



Miten operaatiotutkimus ja matemaattinen optimointi edistävät resurssien kestäväää käyttöä?

10.4.2025, Green ICT –kiertue, Seinäjoki
Jussi Rasku, tutkijatohtori
GPT-lab tutkimusryhmä
vAI:lla tuottavuutta -hanke



Euroopan unionin
osarahoittama



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA



ETELÄ-POHJANMAAN LIITTO
Regional Council of South Ostrobothnia



Jussi on yrittävä tutkija – tutkiva yrittäjä. Hän on väitellyt tietojenkäsittelytieteestä, ja erikoistunut operaatiotutkimukseen ja tekoälyn hyödyntämiseen. Hän on kirjoittanut koodia työkseen ja huvikseen lähes 30 vuoden ajan. Hän palasi akateemisten kysymysten pariin ohjelmisto-teollisuuden tehtävistä noin 15 vuotta sitten ja työskentelee nyt tutkijatohtorina ja GPT-lab-tutkimusryhmän varajohtajana Tampereen Seinäjoen yliopistokeskuksessa.

Green ITC
hmm..

Vähennetään
tietojenkäsittelyn
aiheuttamaa
hukkaa

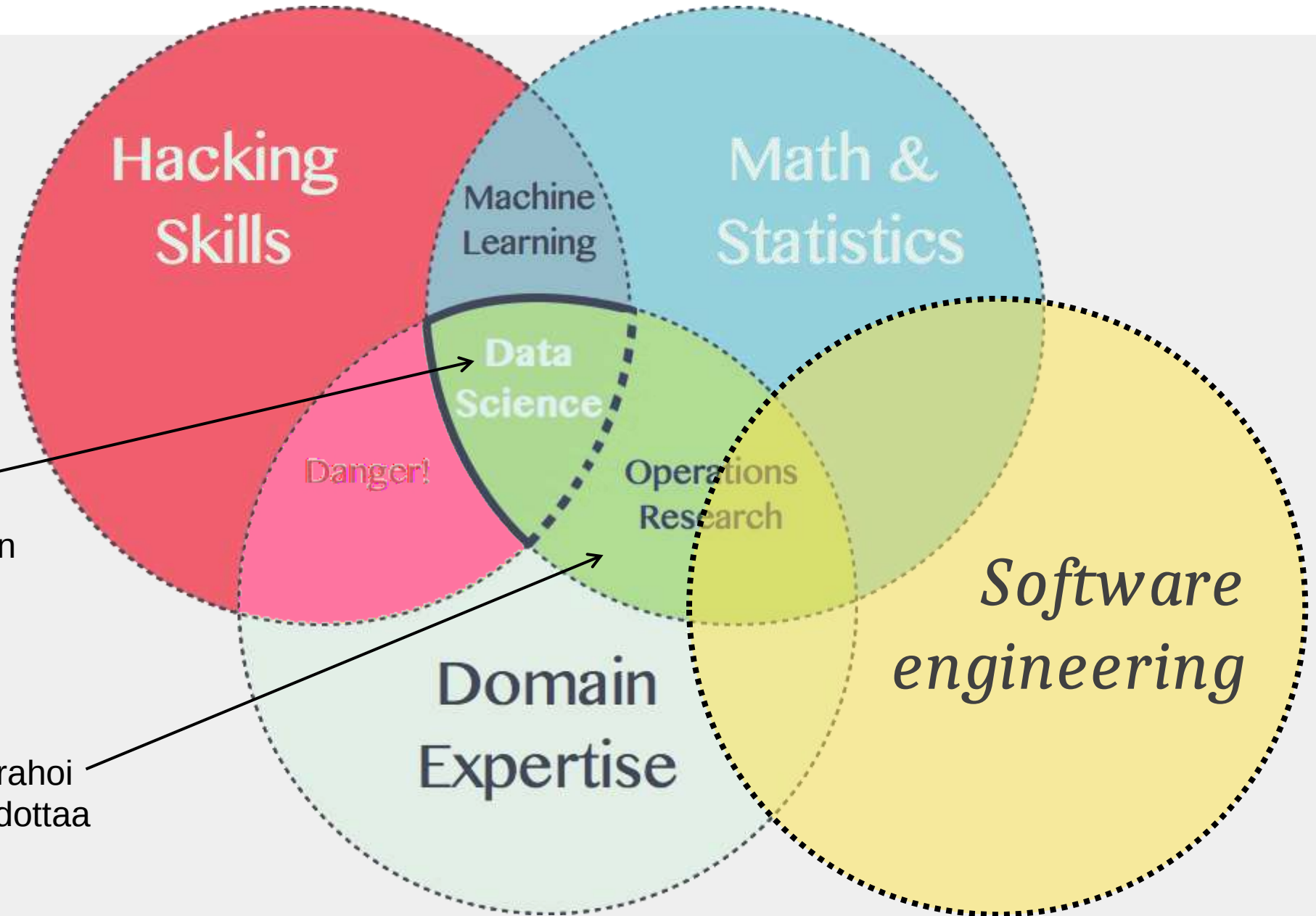
vs.

Tehdään
tietojenkäsittelyn
avulla asioita
kestävämmiin

Win, win, win?

***Operaatiotutkimusta tarvitaan silloin,
kun kestävä kehitys lakkaa olemasta
visio ja tarvitaan päätöksiä***

-ChatGPT 4o ja J. H. Rasku, 2025



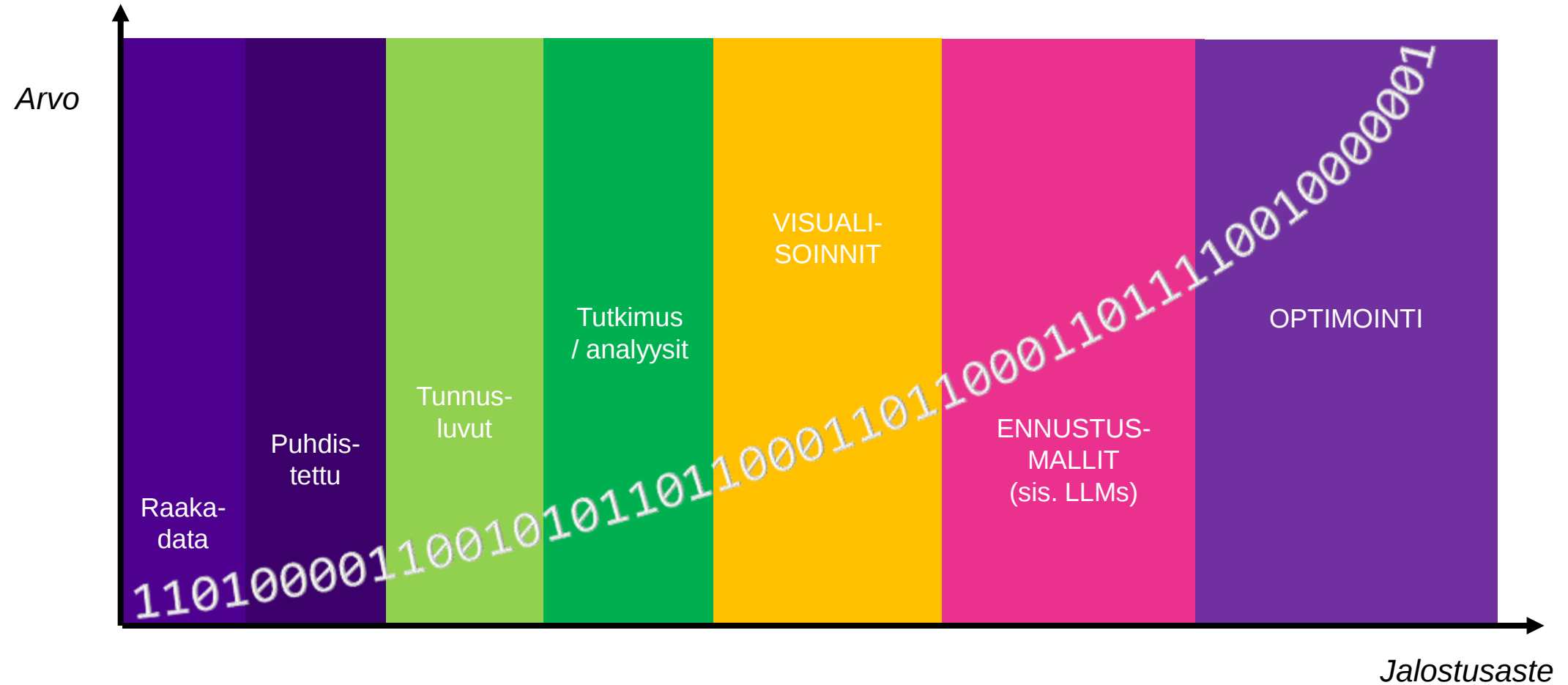
Ennustemalli
ennustaa tulevia
tuloksia historiallisten
tietojen perusteella.

Ohjaava malli abstrahoi
todellisuuden ja ehdottaa
optimaalisia toimia.

*"Mikä on tilanne,
Mitä tapahtui
Miten se muuttui?"*

*"Miksi se tapahtui,
mitä voisi tapahtua,
Mitä tapahtuu?"*

***"Mikä on
Paras mahdollinen
tapahtua?"***



”Optimointia” ja optimointia

Kokeilevaa optimointia voidaan tehdä kun...

- **tavoite** on asetettu (mitä optimoidaan),
- säädettävät **parametrit** on tunnistettu,
- määritelty ratkaisun kriteerit ja **reunaehdot**,
- jonka jälkeen niiden säädön **vaikutuksia** voidaan tutkia laskelmin, demolaitteella tai tuotannossa.

Matemaattista optimointia varten tarvitaan...

- **objektifunktio** (vrt. tavoite),
- **päätösmuuttujat** (vrt. parametrit),
- **rajoiteyhtälöt** (vrt. kriteerit ja reunaehdot),
- **ratkaisualgoritmit** (vrt. kokeilu).

Miksi OR:llä on väliä? motivointia esimerkkien avulla



- Alaska Airlinesin lentojen reitityksen optimointi säästi 1,8 miljoonaa litraa polttoainetta 6 kuukaudessa (~1 miljoona dollaria) [1].
Miehistön työsuunnittelu antaa lentoyhtiöille mahdollisuuden välttää 60–80 % miehistöön liittyvistä viivästyksistä. Vaikutus olisi 13 miljardia dollaria vuodessa toimialalle [2].
- UPS:n ORION-järjestelmä optimoi toimitusreitit ja säästi 320 miljoonaa dollaria vuodessa [3].
DHL:n rahdin optimoija säästi 98,6 miljoonaa dollaria vuodessa [4].
- P&G:n varastonoptimointi pienensi inventaariota 3–7 %, mikä säästi miljoonia [5].
Walmartin kuorma-autojen reititysjärjestelmä säästi 75 miljoonaa dollaria vuonna 2023 [6].

- MISO:n optimoitu tehonjako säästi 2,1–3 miljardia dollaria neljässä vuodessa [7].
Indevalin arvopaperien selvitysoptimointi leikkasi likviditeettitarpeita 52 %, mikä vähensi riskiä [8].
- Terveystieteiden tekoympäristöön perustuvan leikkauksen ajoitus säästi 500 000 dollaria leikkaussalia kohden vuodessa, mikä vähentää tehtävien ajoittamiseen käytettyä aikaa 60 % [9].

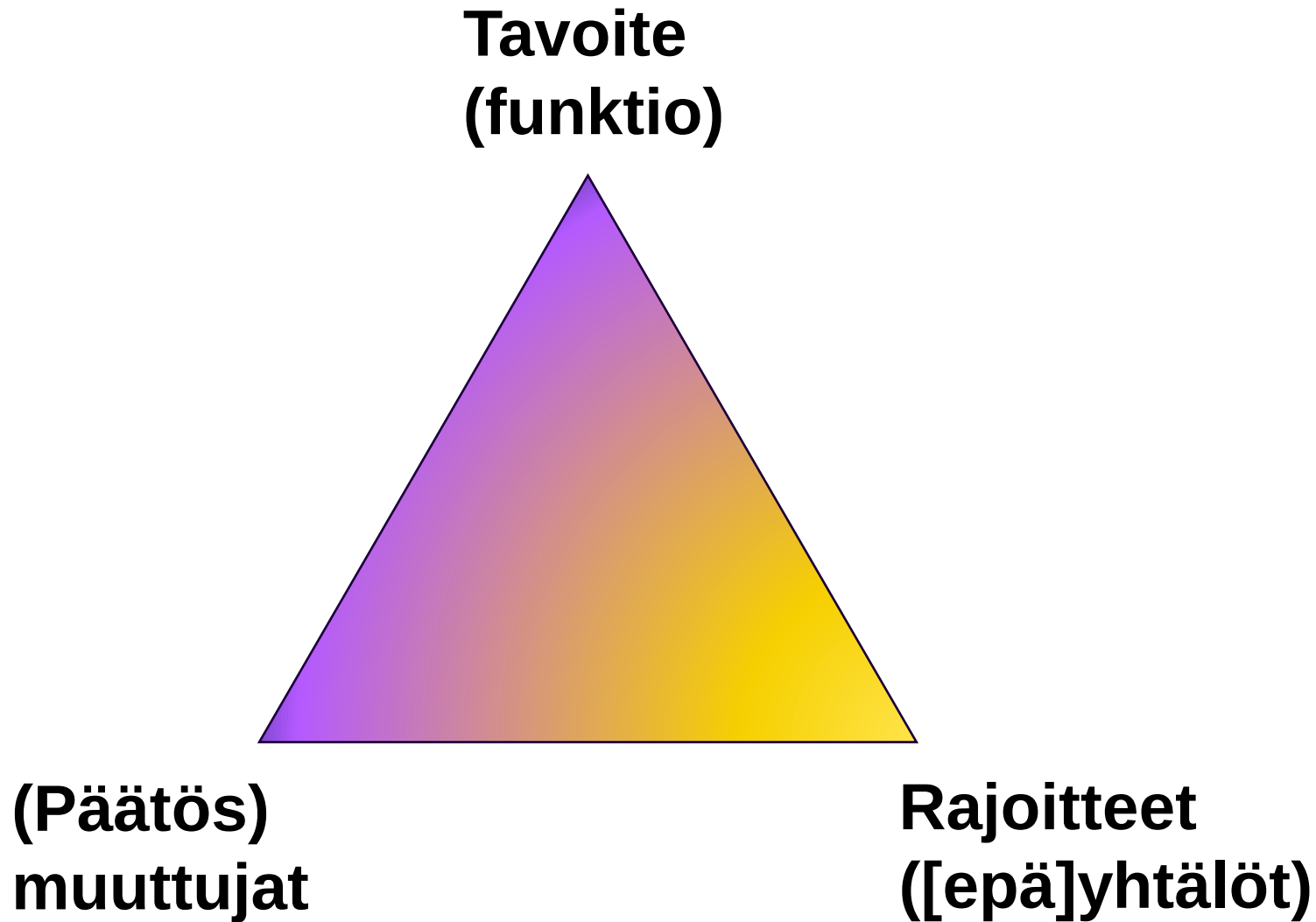
1] Estes, P. (2024, September 24). 6 Ways Airline AI Takes Flight—from Booking to Touchdown. Virtasant.

[2] Keji Wei, Vikrant Vaze. Modeling Crew Itineraries and Delays in the National Air Transportation System. Transportation Science, 2018; DOI: [10.1287/trsc.2018.0834](https://doi.org/10.1287/trsc.2018.0834)

...

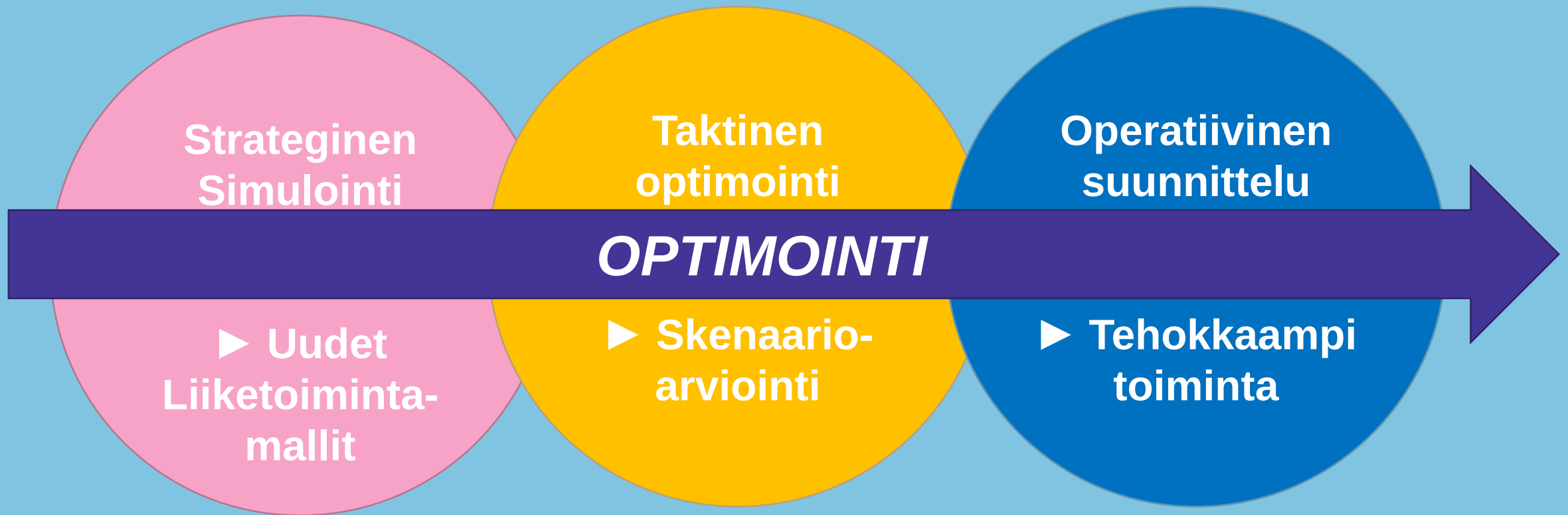
[9] Opmed.ai (2024, March 18). \$1.2M Revenue Boost and \$500K Cost Savings per OR per year with Opmed.ai.

Tarvitset "vain"
nämä 3 asiaa
matemaattisen
optimointi-
ongelman
kuvaamiseksi:



$$\begin{aligned}
 & \min \sum_k \sum_{ij} c_{ij}^k x_{ij}^k && \text{Objektifunktio} \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_i x_{ij}^k = z_j^k \quad \forall k, j, j \neq 0, \\
 & \sum_j x_{ij}^k = z_i^k \quad \forall k, i, i \neq 0, \\
 & \sum_j x_{0j}^k = z_0^k \quad \forall k \\
 & \sum_i d_i z_i^k \leq C z_0^k \quad \forall k \\
 & \sum_k z_i^k = 1 \quad \forall i \\
 & x_{ij}^k, z_i^k \in \{0, 1\} && \text{Päätösmuuttujat}
 \end{aligned}$$

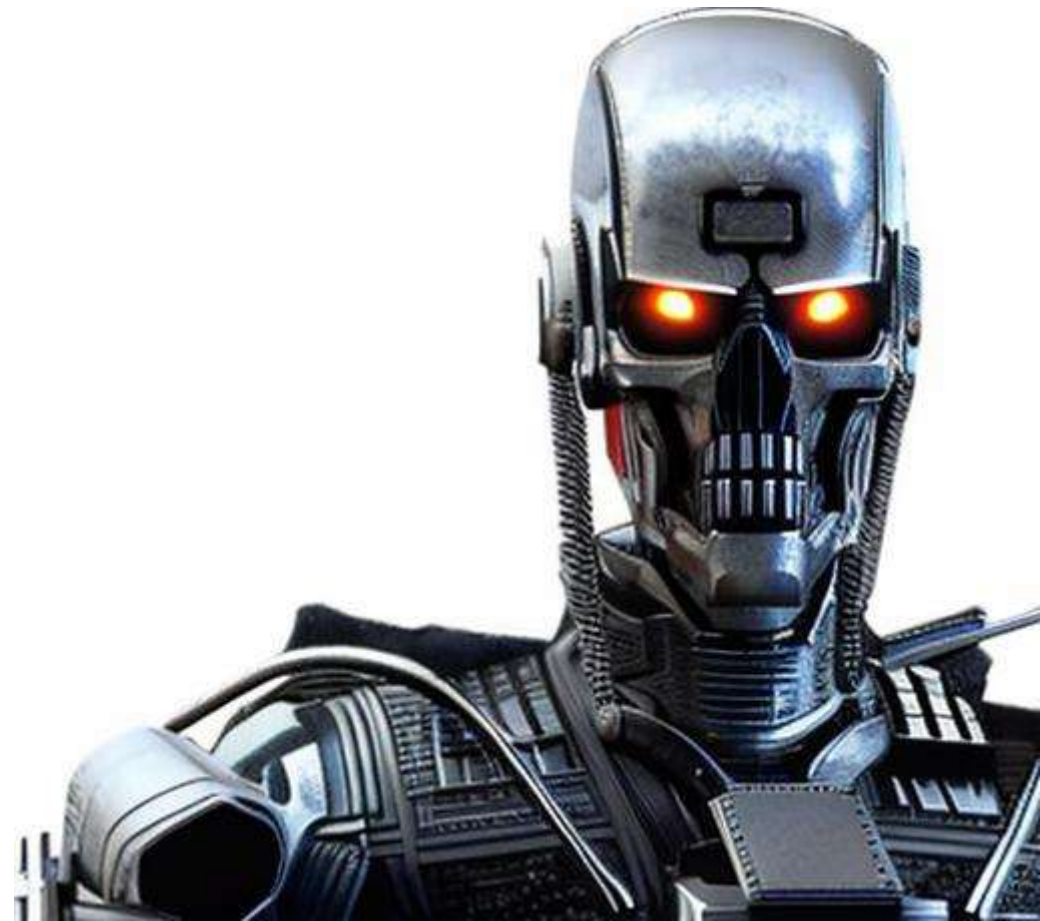
CVRP



Mitä enemmän on päätettävää,
Mitä enemmän on optimoitavaa -
ja sitä suuremmat ovat sen hyödyt.

Tekoälyä (sellaista perinteistä)

on käytetty operaatiotutkimuksessa
alusta lähtien

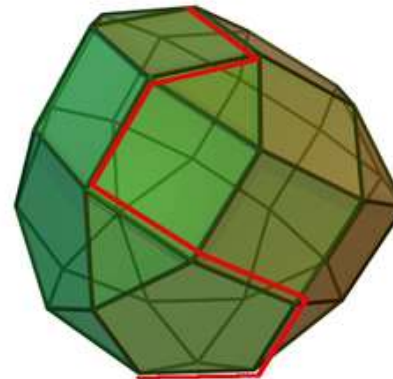


Algoritmit: Eksaktit menetelmät

Tarkat menetelmät takaavat optimaalisen ratkaisun löytämisen optimointiongelmaan. Ne perustuvat tekniikoihin, kuten:

1. Sisäpistemenetelmät tai Simplex ↓
2. Branch-and-cut y.m.
3. Dynaaminen ohjelmointi.
4. Rajoiteohjelmointi.

Vaatii matemaattisen mallintamisen.



GLPK (GNU Linear Programming Kit)



Algoritmit : (Meta)heuristiikat

Ihmisen tai luonnon insproimia "reseptejä".
Eivät takaa, että optimaalinen ratkaisu löytyy, mutta löytävät *jonkun* (useimmiten ihan hyvän) ratkaisun nopeasti.

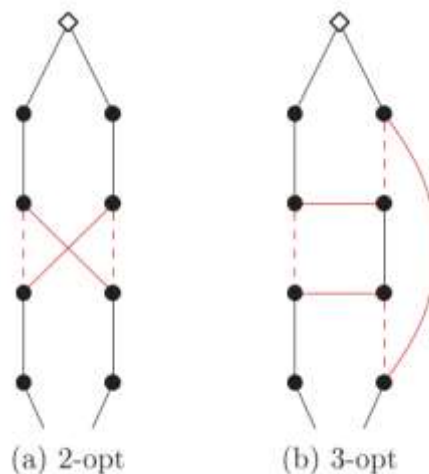
1. Ahneet (greedy) algoritmit

2. Parannusheuristiikat (sis. paikallinen etsintä)

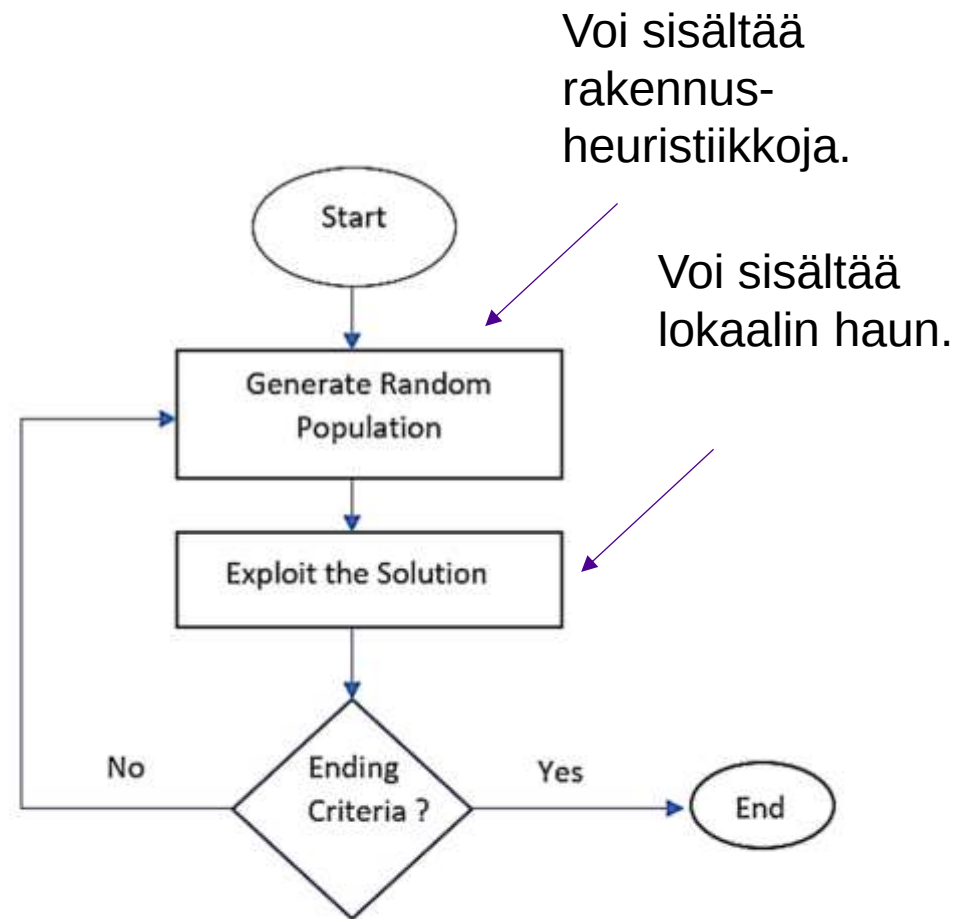
3. Rakennusheuristiikat

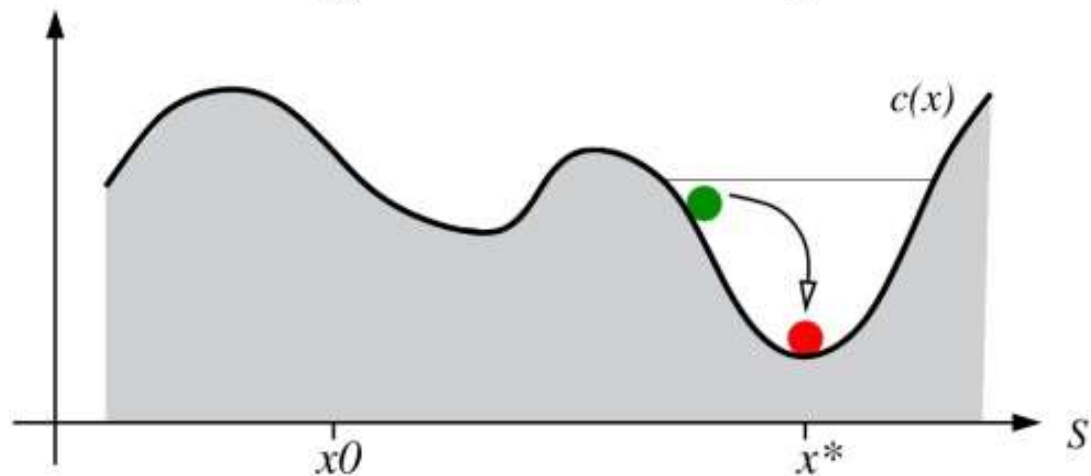
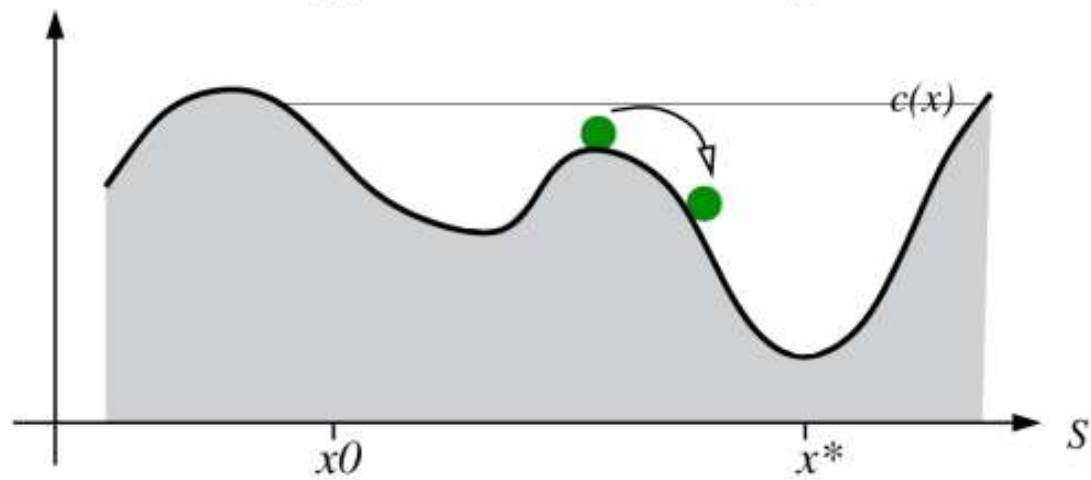
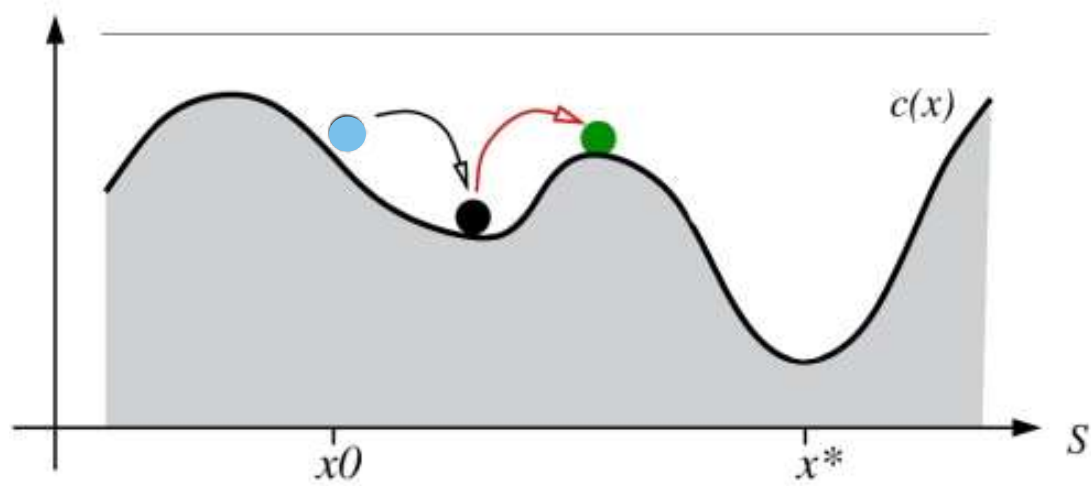
4. Metaheuristiikat

5. Hyperheuristiikat



Muutama VRP-parannusheuristiikka





$c(x)$: object function or goal

x : a solution where the values of the parameters are set.

● Local optimum:
locally best solution

● Global Optimum x^* :
best possible solution

Exploration vs. Exploitation

-James March 1991

Ohjelmistosuunnittelun näkökulma: TMS esimerkkinä

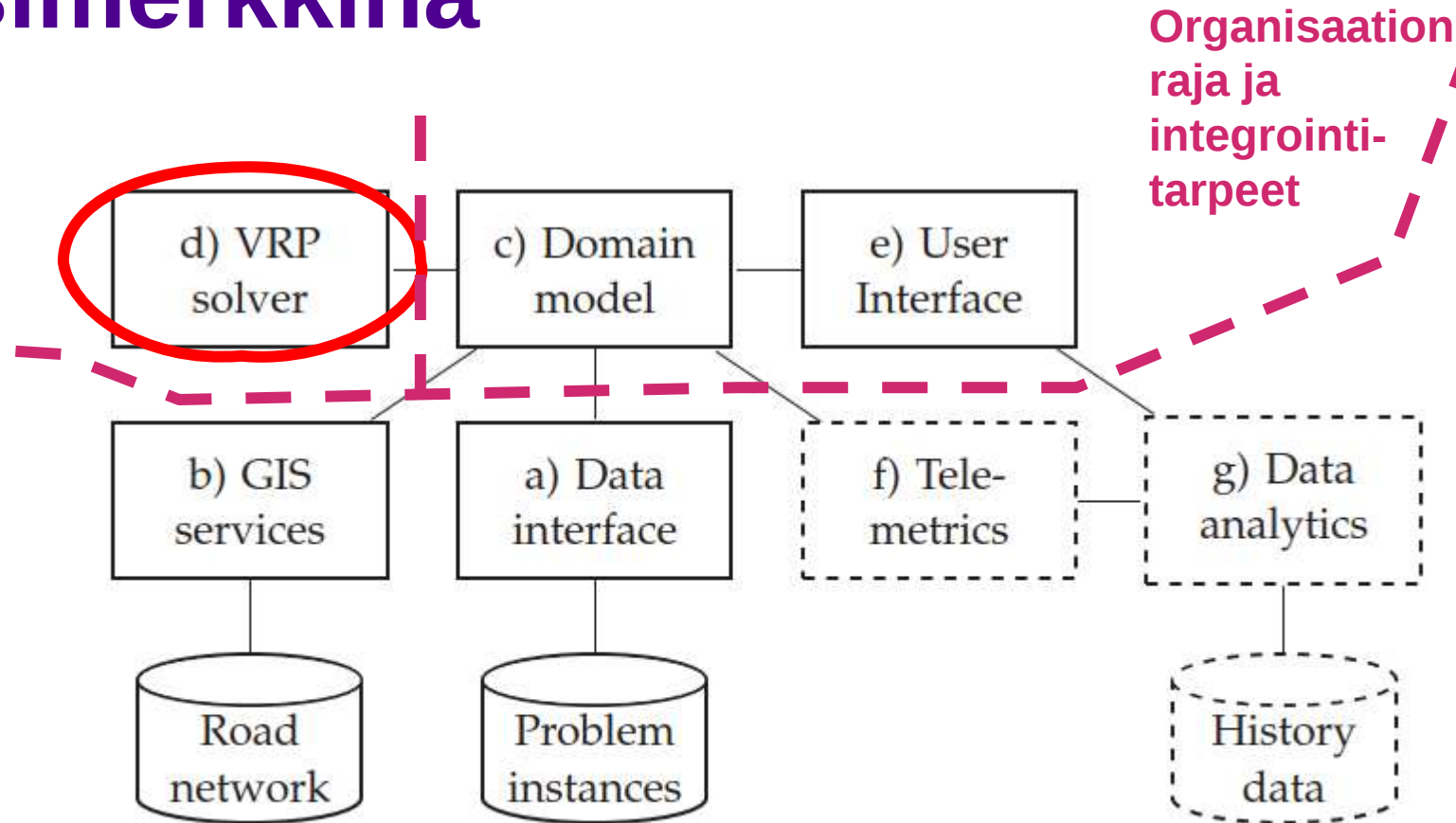


FIGURE 4 Modules of a VRS.

**Tekoäly suunnittelee reittejä,
jotka ovat 5-20 % ihmisten
suunnittelemaa tehokkaampia**

ORACLE LOGISTICS

What saved search would you like to run?

STOREDEL ADMIN

My Shipments Orders

Actions View + X [Icons] Saved Search DYN OR SHIP [Icons]

ID	Shipment	Carrier	Driver ID	Power Unit ID	Source	Destination	Indic DISP	Total Cost	Start Ti
STOREDEL 02	02457	FLEET			DISTRIBUTION C.	CAROL STREAM		400.12USD	2017-05
STOREDEL 02	02458	FLEET	BOB TOWNSEND		DISTRIBUTION C.	CAROL STREAM		400.12USD	2017-05
STOREDEL 02	02459	FLEET			DISTRIBUTION C.	RIVER GROVE CU		377.12USD	2017-05
STOREDEL 02	02460	FLEET	MICHAEL FRANKLIN		DISTRIBUTION C.	RIVER GROVE CU		400.14USD	2017-05
STOREDEL 02	02461	FLEET			DISTRIBUTION C.	CHICAGO DC		422.06USD	2017-05
STOREDEL 02	02475	FLEET			DISTRIBUTION C.	CHICAGO DC		397.01USD	2017-05

Rows Selected 1 Records 11 of 11

Private Fleet Assignments

View Driver Actions Shipment Actions Default [Icons] Shipment Time Between [Dropdown]

Monday, May 22, 2017

ID	Full Name	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
STOREDEL WALTER BROWN												
STOREDEL BOB TOWNSEND	20											
STOREDEL EVAN PETERS	20											
STOREDEL PAT SMITH	20											
STOREDEL ANDREW FRANKLIN	20											
STOREDEL MICHAEL MARTIN												

Dedicated Fleet Assignments

View Work Assignment Actions Shipment Actions Default [Icons] Shipment Time Between [Dropdown]

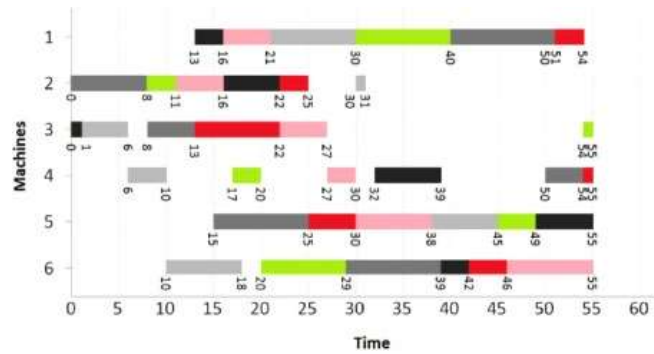
Monday, May 22, 2017

ID	Work Assignment ID	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
STOREDEL C DEDICATED RSRC 2												
STOREDEL C DEDICATED RSRC 1												

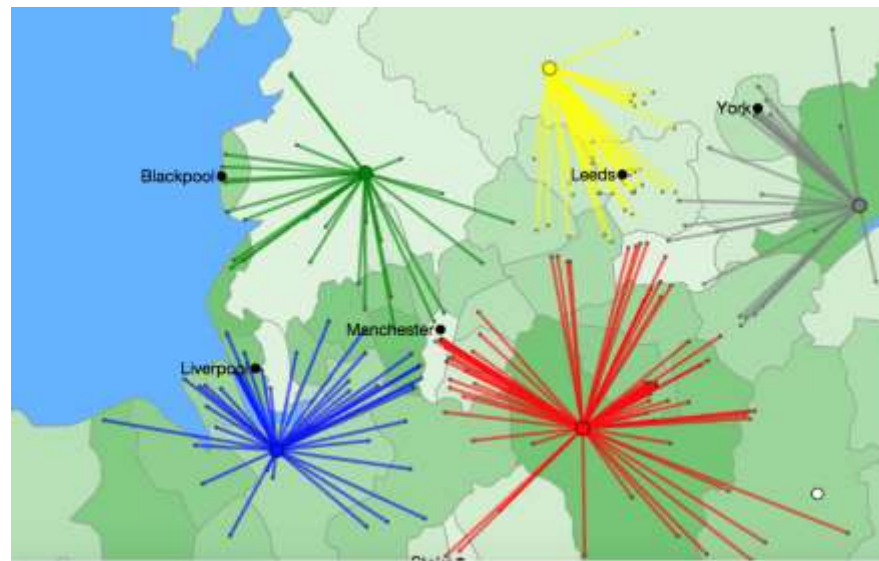
Map View

Actions [Icons]

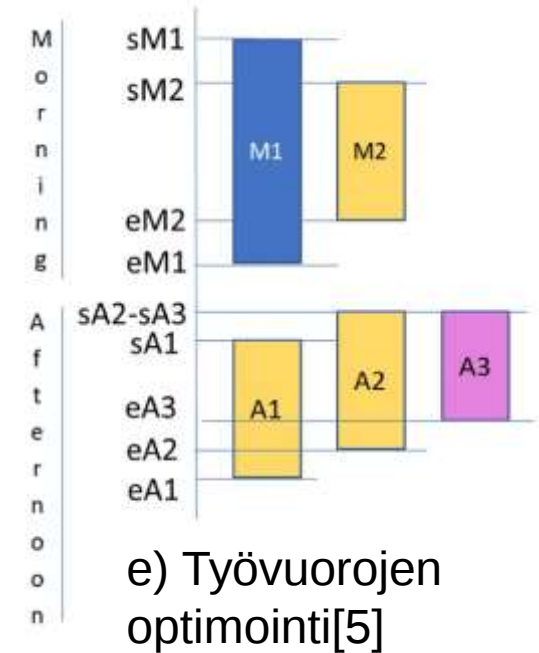
**Todella moni
suunnittelutehtävä
on itse asiassa
optimointitehtävä**



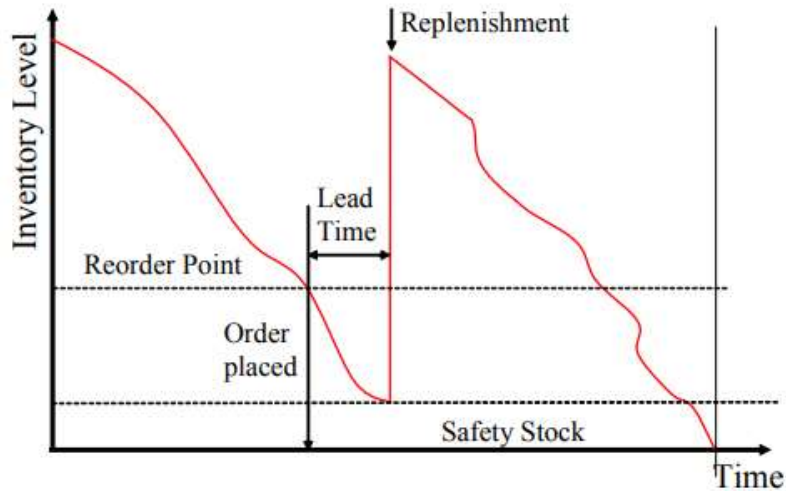
a) JSSP [1]



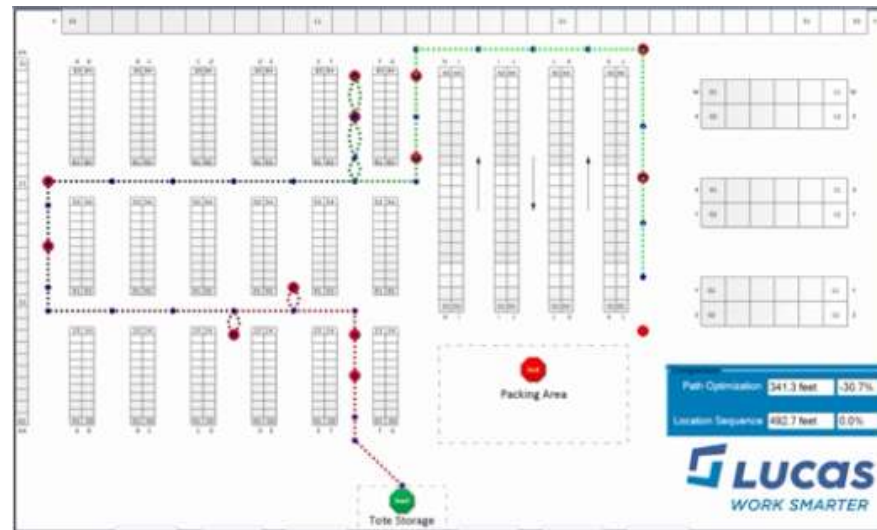
c) Paikka-analyysi [3] eli
Facility Location Problem (FLP)



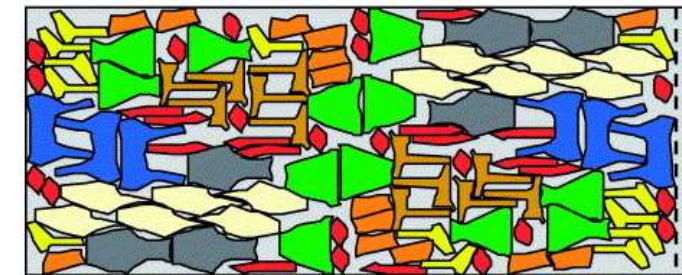
e) Työvuorojen
optimointi[5]



b) Varaston täydennysketken
optimointi [2]



d) Varaston keräilyn optimointi [4]
on VRP:n erikoistapaus.



f) Nestaus [6]

g) jne.
h) jne.
j) jne.
k) jne.

[1] Jamili (2016)
[2] You & Grossmann (2008)
[3] Gurobi.com (2019)
[4] Lucasware (2019)
[5] Guerriero & Guido (2021)
[6] Bennell & Oliveira (2008)

Tiedämme:

Optimointijärjestelmät toimivat.
Ja ne ovat hyödyllisiä.

Optimointi tulisiikin integroida
mahdollisimman moneen
ERP-järjestelmään.

**Miksi kaikki
ei jo optimoi?**

TOP 5 🎩

1. Ei tiedetä tarpeeksi
2. Ei uskota olevan mahdollista
3. Ei edes nähdä mahdollisuuksia
4. Se on liian kallista
5. Ei ole aikaa kehittää



Software Is Eating the World
- Marc Andreessen,
VC partner (2011)

AI Is Going to Eat Software
- Jensen Huang,
Nvidia CEO (2017)

**20 €/kk ja
käytössäsi on
kaikkien alojen,
myös optimoinnin,
maisteri**



**Haaste: Matemaattista
optimointia voidaan tehdä
vain, jos osaat kuvata
tehtävää matematiikkana**

*Kielimallit tarjoavat suosittuja
vastauksia, eivät oikeita
vastauksia.*

Ne tuottavat tekstiä, eivät tietoa.

*Ne eivät ole oikea työkalu
optimointitehtävien ratkomiseen!*

Tekoäly ratkaisemaan optimoinnin puutetta?

Joitakin menetelmiä, joita olen aiemmin tutkinut:

1. Itsesäätyvät menetelmät.
2. Automaattinen algoritmien valinta.
3. Ohjelmistojen tuotantolinjojen variaatiopisteiden korjaaminen koneoppimisen avulla.
4. Automatisoidut tietojen integroinnit.
(imputointi, validointi, liitospäättely)

Ja parhaillaan tutkittavana:

RQ1: *Miten genAI ja kielimallit voivat poistaa esteitä optimointiteknologian käyttöönoton tieltä?*

Unelma: Ehkä pian minun ei tarvitse enää
vääntää matematiikkaa tai koodia

Lue: https://jyx.jyu.fi/jyx/Record/jyx_123456789_65790



**Väitän: Tekoäly tulee
helpottamaan merkittävästi
(optimointi)teknologian
käyttöönottoa**

Toimenpiteet

- 1) Kokeiluja ja **yhteistyötä** tekoäly- ja optimointiteknologian käyttöönottamiseksi.
- 2) Koulutuksia ja **teknologiafoorumeita** eri kohderyhmille.



3) **Opinnäytteitä** ja harjoitustöitä aiheesta opiskelijoiden toimesta.

4) **Tekoälyratkaisu**, jonka avulla yritykset voivat helpommin ottaa käyttöön **optimointityökaluja**.

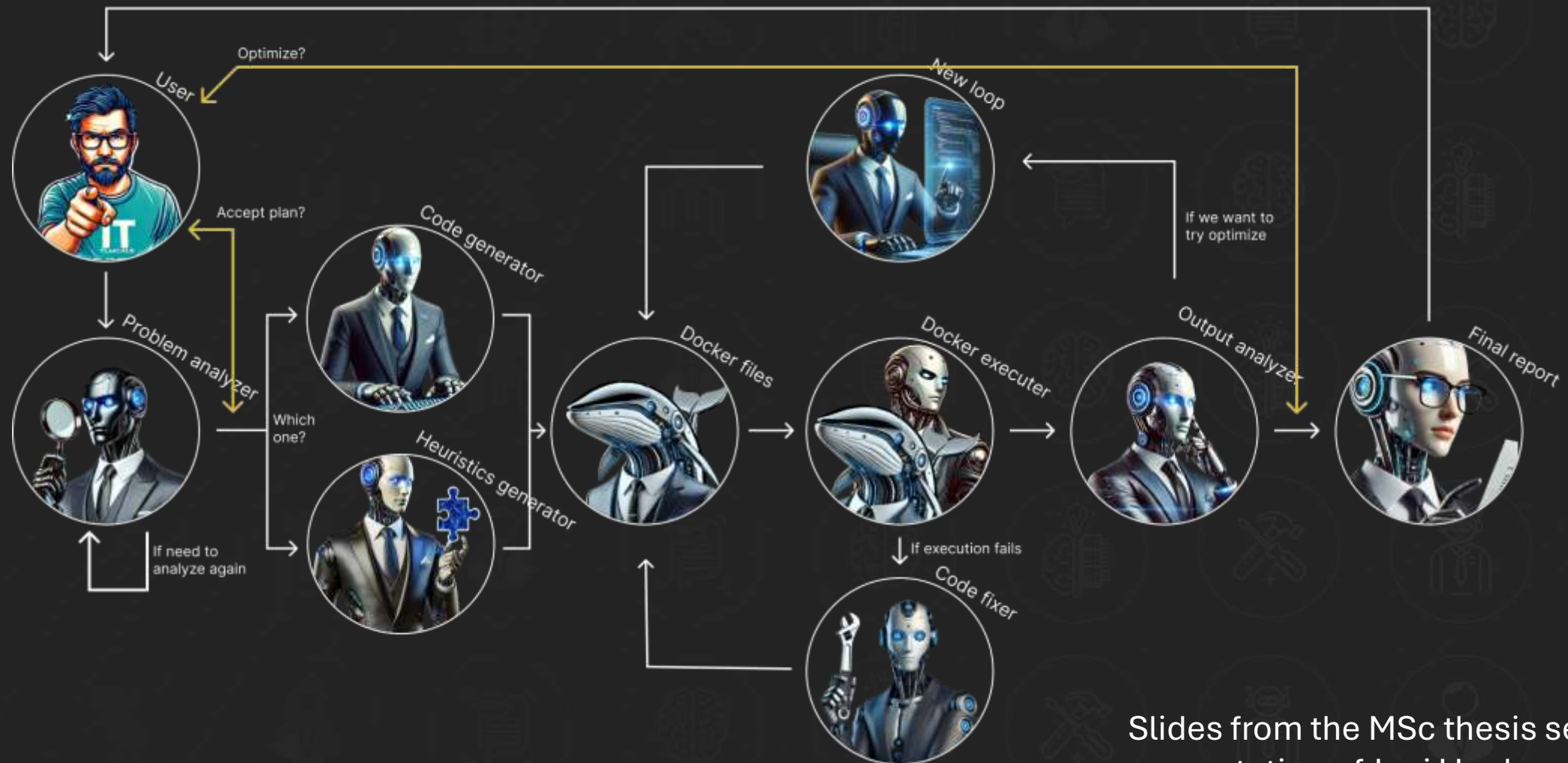
Ja 10 000
tekoäly-
agenttia!





multiagent
AI-system

How could such a tool work?



Example



Analysing agent: Agent:
Analyzes the task provided by the user to solve the problem.
Generates the necessary files for the Decker environment.
Decides whether to use an agent that specializes in heuristic solutions or optimization to solve the problem.
Displays the result in an easy-to-understand format.

```
generated > generated.py > ...
171 ... routing_enums_pb2, ITSSOLUTIONSTRATEGY, PARALLEL_CHEAPEST_INSERTION,
102 ...

Used Final Report Agent

The optimization method with index 1 achieved a total distance of 569, successfully minimizing the distance while fulfilling all customer demands within the truck's capacity. This indicates both task accuracy and efficiency, as it meets the goal effectively.

python

import numpy as np
import networkx as nx
from ortools.constraint_solver import pywrapcp, routing_enums_pb2

# Parse the VRP file
file_content = ['NAME : E-n51-k5\n', 'COMMENT : (Christophides and Eilon, Min no of truck

# Extract node coordinates and demands
node_coords = []
demands = []
capacity = 160

for line in file_content:
    if line.startswith('NODE_COORD_SECTION'):
        break

for line in file_content[file_content.index('NODE_COORD_SECTION\n') + 1:]:
    if line.startswith('DEMAND_SECTION'):
        ...

print('No solution found!')
```

Jonin työn alustavia tuloksia

- Moniagenttijärjestelmä pystyy tuottamaan ratkaisuja ja kirjoittamaan tarkoitukseen sopivia optimointi heuristiikkoja.
- Iteratiivinen edellisestä versiosta, mikä osoittaa, että järjestelmä pystyy kehittämään ratkaisujaan tarpeen mukaan.
- Tuotos eli ratkaisut ovat hyviä, mutta parantamisen varaa on vielä.
- Työkalun yleisyyttä on testattava monenlaisilla optimointitehtävillä.



Miten me voimme auttaa tekoälyn kanssa?



Ei täyttä varmuutta siitä,
miten tekoäly voi auttaa?
Ei hätää!

1. Kutsu tekoäly-lähettiläs kylään

<https://projektit.seamk.fi/alykkaat-teknologiat/vailla-tuottavuutta/>

Optimointi alkoi kiinnostamaan?

tai aivan uuden tekoäly-teknologian
sovellus-kohteen evaluointi mielessä?

(RAG, moniagenttijärjestelmät,
PDF:ien konelukeminen)

2. Ota yhteys GPT-labiin ja esim.

3. Adoptoi tekoälytytkija

<https://gpt-lab.eu/>

<https://gpt-lab.eu/adoptoi-ai-tutkija/>

<https://www.tuni.fi/fi/tutkimus/gpt-lab-seinajoki>



[@JussiRasku](https://twitter.com/JussiRasku)



jussi . rasku
@ tuni . fi



[@yorak](https://github.com/yorak)



[0000-0002-
4401-8013](https://id.tuni.fi/0000-0002-4401-8013)



[jussi-rasku-
91a5074](https://www.linkedin.com/in/jussi-rasku-91a5074)



Yhteenveto:

1. Optimoinnin ja operaatiotutkimuksen avulla voidaan edistää kestäväää kehitystä.
2. Kielimallit, kuten ChatGPT, pystyvät ratkaisemaan yksinkertaisia optimointitehtäviä puolestasi.
3. Monimutkaisempien ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan tutkimusta ja uusia tekoälytyökaluja.