

Päästösääntelyn vaikutusten tarkastelu ympäristöinvestointeihin dynaamisen ohjelmoinnin mallin avulla (aihe-esittely)

Jonna Jantunen

16.01.2026

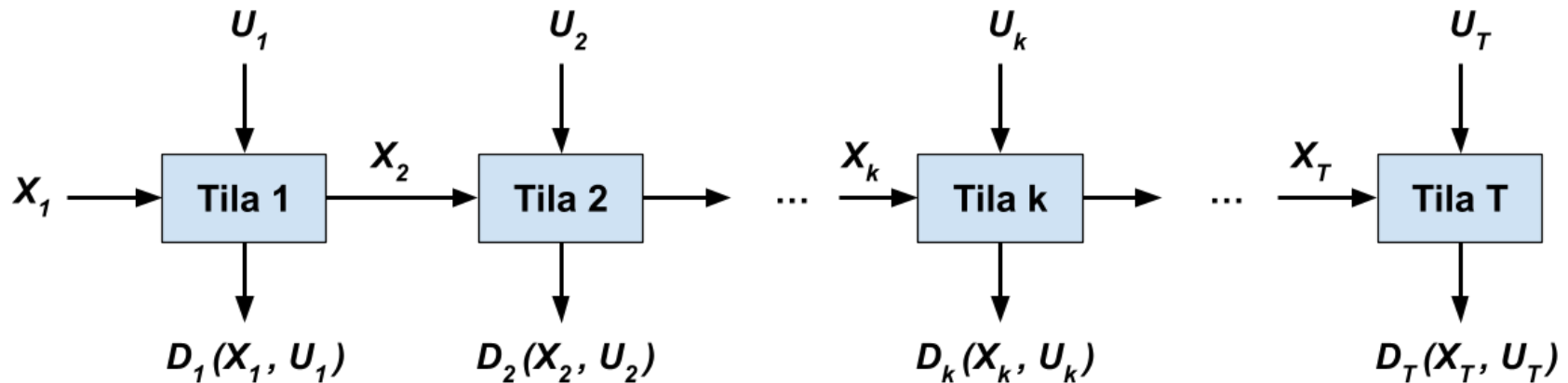
Ohjaaja ja valvoja: Kai Virtanen

Työn saa tallentaa ja julkistaa Aalto-yliopiston avoimilla verkkosivuilla. Muilta osin kaikki oikeudet pidätetään.

Tausta

- Hiilikaivostoiminnalla on merkittäviä ympäristövaikutuksia
- Päästöjä rajoittavalla lainsäädännöllä on tärkeä rooli kaivosten päästöjen ehkäisemisessä
- Sääntely vaikuttaa yritysten investointipäätöksiin ja niiden ajoitukseen
- Dynaamisella ohjelmoinnilla voidaan mallintaa kaivosten toimintaa ja päätöksentekoa vaiheittain.

Dynaamisen ohjelmoinnin malli (1/2)



- Tilamuuttuja X_k : saasteiden käsittelyn nykyinen kapasiteetti tilassa k
- Päätösmuuttuja U_k : lisättävä kapasiteetti tilassa k
- Arvofunktio $D_k(X_k, U_k)$: kustannukset tilassa k

Dynaamisen ohjelmoinnin malli (2/2)

- Kussakin tilassa syntyvät kustannukset määräytyvät pääoman vajaakäytön ja päästösäätelystä riippuvien kustannusten perusteella
- Tavoitteena on suunnitella projektien ajoitus siten, että kokonaiskustannukset minimoituvat tutkitulla aikavälillä
- Bellmanin rekursioyhtälö:

$$\begin{cases} f_k(X_k) = \min_{u_k \in U} (D_k(X_k, U_k) + f_{k-1}(X_{k-1})) \\ f_0(X_0) = 0 \end{cases} \quad , k = 1, 2, \dots, T$$

- Malli toteutetaan Pythonilla

Tavoitteet

- Kehitetään alkuperäistä mallia (Yu & Gao, "A dynamic programming model for environmental investment decision-making in coal mining") kuvaamaan erilaisia päästösäätelyn ratkaisuja
 - Verotus
 - Päästökauppa
 - Sakot
- Analysoidaan mallin käyttäytymistä ja vertaillaan tuloksia esimerkkitapauksessa

Rajaukset

- Kyseessä on deterministinen malli
- Mallissa käytetään diskreettiä aikaa
- Optimoidaan ensisijaisesti projektien ajoitusta

Aineistot

- Yu, S. and Gao, S. (2016). A dynamic programming model for environmental investment decision-making in coal mining. *Applied Energy*. 166, 273-281.
- Bellman, R. (1954). The theory of dynamic programming. *Bulletin of the American Mathematical Society*. 60, No. 6, 503–515.
- Bertsekas, D. (2012). Dynamic programming and optimal control: Volume I (Vol. 4). *Athena Scientific*

Aikataulu

- Aihe-esittely 16.1.2026
- Mallin kehittelyä ja testaamista tammi-helmikuussa 2026
- Kirjoittamista helmi-huhtikuussa 2026
- Valmiin työn esittely huhtikuussa 2026