantuntijapalvelut
  - seuranta (esim. vedenlaatu)
  - ympäristötietokannat
  - laboratorion palvelut
- Henkilöstö: ~570, joista ~400 Viikissä, Helsingissä



# Systemianalyysin ja operaatiotutkimuksen hyödyntäminen ympäristöongelmissa

- Ympäristöongelmat hyvin monitahoisia kokonaisuuksia
    - Monimutkaisia syy–seuraus -suhteita ja pitkiä asioiden välisiä vaikutusketjuja
    - Päätökset koskettavat monia eri sidosryhmiä, joilla usein ristiriitaisia tavoitteita
    - Poliitikka usein vahvasti mukana päätöksissä
  - Systemianalyttiset menetelmät soveltuvat hyvin juuri tällaisiin ongelmiin
    - Ongelman tunnistaminen ja jäsentely (ns. soft systems)
    - Menetelmätarpeiden tunnistaminen ongelman ratkaisemiseksi
- Tarkoituksenmukaisten menetelmien soveltaminen ongelmaan

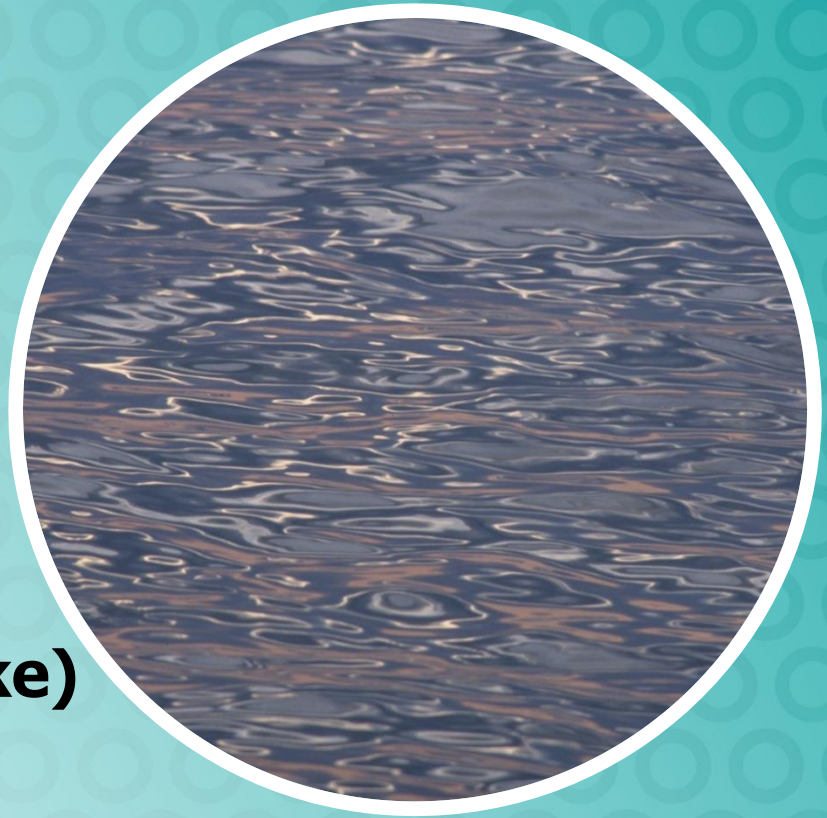
# Työ SYKEssä

- Käytännössä kaikki omat työt projektipohjaisia
  - SYKEN rahoituksesta yli puolet tulee ulkopuolisena rahoituksena
- Useita erityyppisiä rahoituslähteitä
  - Omien hankkeiden luonne vaihtelee hyvin paljon hankkeen 'tilaajan' tarpeiden mukaan
  - Hankkeiden ääripäitä
    - Puhdas akateeminen tutkimushanke
    - Tilaustyö tietyn akuutin ympäristöongelman ratkaisemiseksi
  - Hanketyypistä riippumatta hankkeissa pyritään kehittämään parhaita käytäntöjä menetelmien soveltamiseen

# Viisi erityyppistä hanketta tältä vuodelta

- **Ympäristöministeriön asiantuntijahanke**
  - Viitekehys vesiensuojelun tehostamisohjelman seurantaan
- **Strategisen tutkimuksen neuvoston (STN) hanke**
  - Suomen kokonaisturvallisuuteen liittyvä ”From Failand to Winland”
- **Suomen Akatemian hanke**
  - PortRight: ”Oikeita menetelmiä oikeisiin ongelmiin – Portfolio-päätösanalyysin avulla kohti parempaa ympäristönhallintaa”
- **EU-hanke (Eurooppalainen PEER-asiantuntijaverkosto)**
  - ”Sustainable Development Goals: Tackling and managing risks with SDGs”
- **Ulkoinen tilaustyö (Lukelle)**
  - ”Systeemianalyysin menetelmien hyödyntäminen ravinteiden kierrossa ” - 6 esiselvitys

**Tavoitteet ja  
mittarit tehostetun  
vesiensuojeluohjelman  
seurannalle ja  
vaikuttavuuden  
arvioinnille  
(YM:n asiantuntijahanke)**



# Hankkeen taustaa

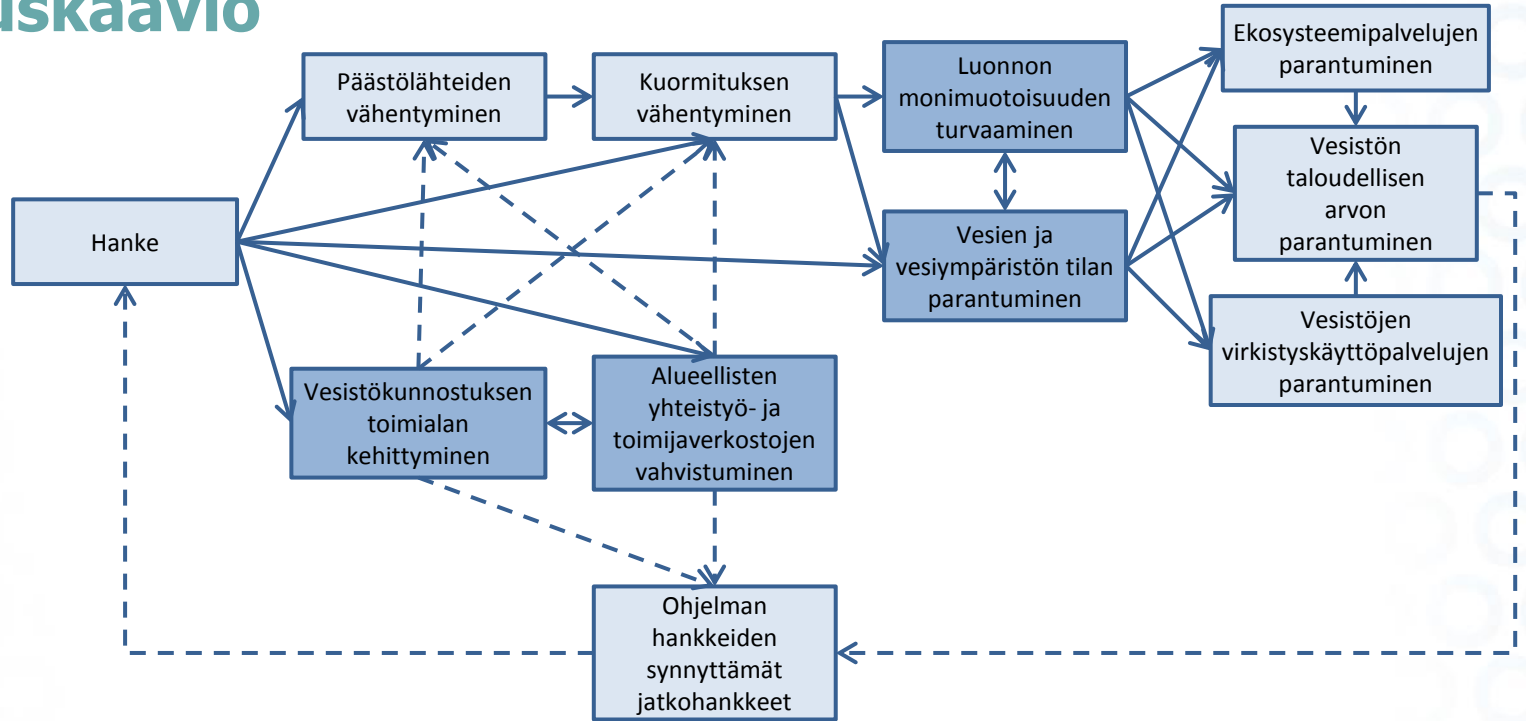
- Vesiensuojelun tehostamisohjelma 2019–2023
  - Ympäristöministeriön käynnistämä
  - Historiallisen suuri panos vesiensuojeluun (69 M€)
  - Tavoitteena tehdä Suomesta maailman tehokkain vesiensuojelija
  - Kuusi teema-aluetta: Maatalouden innovatiiviset menetelmät, vesistökuunnostukset, kaupunkivesien hallinta, Hylkyjen saneeraus, Itämeren ja vesien tila, maa- ja metsätalouden vesienhallinta
- SYKEN tehtävä tuottaa vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa hankkeiden vaikuttavuuden seuranta
  - Ympäristö-, sosiaaliset ja taloudelliset vaikutukset
  - Vaihtoehtoisia mittareita vaikuttavuudelle
  - Mittareiden monitavoitteinen arviointi



# Seurantakehikon laadinnan vaiheet

- Suunnittelutilanteen jäsentäminen
- Jäsentely- ja päätöstukimenetelmien testaaminen
  - Konkreettisia esimerkkejä menetelmien hyödyntämismahdollisuuksista selvityksen eri vaiheissa
    - Esim. DPSIR-viitekehys, vaikutuskaavio, tavoitehierarkia, monitavoitearviointi
- Seurantakehikon laadinta
  - Tavoitteiden tunnistaminen, jäsentäminen, ja priorisointi
  - Vaihtoehtoisten mittarien tunnistaminen ja kehittäminen tavoitteille
- Mittareiden arviointi
  - Mittarien hyvyyden arviointi eri mittaritavoitteiden suhteen
- Seurantaohjelmavaihtoehdot ja niiden vertailu
  - Vaihtoehtojen muodostaminen ottaen huomioon erilaiset reunaehdot
  - Vaihtoehtojen hyvyyden kokonaisarviointi erilaisilla tavoitepainotuksilla

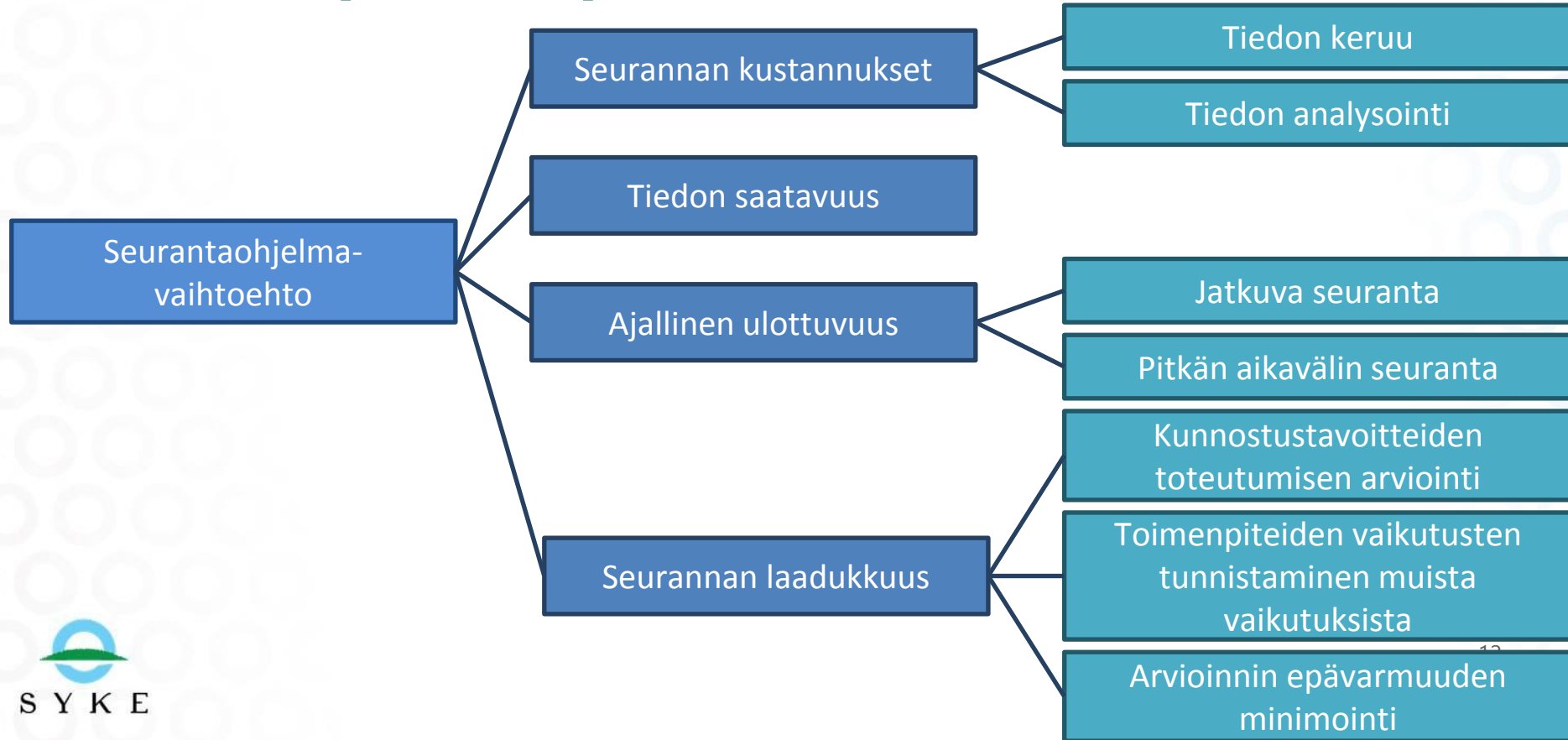
# Esimerkkinä vesistökuunnostusten vaikutuskaavio



# Mittarien arviointi

- Mittarien arvioinnissa ja priorisoinnissa otettava huomioon ohjelman ja siihen sisältyvien hankkeiden moniulotteisuus
  - Erilaisia vaikuttavuustavoitteita, eri teema-alueet, hanketyypit teema-alueiden sisällä, erot hankkeiden suuruudessa, erilaisia seuranta-menetelmiä, arvioinnin ajalliset ulottuvuudet, seurannan toteuttaja (hanke, ohjelma, muu)
- Erilaisista näkökulmista ja erilaisilla menetelmillä tarkastellaan teema-aluekokonaisuuksia ja niiden osia
  - Päähuomio erittelevässä analyysissä ja havainnollistamisessa
- Mittarien monikriteerinen arviointi
  - Mittarin soveltuvuus (vastaavuus tavoitteeseen, vasteaika, mittaustarkkuus)
  - Kustannukset (tiedon keruun, tiedon analysointi)
  - Datat saatavuus

# Tavoitehierarkia seurantaohjelmavaihtoehtojen arvioinnille (alustava)



# **From Failand to Winland (STN-hanke)**



# From Failand to Winland -hankkeen taustaa

- Lähtökohta

- Millaisia turvallisuusriskejä ja uhkia Suomen vesi-, energia- ja ruokaturvallisuuteen liittyy, jotka voivat lamauttaa Suomen totaalisesti (Failand-vaihe)?
- Millä tavoin näihin pystytään varautumaan (Winland-vaihe)?

- Partnerit

- Aalto-yliopisto, Demos Helsinki, Helsingin yliopisto, Tulevaisuudentutkimuskeskus, Maanpuolustuskorkeakoulu, SYKE, Joensuun yliopisto

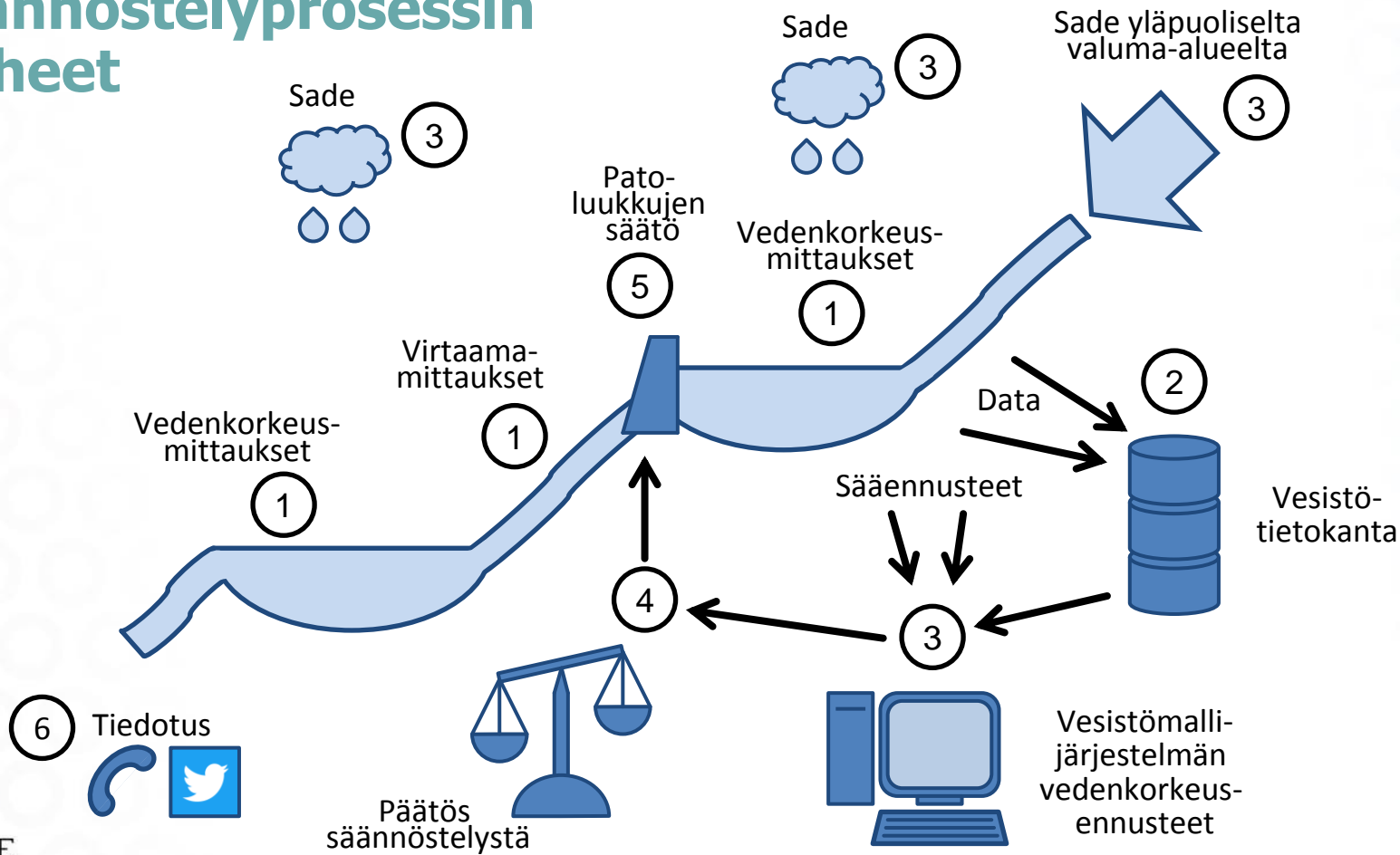
- SYKEN osio

- Vesistösäännöstelyn resilienssi
- Vesiturvallisuuden kokonaisarviointi

# Vesistösäännöstelyn resilienssi

- Kehitettiin kehikko vesistösäännöstelyn resilienssin arviointiin
  - Säännöstelypäätöksiin liittyvien kriittisten toimintojen tunnistaminen
    - Kuusi eri toimintoa
  - Mahdollisten uhkien tunnistaminen kussakin eri kriittisessä toiminnossa ja häiriösyklin eri vaiheissa
    - Resilienssimatriisin (Linkov et al., 2013) soveltaminen
  - Vastatoimenpiteiden tunnistaminen kuhunkin uhkaan
- Kehikon soveltaminen yksittäisen säännöstelyrakenteen arviointiin
  - Arviointi siitä, kuinka hyvin kuhunkin uhkaan on varauduttu
  - Puutteellisten varautumisten osalta arviointi, mitä vaatisi, että asia saataisiin kuntoon (hyödyt, kustannukset, tekninen toteutettavuus)
  - Tuotoksena arvio varautumisen tilasta kohteiden priorisoimiseksi

# Säännöstelyprosessin vaiheet





# Resilienssimatriisin soveltaminen

	<b>Varautuminen häiriötilanteeseen</b>	<b>Häiriötilanteen vaikutusten vaimentaminen</b>	<b>Palautuminen häiriötilanteesta</b>	<b>Oppiminen häiriötilanteesta ja sopeutuminen uuteen tilanteeseen</b>
<b>Fyysinen</b>	Laitteiston, henkilöstön ja verkostojen tila ja toimintavarmuus	Häiriötapauksen tunnistaminen ja järjestelmän toimintojen ylläpito häiriötilanteessa	Järjestelmämuutokset häiriötapaukseen edeltävien toimintojen palauttamiseksi	Häiriötilanteen pohjalta tehtävät muutokset resilienssin parantamiseksi
<b>Tiedollinen</b>	Tiedon valmistelu, esittäminen, analysointi ja säilyttäminen	Toiminnallisuuden reaaliaikainen arviointi, vahinkojen ja seurannaisvaikutusten minimointi	Tiedon käyttö tukemaan palautumisprosessia ja varautumisen tilan palauttamiseen	Tiedon säilyttämisen ja sen käsittelytoimien kehittäminen
<b>Kognitiivinen</b>	Järjestelmän ja sen toiminnan suunnittelu ottaen erityisesti huomioon mahdolliset häiriötapaukset	Varasuunnitelmat ja -toimintatavat häiriötilanteita varten, ennakoiva tilanteiden hallinta	Päätöksenteko ja kommunikointi palautumistilanteessa	Järjestelmän, toimintatapojen ja päätöskriteerien uudelleensuunnittelu
<b>Sosiaalinen</b>	Sosiaalinen verkosto ja pääoma, institutionaaliset ja kulttuuriset normit sekä valmennus	Osaavaa henkilöstöä saatavilla ja sosiaalisia käytäntöjä häiriötilanteisiin vastaamiseksi	Yhteistyö ja ymmärryksen jakaminen palautumisen jouduttamiseksi	Lisäykset ja muutokset instituutioihin, käytäntöihin, koulutukseen ja toimintakulttuuriin

# Uhkia

- **Fyysinen**

- Vakava häiriö sähkönjakelussa
- Vakava häiriö telepalveluissa
- Vakava häiriö IT-palveluissa (tietokoneet, Internet)
- Mittalaitteviat
- Patoluukkujen säätöön liittyvät laiteviat
- Rakenneauriot (esim. rankkasateiden aiheuttamat)
- Vahingonteko

- **Kognitiivinen**

- Asiantuntijuuden oheneminen /häviäminen (organisaatio ja yksilötaso)
- Häiriö työvoiman saatavuudessa (pandemia)
- Säännöstelijän mielenterveys horjuu

- **Tiedollinen**

- Ilmatieteenlaitoksen sääennusteen puuttuminen
- Vesistömallijärjestelmän toimimattomuus
- Hakkereiden tunkeutuminen järjestelmään
- Väärien huhujen levittäminen sosiaalisessa mediassa

- **Sosiaalinen**

- Organisaation sisäinen tiedonkulku pettää
- Yhteistyö- tai sopimuskumppanit eivät hoida vastuitaan
- Vastuiden epäselvyys (rajapinnat)



# Esimerkki arvioinnista

+++	Suuri	---	Suuri	-	Vaikea toteuttaa
++	Kohtalainen	--	Kohtalainen	0	Kohtalaista
+	Pieni	-	Pieni	+	Helppo toteuttaa

Mahdollisia uhkia ja toimenpiteitä niitä vastaan (Yhteensä 89)	Varautumisen aste	Perustelut	Toimenpide-ehdotukset (vain keltaisiin ja punaisiin kohtiin)	Arvio hyödyistä	Arvio resursseista	Arvio toteutettavuudesta
<b>Mittalaitteivat</b>						
- Kahdennetut mittalaitteet, useita mittausasemia eri paikoissa, kameralla kuvattava mitta-asteikko (1)	<input checked="" type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Osittain <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei relevantti	Järven pinta tulee säännöstelyjärjestelmän kautta sekä erillisellä OTT-loggerilla. Kohteessa on kamera jolla voidaan varmentaa vesipinta.				
- Varaosien ja henkilöstön saatavuuden varmistaminen häiriötilanteita varten (esim. varalaitteita valmiina varastossa alueellisesti) (1,2)	<input type="checkbox"/> Kyllä <input checked="" type="checkbox"/> Osittain <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei relevantti	Kohteeseen päästään etänä kiinni. Järjestelmätoimittajilla on pääsy järjestelmään. mm. paineantureita on varastossa. Logiikkaa ja näyttöä ei ole.	Pyritään käyttämään mahdollisimman paljon samoja laitteita eri kohteissa, keskitetty varastointi ja tekeminen	++ helppoa	-	0 vaatii asian huomioimista hankinnan yhteydessä
- Sopimukset laitevikojen pikaiseksi korjaamiseksi (1,2,3)	<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Osittain <input checked="" type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei relevantti	Ei ole sopimuksia mutta tiivis yhteistyö toimittajiin	Rakenteeseen perehtynyt kaupallinen osaaja helposti saatavilla, oman väen osaaminen kunnossa	++ halpaa, tehokasta ja melko varmaa	- muiden resursseja paljon	0 oman osaamisen ylläpidossa haastetta muutoksissa
- Satelliittihavaintojen käyttö (1,2)	<input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Osittain <input type="checkbox"/> Ei <input checked="" type="checkbox"/> Ei relevantti					19

# Arvio varautumisen tilasta

- Kuhunkin resilienssimatriisin soluun laskettiin arvio varautumisen tilasta kyseisen häiriötilannesyklin vaiheelle ja uhkan tyypille

	Varautuminen	Vaimentaminen	Palautuminen	Sopeutuminen
<b>Fyysinen</b>	64%	58%	25%	67%
<b>Tiedollinen</b>	79%	79%	60%	90%
<b>Kognitiivinen</b>	60%	70%	69%	33%
<b>Sosiaalinen</b>	75%	83%	75%	50%
<b>Väriasteikko</b>		100%	50%	0%

**Oikeita menetelmiä  
oikeisiin ongelmiin –  
Portfoliopäätös-  
analyysin avulla kohti  
parempaa  
ympäristönhallintaa  
(PortRight)**

**(Akatemia-hanke)**



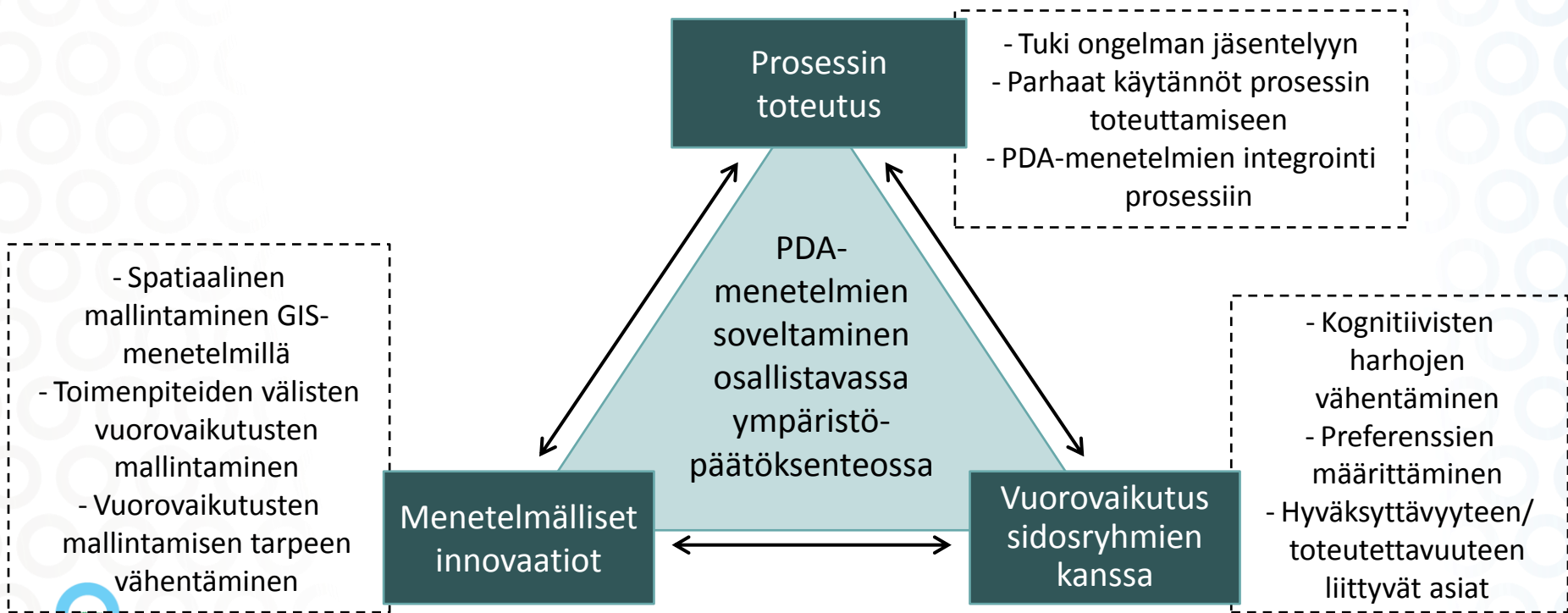
# PortRight-hankeesta yleisesti

- Portfoliopäätösanalyysi (PDA)
  - Analyyttinen lähestymistapa monien toimenpiteiden, tavoitteiden ja budjettirajoitteiden käsittelemiseen portfolio-ongelmissa
- PortRight-hanke
  - Kehitetään ja kokeillaan uusia menetelmiä ja käytäntöjä tukemaan toimenpiteiden välisten vuorovaikutusten käsittelyä ja käytännön soveltamista sidosryhmien kanssa
- Erityyppisten portfolio- ja päätöstukimallien soveltuvuutta arvioidaan ja vertaillaan ympäristöpäätöksenteossa
  - Vesien hoito ja kunnostus
  - Alueellinen metsätaloussuunnittelu
- Konsortio: SYKE, Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu, Luke

# Hankkeen tausta ja tavoitteet

- PDA:n soveltaminen ympäristöpäätöksenteossa vähäistä
  - Tiedon suuri määrä, laskentakapasiteetti ja tarkastelun monimutkaisuus
  - Ei riittävää ohjeistusta päätöstukimenetelmien valintaan eri tilanteisiin
  - Lähestymistapa ja sen hyödyt eivät tiedossa
- Hankkeen tavoitteena edistää PDA:n soveltamista vuorovaikutteisessa ympäristösuunnittelussa
  - Tunnistamalla ja analysoimalla soveltamisen tarpeita ja haasteita sekä vähentämällä soveltamisen pullonkauloja
  - Kehittämällä PDA-menetelmiä eri tyyppisiin tilanteisiin soveltuviksi ja testaamalla menetelmiä käytännön hankkeissa
    - Mm. Robust Portfolio Modelling (RPM) ja Your Own Decision Aid (YODA) -menetelmien testaus
  - Laatimalla viitekehys ja parhaat käytännöt -ohjeistus

# Hankkeen teemoja ja tutkimustarpeita





**Sustainable  
Development Goals:  
Tackling and managing  
risks with SDGs  
(PEER-TRISD)  
  
(EU-projekti)**



# Hankkeen taustaa

- SYKE mukana eurooppalaisten ympäristötutkimuslaitosten PEER-verkostossa (Partnership for European Environmental Research)
  - Verkostolla aika ajoin ajankohtaisiin teemoihin keskittyviä hankkeita
- YK:n kestävän kehityksen Agenda 2030:n alla määritelty ”Kestävän kehityksen tavoitteet” (SDG – Sustainable Development Goals)
  - 17 ylätasoa tavoitetta (goals), joiden alla
  - 167 yksityiskohtaisempaa alatavoitetta (targets), sekä näille mittareita
- Tavoitteisiin liittyviä mahdollisia riskejä
  - Tavoitetta ei saavutetakaan
  - Tavoitteen saavuttaminen haittaa toisten tavoitteiden saavuttamista
  - Tavoitteisiin liittyviä vaikutusketjuja ei osata ottaa tarpeeksi huomioon
  - Indikaattoreihin/mittareihin liittyviä riskejä (esim. mitataan väärää asiaa)





# SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

<b>1</b> NO POVERTY 	<b>2</b> ZERO HUNGER 	<b>3</b> GOOD HEALTH AND WELL-BEING 	<b>4</b> QUALITY EDUCATION 	<b>5</b> GENDER EQUALITY 	<b>6</b> CLEAN WATER AND SANITATION 
<b>7</b> AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY 	<b>8</b> DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH 	<b>9</b> INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE 	<b>10</b> REDUCED INEQUALITIES 	<b>11</b> SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES 	<b>12</b> RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION 
<b>13</b> CLIMATE ACTION 	<b>14</b> LIFE BELOW WATER 	<b>15</b> LIFE ON LAND 	<b>16</b> PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS 	<b>17</b> PARTNERSHIPS FOR THE GOALS 	

# PEER-TRISD -hankkeen tavoitteita

- Luoda yhteisymmärrys SDG-tavoitteisiin liittyvistä riskeistä, ja siitä, miten niitä pitäisi seurata, ennakoida ja hallita julkisella ja yksityisellä sektorilla
- Tarkastella valvonta-, ennakointi- ja hallintotarpeita ja SDG-järjestelmien toimivuutta nykyisissä EU:n ja kansallisen tason järjestelmissä
- Laatia suosituksia, jotka tukevat riskienhallintaa SDG-tavoitteiden toteuttamisessa politiikan alalla, mutta myös toimijoiden keskuudessa
- Tunnistaa tutkimus- ja poliittisten toimenpiteiden tarpeita



# Tutkimuksen ja politiikan vuorovaikutus

- Hankkeen yksi tavoite on tuoda läpinäkyviä ja järjestelmällisiä menetelmiä tukemaan päätöksentekoa
  - Ei riitä, että on menetelmiä, mutta niiden antamia tuloksia täytyy osata kommunikoida myös päätöksentekijöille
- Systeemianalyysille on selkeää tilausta ja tarve on tunnistettu myös politiikkapuolella:

**“This is firstly a systems analysis problem, and secondly a human behavior problem”**

*President Tarja Halonen at  
PEER-TRISD workshop (1/2019)*

# Esimerkkinä arviointi alatavoitteista (targets)

- Tavoitteiden välillä suurta vaihtelua, miten alatavoitteet on määritelty
  - Joissain takaraja, joissain ei
  - Sanamuodot vaihtelevat ("saavutetaan" vs. "edistetään")
  - Joissain sanamuodot epämääräisiä (merkittävästi)
- Analysoitiin, onko tavoitteiden välillä vaihtelua alatavoitteiden asetannan suhteen
  - Tärkeää, kun mietitään tavoitteiden saavuttamiseen liittyviä riskejä



## 2. ZERO HUNGER

Deadline



Achievement vs. Progression



Quantified

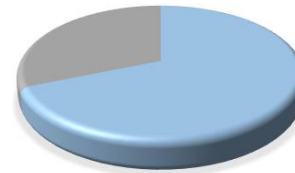


## 9. INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

Deadline



Achievement vs. Progression



Quantified



Deadline	Achievement vs. Progression	Quantified
Yes	Achievement	Full achievement
No	Progression	Partial achievement
	Other action	Vague
		No

**”Systeemianalyysin  
menetelmien  
hyödyntäminen  
ravinteiden kierrossa”  
-esiselvitys  
  
(Ulkoinen tilaustyö)**



# Esiselvitys systeemianalyysin hyödyntämismahdollisuuksista ravinteiden kierrossa

- Lähtökohta:
  - Systeemianalyysi tarjoaa joukon menetelmiä tukemaan monimutkaisten ongelmien järjestelmällistä tarkastelua
  - Maatalouden ravinteiden kierto on monitahoinen ongelmakokonaisuus, jossa tarvetta jäsenneilyille menetelmille
  - Esiselvityksessä tarkasteltiin, miten ravinteiden kierron tarpeet ja systeemianalyysin tarjoamat mahdollisuudet saadaan kohtaamaan
- Toteuttaja: SYKE yhdessä Aalto-yliopiston ja Luken kanssa
- Tilaaja: Luken koordinoima ”Maatalouden ravinteet hyötykäyttöön” -ohjelma
  - Osa hallituksen ”Kiertotalouden läpimurto, vesistöt kuntoon” -kärkihankekokonaisuutta
- Hankkeen tuloksista ilmestynyt raportti (Mustajoki ym., 2019)





# Yhtenä tuotoksena yhteenveto menetelmien ominaisuuksista ravinteiden kierron tukemiseen

Menetelmä	Käyttötarkoitus	Menetelmän tuotos/hyödyt	Menetelmän rajoitteet/haasteet	Mahdolliset sovellusalueet ravinteiden kierrossa	Menetelmää soveltavia suomalaisia hankkeita
<b>Ongelmien jäsentelymenetelmät (ns. pehmeät menetelmät)</b>	Päätöstilanteen kehystäminen sekä asioiden välisten riippuvuuksien kuvaaminen ja tunnistaminen	Kaaviokuva tilanteesta ja ongelman eri komponenttien vaikutuksesta toisiinsa (esim. nuolilla, mikä vaikuttaa mihinkin), ja tämän myötä kokonaisymmärrys ongelmasta	Tasapainoilu kaavioiden kattavuuden ja käytettävyyden välillä. Kompleksisissa ongelmissa, joissa 'kaikki vaikuttaa kaikkeen', voi kaavioista tulla monimutkaisia.	Ongelmatilanteen havainnollistaminen, ravinteiden kierron monimutkaisten syy-seuraus-suhteiden mallintaminen	BioRaeEE
<b>Systeemi-dynaamiset mallit</b>	Systeemin osien välisen vuorovaikutusten mallintaminen dynaamisesti	Dynaaminen malli, jolla voidaan simuloida tilanteen kehittymistä erilaisilla lähtöoletuksilla ja parametrien arvoilla	Mallintamisessa käytettävien funktioiden määritys voi olla haastavaa ja pienetkin virheet funktioissa voivat moninkertaistaa lopputuloksessa	Ravinteiden sekä hiilen kierron ja kulkeutumisen mallintaminen systeemissä	VEMALA, ICECREAM, TOIMI, Samassa vedessä
<b>Monitavoite-arvioinnin menetelmät</b>	Tavoitteiden tunnistaminen sekä vaihtoehtojen muodostaminen ja vertailu eri tavoitteiden suhteen	Arvioit vaihtoehtojen kokonaisuhyvyydestä perustuen vaihtoehtojen hyvyyteen eri tavoitteiden suhteen, ja siihen miten sidosryhmät arvostavat eri tavoitteita	Voidaan arvioida vain rajoitettu vaihtoehtojoukkoa (yleensä max. 10 vaihtoehtoa) ja todellisuudessa paras vaihtoehto voi olla jossain välimaastossa	Ravinteiden kiertoa edistävien toimenpiteiden sekä toimenpiteitä edistävien ohjauskeinojen arviointi	TOIMI, DiverFarming, SOMPA, BonusReturn
<b>(Monitavoite) optimointimenetelmät</b>	Parhaiden arvojen tunnistaminen päätösmuuttujille	Optimaaliset arvot päätösmuuttujille	Mallien laskenta perustuu optimointimenetelmien hyödyntämiseen (esim. lineaarinen ohjelmointi) ja monimutkaisissa ongelmissa tulosten havainnollistaminen voi olla haastavaa	Jätteenkäsittelylaitosten sijoittelun optimointi, pellon lannoituksen optimointi, viljelykäytäntöjen ja -kierron optimointi	LaPaMa, JaloJäte, PeltoOptimi, Biomassa-atlas, KiertoVesi, Samassa vedessä
<b>Portfolio-analyysin menetelmät</b>	Parhaan toimenpideyhdistelmän luominen/tunnistaminen	Ehdotus tehokkaasta toimenpideyhdistelmästä ottaen huomioon toimenpiteiden vaikutukset ja annetut rajoitteet (esim. resurssirajoitteet)	Toimenpiteiden vaikutusten ja etenkin toimenpiteiden välisten vuorovaikutusten arviointi työlästä mikäli toimenpiteitä on paljon	Ravinteiden kiertoa edistävien tehokkaiden toimenpideyhdistelmien muodostaminen ja arviointi	PortRight
<b>Taloudellisen arvottamisen menetelmät</b>	Toimenpiteiden kustannusten ja hyötyjen ja näiden perusteella kustannustehokkuuden arviointi	Arvio siitä, ylittävätkö toimenpiteistä saatavat (rahamitallistetut) hyödyt niiden toteuttamiseen tarvittavat kustannukset	Hyötyjen rahanmittallistaminen voi olla haastavaa etenkin aineettomien hyötyjen kohdalla. Tulevaisuuden hyötyjen arviointiin käytettävän 'diskonttauskoron' määritys voi vaikuttaa lopputulokseen	Ravinnekiertoa edistävien toimenpiteiden hyötyjen arviointi suhteessa kustannuksiin, maatalouden ei-rahalliset hyötyjen arviointi	TOIMI, PROBAPS, KUTOVA
<b>Skenaario-analyysin menetelmät</b>	Erilaisten vaihtoehtoisten mahdollisten tulevaisuuden tapahtumakulkujen kuvaus ja näiden perusteella strategioiden pohtiminen tulevaisuutta varten	Kuvauksia mahdollisista tulevaisuuden tapahtumakuluista tehtyjen oletusten pohjalta sekä strategioita erilaisiin tulevaisuuksiin varautumiseksi.	Keskitytään vain muutamaa skenaarioon, mutta todellisuudessa tilanne voi olla aivan erilainen	Ilmastonmuutokseen varautuminen, maatalouden rakennemuutoksen strateginen suunnittelu	MISA, CAP2020, RavinNelaskuri

# Syvällisempänä esimerkkitapauksena viitekehys ohjauskeinojen monitavoitearviointiin

Päämäärä

Kriteerit

Mittarit

Ohjauskeino-  
vaihtoehdot

Edistettävät  
toimenpiteet

Tavoiteltu  
tilamuutos

Kustannukset

Käynnistyskustannukset  
Ylläpitokustannukset

Kestävyys

Vaikutusten pysyvyys

Tehokkuus

Vaikutusten tarkoituksen-  
mukainen kohdentuminen

Tasapuolisuus

Vaikutusten oikeuden-  
mukainen kohdentuminen

Tekninen  
toteutettavuus

Selkeys/läpinäkyvyys  
Joustavuus

Ennustettavuus

Tavoiteltujen toimenpiteiden toteutuminen

Vaikutukset

Tilamuutoksen vaikutukset  
(oma arviointiprosessinsa)

Ohjaus-  
keino 1

Toimen-  
pide

Ohjaus-  
keino 2

Toimen-  
pide

Ohjaus-  
keino 3

Tila-  
muutos

Mahdolliset  
muut  
vaikutukset

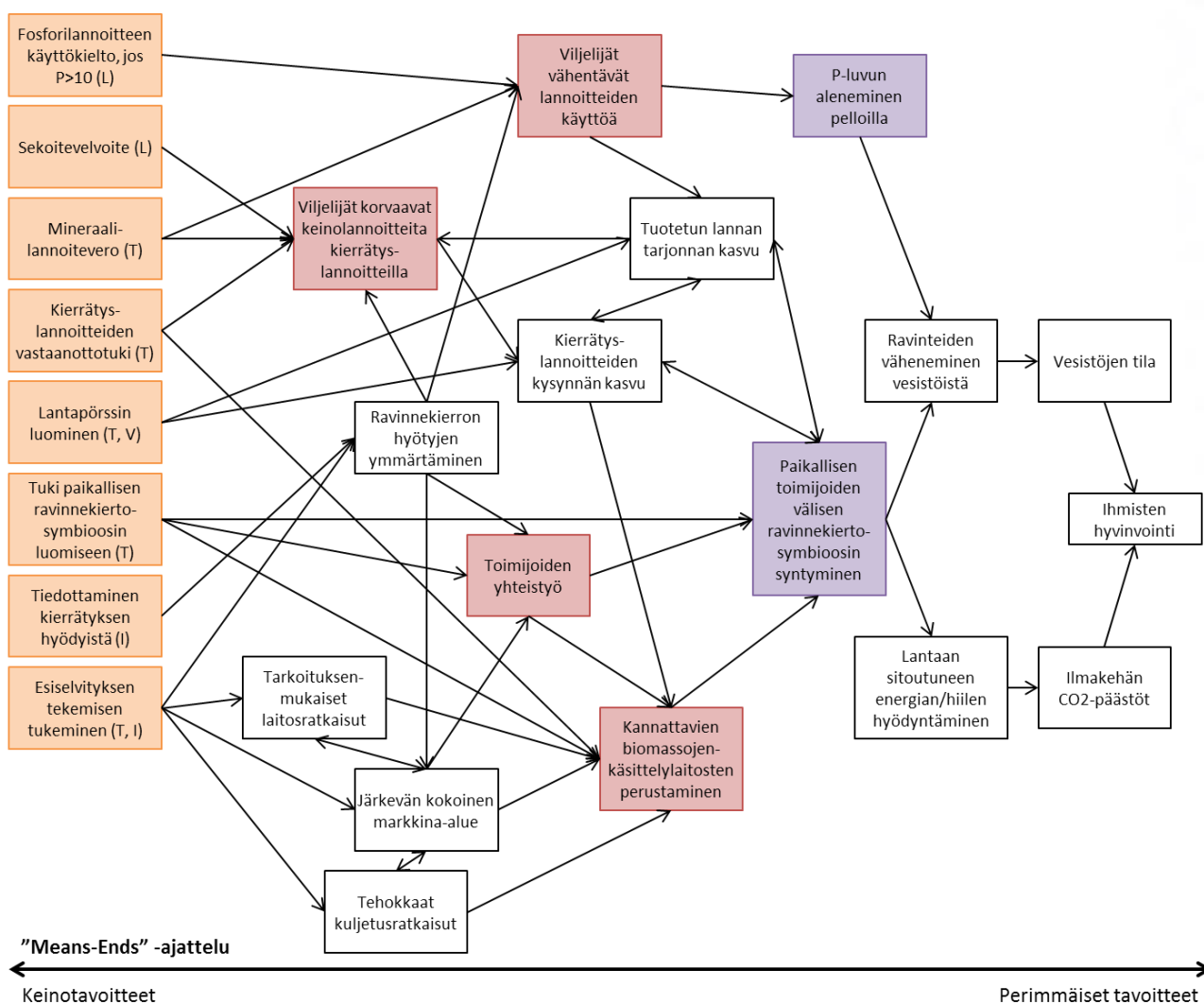
Ohjaus-  
keinojen  
kokonais-  
arviointi



SYKE

# Vaikutus-kaavio

- Auttaa ymmärtämään, mitä kautta ohjauskeinot vaikuttavat ravinteiden ja hiilidioksidin vähenemiseen ja tätä kautta ihmisten hyvinvointiin



# Ohjauskeinojen vertailu

- Esimerkkinä taulukko-tarkastelu muutamasta ohjauskeinosta ja arvioidusta kriteeristä
- Havainnollistaa ohjauskeinojen hyviä ja huonoja puolia sekä kynnyskysymyksiä niiden toteuttamiselle
- Esiselvityksessä kvalitatiivinen arviointi, mutta voidaan tehdä myös kvantitatiivisesti

Ohjauskeino	Fosforilannoitteen käyttökielto, jos P>10	Lantapörssin luominen	Alueellisen esiselvityksen tekemisen tukeminen
<b>Kriteeri</b>			
<b>Kuvaus</b>	Kielletään lailla fosforilannoitteiden käyttö, mikäli pellon fosforiluku ylittää 10	Luodaan kauppapaikka, jossa toimijat voivat myydä ja ostaa kierrätyslannoitteita	Tuetaan rahallisesti esiselvitystä, jossa kartoitetaan alueellisen ravinnekiertosymbioosin syntymistä
<b>Tyyppi</b>	Lainsäädännöllinen	Taloudellinen, vapaaehtoisuuteen perustuva	Informaatiollinen
<b>Tavoite</b>	Vähentää lannoitusta pelloilla, jossa P-luku on tarpeettoman suuri kasvin tarpeeseen nähden	Edesauttaa kierrätyslannoitteiden kysynnän ja tarjonnan kohtaamista	Lisätä ymmärrystä alueen ominaispiirteistä ja alueellisen ravinnekiertosymbioosin toteutumismahdollisuuksista (onko edes teoreettisesti mahdollista?)
<b>Toimenpiteen kohdistuminen</b>	Maanviljelijä	Maanviljelijät ja kierrätyksen parissa toimivat	Konsultti (tekijänä), välillisesti maanviljelijät ja muut toimijat
<b>Hyödylliset sivuvaikutukset</b>	Kannustaa laittamaan ylimääräistä lantaa kiertoon eikä pelloille	Saattaa synnyttää markkinoita, jossa pörssiä ei enää tarvita välikätenä	Ymmärryksen lisääntyminen voi poikia myös muuta toimintaa alueella
<b>Haitalliset sivuvaikutukset</b>	Voi johtaa esimerkiksi pellon lisäraivaukseen, jos lantaa ei voi laittaa kiertoon, mikä puolestaan voi muuttaa alueen hiilinielusta hiililähteeksi. Mahdollisuus manipuloida esim. P-luvun mittausarvoja.	Mikäli syntyy useita kauppapaikkoja, niin voivat syödä toistensa tehoa.	Voi tuottaa läjäpäin selvityksiä, jotka eivät johda mihinkään (turhaa paperia)
<b>Käynnistys-kustannukset</b>	Lainsäädännön muutukseen tarvittavan selvitystyön vaatimat kulut	Järjestelmän toteutukseen tarvittavat resurssit	Instrumentin suora rahoitus
<b>Ylläpito-kustannukset (taloudellinen kestävyys)</b>	P-luvun mittaaminen vaatii resursseja	Järjestelmän ylläpito voi vaatia resursseja, mikäli halutaan pitää ilmaisena	Ei ole

# Toisena esimerkkitapauksena biomassojen käsittelylaitosten sijainnin optimointi

- Maataloudessa syntyy eri tyyppisiä biomassoja
  - Biomassoilla jokaisella on sijainti
  - Biomassojen liikuttelusta aiheutuu kustannuksia
- Eri tyyppisiä käsittelylaitoksia
  - Vaihtelevat mm. koon ja käsiteltävien biomassojen mukaan
- Rakennettiin optimointimalli, jossa optimoitiin eri tyyppisten käsittelylaitosten määrää ja sijaintia alueella
  - Kyseessä esiselvitys, jossa varsinaista optimointia ei suoritettu
- Biomassa-atlas ([www.luke.fi/biomassa-atlas](http://www.luke.fi/biomassa-atlas)) on paikkatietopalvelu, jossa kokoaa tiedot biomassojen sijainneista yhteen paikkaan
  - Tarkasteltiin miten Biomassa-atlasta voidaan hyödyntää optimoinnissa

# Optimointimalli

- Ruutupohjainen malli, jossa muuttujina
  - Tiedot siitä, kuinka paljon kustakin ruudusta viedään kutakin biomassaa kuhunkin mahdolliseen laitospaikkaan
  - Tieto siitä, rakennetaanko laitos mahdolliseen laitospaikkaan vai ei
- Tavoitteena tuoton maksimointi ottaen huomioon investointi-, kuljetus-, ja operointikustannukset
- Tarvittavia lähtötietoja
  - Biomassojen sijainnit (Biomassa-atlas) ja kuljetusmatkat mahdollisiin laitospaikkoihin
  - Laitosten ominaisuudet
  - Biomassojen ja lopputuotteiden osto- ja myyntihinnat
- Käytännössä lineaarinen sekalukutehtävä
  - Ratkaiseminen ei erityisen haastavaa, kunhan ruutukoko asetetaan sopivasti

# Systemi- ja operaatiotutkimus muualla SYKEssä

- **Jyri Seppälä ym.**
  - Kiertotalouden mallintaminen
- **Tuomas Mattila ym.**
  - Pellon lannoituksen optimointi (LaPaMa-malli)
- **Markus Huttunen, Bertel Vehviläinen, ym.**
  - Vesistöjen vedenlaadun ja ravinnekuormituksen mallinnus ja arviointi (VEMALA-simulointimalli)
- **Mikael Hilden ym.**
  - Ilmastonmuutoksen mallintaminen
- **Laura Uusitalo ym.**
  - Bayes-verkkojen hyödyntäminen

# Yhteenveto

- Ympäristöongelmat on hyvin monimutkaisia kokonaisuuksia
  - Monenlaista ongelmaa tulee vastaan
  - Systemianalyttiset menetelmät havaittu toimiviksi
  - Sidosryhmien kanssa kommunikointi myös erittäin tärkeää
- Tärkeää tunnistaa ongelma ja sen tarpeet ja sen mukaan soveltaa tarkoituksenmukaisia menetelmiä sen ratkaisemiseksi
  - Usein jo pelkkä ongelman järjestelmällinen jäsentely ns. pehmeillä menetelmillä auttaa tuottamaan paremman ymmärryksen ongelmasta
  - Toisinaan tarvitaan järeämpiä menetelmiä, mitä varten on tarpeen olla laaja työkalupakki menetelmiä



# Miksi soveltaa monitavoitearviointia?

- Why multi-criteria analyses (MCA)?

# Miksi soveltaa monitavoitearviointia?

- Why multi-criteria analyses (MCA)?



**“Y.M.C.A. – I'm sure they can help you today”**

*Village people, 1978*

**Kiitos**



## Viitteitä

- **Systemiravinne-hanke**

- Mustajoki, J., Marttunen, M., Liesiö, J., Lehtonen, E. (2019). Systemianalyttisten menetelmien hyödyntäminen maatalouden ravinteiden kierrossa – Esiselvitys. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 40/2019, pp. 65. (In Finnish)

- **From Failand to Winland -hanke**

- Mustajoki, J., Marttunen, M. (2019). Improving resilience of reservoir operation in the context of watercourse regulation in Finland. EURO Journal on Decision Processes (to appear). DOI:10.1007/s40070-019-00099-0
- Marttunen, M., Mustajoki, J., Sojamo, S., Ahopelto, L., Keskinen, M. (2019). A framework for assessing water security and the water–energy–food nexus – The case of Finland. Sustainability, 11(10), 2900. DOI:10.3390/su11102900
- Marttunen, M., Mustajoki, J. (2019). Vesistösäännöstelyjen uhkien ja haavoittuvuuksien analyysi. Suomen ympäristökeskuksen raportteja, 6/2019, pp. 45. (In Finnish)

