



---

## Riittävän tiedon ongelma koulutuksessa

EELIS MIKKOLA

eelis.mikkola@helsinki.fi

Helsingin yliopisto, kasvatustieteellinen tiedekunta, Koulutuksen arviointikeskus (HEA)

### Tiivistelmä

*Riittävän tiedon ongelma on jokaiselle opettajalle tuttu: joskus oppijalla ei ole riittäviä tietoja opetuksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Tässä artikkelissa esitetään teoreettinen analyysi tästä ongelmasta. Analyysi perustuu kausaalimalliin, joka pohjautuu interventionistiseen kausaaliteoriaan. Mallin avulla annetaan uusi kuvaus riittävän tiedon ongelmasta ja mallia analysoimalla osoitetaan, että riittävän tiedon ongelmaa ei voi ratkaista ilman, että otetaan huomioon, miten oppiminen on käytännössä järjestetty. Lisäksi artikkelissa käsitellään, miten riittävän tiedon ongelmaa tulisi lähestyä empiirisessä ja analyttisessä tutkimuksessa samalla tuoden esille lähestymistapojen rajoitteet.*

### Avainsanat

*Kausaalimalli, tieto, kasvatustieteologia, suora silmukaton graafi*

## The problem of sufficient knowledge in education

### Abstract

*Every teacher knows the problem of sufficient knowledge: sometimes learners do not have enough knowledge to attain the educational objectives. This article presents a theoretical analysis of the problem. The analysis is based on a causal model grounded in the interventionist theory of causation. The model provides a new description of the problem of sufficient knowledge. Analyzing the model shows that solutions to the problem of sufficient knowledge are dependent on how learning is facilitated in practice. Additionally, the article describes how the problem of sufficient knowledge should be approached in empirical and analytical research while highlighting the limitations of the approaches.*

### Keywords

*Causal model, knowledge, philosophy of education, directed acyclic graph*

## Johdanto

Jokainen opettajana työskennellyt on joskus törmännyt tilanteeseen, jossa oppijalla ei ole riittäviä tietoja tai taitoja opetukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. Tätä ongelmaa sekä tiedon kehittymistä ja merkitystä opetuksessa on tarkasteltu laajasti teoreettisessa kasvatustieteellisessä tutkimuksessa niin oppimisteorioiden (mm. Vygotsky, 1978), kasvatustieteiden (mm. Dewey, 1938/1997) kuin opetussuunnitelmatutkimuksen (mm. Niemelä, 2021) näkökulmista. Yksinkertaisimmillaan ongelman pohjalla oleva ajatus tiedon merkityksestä oppimiselle on esitetty uudistetussa Bloomin taksonomiassa (Krathwohl, 2002), jossa todetaan tiedon olevan välttämätöntä, jotta oppija voi ratkoa oppiainekohtaisia ongelmia. Riittävän tiedon ongelma voidaankin määritellä tilanteeksi, jossa oppijan taustatiedot eivät ole riittävät opetukselle asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Artikkelissa esitetään uusi muotoilu riittävän tiedon ongelmasta Judea Pearl (2009) ja James Woodwardin (2003) kausaaliteorioiden avulla. Tutkimuksessa rakennetaan kausaalimalli, jonka avulla kuvataan tiedon, tai tarkemmin tiedon lajien, kausaaliset vaikutukset siihen, millä todennäköisyydellä oppija saavuttaa opetukselle asetetut tiedolliset tavoitteet. Mallin taustalla on erityisesti kasvatustieteen filosofi Christopher Winchin ajattelu ja hänen artikkelinsa *Curriculum design and epistemic ascent* (2013), jossa hän tarkastelee, miten oppija voi kehittyä aloittelijasta asiantuntijaksi oppiaineen sisällä.

Artikkelin tavoitteena on argumentoida, että riittävän tiedon ongelmaa ei voida ratkaista, jos ei oteta huomioon oppimistapahtumien kausaalista vaikutusta tavoitteiden saavuttamiseen. Lisäksi artikkelissa tarkastellaan, miten riittävän tiedon ongelman ratkaisemista tulee lähestyä empiirisessä ja analyttisessä tutkimuksessa. Käytetyn menetelmän ja teoreettisen lähestymistavan uutuuksien vuoksi artikkeli toimii myös kokeilevana ja kuvailevana tutkimuksena siitä, miten kausaalimallintamista voi hyödyntää teoreettisessa ja filosofisessa kasvatukseen liittyvässä tutkimuksessa.

## Tiedon lajit

Filosofiassa on tapana erottaa kolme eri tiedon lajia: propositionaalinen tieto, tuttuustieto ja taitotieto, joita voi pitää sanan ”tietää” eri merkityksinä. Tyyppillisimmin tiedosta puhuttaessa viitataan *propositionaaliseen tietoon*, joka kohdistuu propositioihin. Propositioilla useimmiten viitataan siihen mihin uskotaan: totta tai epätotta olevan väitelauseen sisältöön tai merkitykseen (Moser, 1987). Propositionaalinen tieto voidaan ilmaista muodossa ”S tietää, että p”, jossa S on tiedon omaava subjekti ja p on propositio, johon uskotaan. Esimerkiksi jos minä tiedän, että lumi on märkää, niin minä olen subjekti, ja propositio, jonka tiedän, on ”lumi on märkää”. Koulutuksen näkökulmasta propositionaalinen tieto viittaa lähes kaikkeen käsitteelliseen ja teoreettiseen sekä opetussuunnitelman näkökulmasta sisällölliseen tietoon, jota pitäisi oppia. Esimerkiksi nykyisten Lukion opetussuunnitelman perusteiden (LOPS) lukion filosofian oppiainekohtaiset sisällöt sisältävät käsitteitä, joiden merkitykset tulisi oppia, kuten ”moraalinen objektivismi, relativismi, subjektivismi” (Opetushallitus, 2019, p. 271).

Kun näen puun ulkona, kuulen laulun radiosta tai maistan viinirypälettä, saan *tuttuustietoa* näistä objekteista (Duncan, 2021). Suora (aisti)havainto jostakin objektista on ensisijainen tapa tuttuustiedon hankkimiseen. Tuttuustieto pitää sisällään sellaisia ominaispiirteitä, joita ei voi saada muuten kuin kokemalla juuri nämä asiat. Jos tiedän miltä tuntuu katsoa auringonlaskua laiturilla, kun jalkani koskettavat vettä, minulla voidaan sanoa olevan tuttuustietoa juuri siitä, miltä tämä kokemus tuntuu. Tuttuustietoa ei voi propositionaalisen tiedon tavoin suoraan kielellisesti siirtää toiselle ihmiselle. Koulutuksen näkökulmasta tuttuustieto on usein välttämätöntä tavoitteiden saavuttamiseksi, vaikka se ei olisi ensisijainen tavoite. Esimerkiksi LOPS:n mukaan musiikinopetuksen yleisenä tavoitteena on, että opiskelija ”suhtautuu avoimesti ja arvostavasti eri kulttuureihin sekä käy dialogia musiikillisista kokemuksista” (Opetushallitus, 2019, p. 341), jota ei voi saavuttaa ilman tuttuustietoa musiikillisista kokemuksista.

*Taitotieto* viittaa tiedolliseen kykyyn, taitoon tai osaamiseen (Ryle, 1949/2009). Esimerkiksi jos tiedän, miten autolla ajetaan, pystyn ajamaan autoa. Pelkkä propositioiden tietäminen autosta ei riitä tämän kyvyn saavuttamiseen, vaikka joidenkin propositioiden tunteminen voi olla välttämätöntä autolla ajami-

sen kannalta. Autolla ajamista täytyy harjoitella käytännössä, kuten muitakin taitotietoon liittyviä kykyjä. Kaikki kyvyt eivät kuitenkaan ole taitotietoa, kuten esimerkiksi hengittäminen ja ruoansulatus ja muut vaistonvaraiset toiminnot. Taitotieto on keskeinen tavoite koulutuksessa ja esimerkiksi filosofian didaktiikassa kriittistä ajattelua pidetään koulutuksen tärkeänä tavoitteena, jota ei voi saavuttaa vain propositioiden totuusarvoja ulkoa opettelemalla (mm. Lipman, 2003).

Kaikki tiedon lajit ovat jossain määrin yhteydessä toisiinsa (Winch, 2023), mutta niiden väliset suhteet ovat kiistanalaiset. Gilbert Ryle (1949/2009) mukaan taitotieto ja propositionaalinen tieto ovat toisistaan erilliset, kun taas Jason Stanleyn ja Timothy Williamsonin (2001) mukaan taitotieto on oikeastaan eräänlaista propositionaalista tietoa. Winch (2013) puolestaan esittää propositionaalisen tiedon olevan riippuvaista taitotiedosta ja Bertrand Russell (1912/2001) ajatteli tuttuustiedon olevan perimmäinen tiedon laji. Tässä artikkelissa ei käsitellä kiistaa tiedon lajien käsitteellisistä suhteista tarkemmin, vaan seurataan Winchin (2013) ajatusta, jonka mukaan kaikki kolme tiedon lajia voidaan koulutuksen kontekstissa eritellä toisistaan mielekkäällä tavalla: ne voidaan tunnistaa koulutuksen kontekstissa erillisinä ilmiöinä, niitä voidaan mitata erilaisin testeillä ja niitä pyritään kehittämään ainakin osittain erilaisilla menetelmillä (vrt. Lipman, 2003).

## Tiedollinen nousu opetuksessa

Aikaisempien tietojen vaikutusta uuden tiedon oppimiseen on käsitelty kasvatustieteen ja kasvatustieteissä aina Platonin Menon-dialogista (2005) lähtien. Analyyttistä perinnettä edustava Winch on käsitellyt aihetta tiedollisen nousun (eng. *epistemic ascent*) käsitteen näkökulmasta. Winch (2013, 2023) jatkaa kasvatustieteen ja kasvatustieteiden Paul Hirstin ajattelua (mm. 1965/2010) ja argumentoi, että oppiaineiden sisällä on tiedollinen hierarkia, jota nousee tasolta tasolle. Nousua aloittelijasta asiantuntijaksi tässä hierarkiassa Winch (2013) kutsuu tiedolliseksi nousuksi. Relevanttien tietojen (olivatpa ne propositionaalista tietoa, tuttuustietoa tai taitotietoa) puute missä tahansa kohtaa hierarkiaa voi estää oppijan pääsyn seuraavalle tasolle ja näin ollen pysäyttää tiedollisen nousun. Tämän vuoksi opetus suunnitelmalliseksi tulisi Winchin mukaan rakentaa niin,

että ne ovat pedagogisesti sopivia (eng. *pedagogically appropriate*) tavalla, joka mahdollistaa nousun tasolta  $X_1$  tasolle  $X_2$  ilman ongelmia.

Pedagogisesti sopiva opetussuunnitelma ei kuitenkaan perustu tieteellisten oppialojen sisäisiin hierarkioihin, joita oppiaineet usein toisintavat (Winch, 2013, 2023). Winch (2013) vastustaa näkemystä, jonka mukaan opetettavien sisältöjen tulisi seurata loogista tai käsitteellistä hierarkiaa, jossa ensimmäisenä opetetaan oppialasta kaikkein perustavanlaatuisimmat asiat, joiden päälle loput tiedoista voidaan rakentaa loogisesti tai käsitteellisesti. Esimerkiksi matematiikan oppiaineessa koulussa ei tulisi opettaa ensimmäiseksi joukko-oppia, vaikka sen avulla voitaisiin johtaa kaikki oppiaineen sekä oppialan sisällöt ja sen voi ajatella olevan loogisesti matematiikan oppialan pohjalla.

Winch (2013) esittää, että nousua noviisista asiantuntijaksi tuleekin tarkastella asteittaisena prosessina, jossa eri asteilla tarvitaan erilaisia tietoja ja taitoja, joiden ensisijainen tehtävä voi olla se, että oppija voi nousta seuraavalle tasolle. Lisäksi eri tasoilla vaaditaan erilaisia opetusmenetelmiä. Esimerkiksi oppimisen kannalta on hyödyllistä opettaa heuristisia menetelmiä ongelmien ratkaisemiseen, vaikka niitä ei enää voisikaan käyttää seuraavilla osaamisen tasoilla, koska ne eivät ole tarpeeksi tarkkoja. Vastaavasti alemmilla tasoilla voidaan määritellä käsitteitä tavoilla, jotka helpottavat oppimista, mutta eivät ole perusteltuja ylemmillä asiantuntemuksen tasoilla tai oppialan näkökulmasta (Winch, 2013, 2023). Voidaankin ajatella, että opetuksessa käytetyt menetelmät sekä opetettavat aiheet ja asiat tulisi valita pragmaattisesti sillä perusteella, että ne toimivat kyseisellä asiantuntemuksen tasolla ja auttavat nousemaan seuraavalle tasolle. John Dewey (1938/1997) mukaillen koulutuksessa tulisi tarjota kokemuksia, joiden avulla mahdollistetaan uusien ja laadullisesti hyvien kokemusten saavuttaminen.

Pedagogisesti sopiva järjestys tiedollisille tavoitteille opetussuunnitelmissa voi siis poiketa radikaalisti tieteellisen oppialan loogisesta tai käsitteellisestä rakenteesta. Lisäksi pedagogisesti sopiva opetussuunnitelma voi sisältää oppialasta poikkeavia sisältöjä, joiden ensisijainen tarkoitus on mahdollistaa tiedollinen nousu. Keskeistä on, että sopivan järjestyksen tulee pohjautua ymmärrykseen siitä, mitkä tiedot käytännössä vaikuttavat muiden tietojen saavuttamiseen.

Vaikka Winch (2013) ei suoranaisesti keskity käsittelemään riittävän tiedon ongelmaa, on se kuitenkin keskeisessä osassa tiedollista nousua. Pedagogisesti sopivalla tavalla järjestetty opetussuunnitelma on järjestetty tavalla, jossa riittävän tiedon ongelmaa ei esiinny, kun noudetaan tasolta toiselle soveltaen oikeanlaisia menetelmiä. Toisin sanoen jokaisen tavoitejoukkoparin  $X_1$  ja  $X_2$ , jossa  $X_1$  edeltää opetussuunnitelmassa suoraan tavoitetta  $X_2$ , tulee olla sellaiset, että tavoitteen  $X_1$  hallitseminen on riittävää tavoitteen  $X_2$  saavuttamiseksi opetuksessa.

Tässä artikkelissa rakennettava kausaalimalli on kausaalinen tulkinta Winchin ajattelusta keskittyen vain kahden tietojoukon välisiin syy-seuraussuhteisiin. Täten malli kuvaa riittävän tiedon ongelmaa, eikä ole suoranaisesti esitys pedagogisesti sopivalla tavalla järjestetyistä tiedoista opetussuunnitelmatasolla. Malli on kuitenkin yleistettävissä ja sitä laajentamalla voidaan esittää Winchin ajatus tiedollisesta noususta ja pedagogisesti sopivalla tavalla järjestetystä opetussuunnitelmasta.

Winchin ajattelu tiedosta ja tiedollisesta noususta on ollut vaikutusvaltainen englanninkielisessä opetussuunnitelmatutkimuksessa. Se on vaikuttanut esimerkiksi Michael Youngin ja Johan Mullerin ajatteluun voimallisesta tiedosta (eng. *powerful knowledge*) ja myöhempään keskusteluun, joka on kehkeytynyt tästä (mm. Hudson ym., 2023; Young & Muller, 2013, 2015). Vaikka keskustelu tiedon merkityksestä ja järjestämisestä opetussuunnitelmissa onkin aktiivista (mm. Hudson ym., 2023; Mcphail, 2021; Niemelä, 2021), ei Winchin tiedollisesta noususta ole aikaisemmin esitetty eksplisiittisesti kausaalista tulkintaa.

## Kausaalimallit

Kausaalimallit ovat teoreettisia malleja, joiden avulla voidaan esittää tarkkoja väitteitä kausaalisuhteista, joiden falsifioiminen ja verifioiminen on periaatteessa mahdollista. Kausaalimallintaminen ei ole vielä yleistä kasvatukseen liittyvässä tutkimuksessa, vaikka kausaalimalleja on käytetty menestyksekkäästi muilla tieteenaloilla (ks. Mikkola ym., 2024; Kitto ym., 2023). Tässä artikkelissa sovelletaan Pearlin (mm. 1995, 2009) ja Woodwardin (mm. 2003, 2016) kehittämiä kausaaliteorioita, joissa kausaalisuhteet voidaan esittää suunnattuina silmukattomina graafeina (*directed acyclic graph*) ja funktioina,

jotka määrittelevät miten graafeissa esitettyjen muuttujien arvot muodostuvat. Tätä lähestymistapaa pidetään yhteiskuntatieteiden filosofiassa kehittyneimpänä yleisenä kausaalisen päättelyn menetelmänä (Kuorikoski, 2018).

Suorat silmukattomat graafit koostuvat joukoista solmuja ja särmiä. Solmut (ympyrät/kirjaimet) kuvaavat muuttujia ja särmit (nuolet) muuttujien välisiä syy-seuraussuhteita. Kaikki särmit ovat suunnattuja eli ne osoittavat aina yhdestä muuttujasta toiseen: syystä seuraukseen. Särmit eivät saa muodostaa silmukoita, eli muuttujasta lähtevä särmien joukko ei saa tulla takaisin muuttajaan itseensä. Esimerkiksi jos muuttujien A, B ja C välillä olisi seuraavat suhteet:  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  olisi mallissa silmukka. Mallit kuvaavat myös ajallista suhdetta, joissa syy edeltää aina seurausta. Täten silmukka johtaisi tilanteeseen, jossa muuttuja on oma syynsä ja ajallisesti edeltäisi itseään.

Suunnatuissa silmukattomissa graafeissa solmujen välisistä suhteista käytetään nimeä *polku*. Esimerkiksi mallissa  $A \rightarrow B$  on polku A:sta B:hen. Polun eri jäsenistä käytetään sukulaissuhteisiin viittaavia nimityksiä. Jos A johtaa B:hen, niin A on B:n *vanhempi* ja B vastaavasti A:n *lapsi*. Kaikki suunnatut silmukattomat graafit voidaan jakaa kolmenlaisten perusläöllään: *haarukkaan*  $A \leftarrow B \rightarrow C$ , *ketjuun*  $A \rightarrow B \rightarrow C$  ja *törmäyttimeen*  $A \rightarrow B \leftarrow C$ . Näitä kuvioita voidaan käyttää sekoittavien muuttujien (eng. *confounder*), välittävien muuttujien (eng. *mediator*) ja törmäytinharhan (eng. *collider bias*) tunnistamisessa (Kitto ym., 2023; Pearl, 2009).

Empiirisen tutkimuksen näkökulmasta graafit siis kertovat, mitä muuttujia pitää vakiodia ja mitä muuttujia ei saa vakiodia, kun halutaan arvioida muuttujien välisiä kausaalisuhteita. Jokainen tarpeeksi laaja graafi implikoi joukkoa ehdollisia rippuvaisuuksia eri muuttujien välillä. Nämä riippuvaisuudet (ja riippumattomuudet) ovat empiirisesti testattavissa, mikä tekee graafeista erinomaisia työkaluja tarkkojen hypoteesien tekemiseen, sillä jokaisella graafilla on eksplisiittinen empiirinen tulkinta (Kitto ym., 2023).

Kausaalisuhteet suunnatuissa silmukattomissa graafeissa voidaan tulkita interventionistisesti. Tämä tarkoittaa, että mallissa V oleva muuttuja X on muuttujan Y syy, jos ja vain jos Y:n arvo muuttuu, kun X:n arvoa muutetaan interventiolla (Pearl, 2009; Woodward, 2003). Interventiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa X:n arvoa muutetaan samalla, kun X:n kaikki polut sen van-



hempiin poistetaan. Toisin sanoen luodaan tilanne, jossa  $X$ :n arvo muodostuu täysin intervention perusteella riippumatta sen vanhemmista (Pearl, 1995). Tämä efekti voidaan saavuttaa esimerkiksi satunnaistetulla vertailukokeella (Pearl, 2009). Muuttujat ja niiden manipulaatio (ml. interventiot) tulkitaan kontrafaktuaalisesti. Eli mallissa  $V$  muuttamalla  $X$ :n arvoa myös  $Y$  muuttuu, vaikka  $X$ :n suora muuttaminen intervention avulla ei olisi todellisuudessa mahdollista (Woodward, 2003). Teoria ei vaadi sitä, että kaikkien muutosten  $X$ :n arvossa tulee vaikuttaa muuttujan  $Y$  arvoon. Jos on vähintään yksi  $X$ :n arvo, jonka asettaminen intervention avulla muuttaa  $Y$ :n arvoa,  $X$  on  $Y$ :n syy tässä tapauksessa. Muuttujien vaikutusten ei tarvitse olla positiivisia. Muuttujien  $X$  ja  $Y$  välillä on kausaalisuhte, jos kasvattamalla  $X$ :n arvoa interventiolla vähennetään  $Y$ :n arvoa.

Suorissa silmukattomissa graafeissa esitettyjen muuttujien arvot määräytyvät suhteessa kunkin muuttujan vanhempiin, jotka on kuvattu graafissa (Pearl, 2009). Tämän lisäksi jokaisella muuttujalla on virhetermi  $U$  (jonka oletetaan olevan itsenäinen muista virhetermeistä), joka toimii yhtenä muuttujan vanhemmista ja kuvaa graafin ulkopuolelle jäävien asioiden kausaalista vaikutusta muuttujaan. Muuttujan  $x_i$  arvon muodostumista kuvataan funktiolla  $x_i = f_i(p_{a_i}, u_i)$ , jossa  $p_{a_i}$  viittaa muuttujan vanhempiin ja  $u_i$  virhetermiin. Tyypillisesti virhetermejä ei merkitä graafiin itseensä.

Muuttujien kausaalisia vaikutuksia toisiinsa voidaan myös tarkastella ehdollisten todennäköisyyksien avulla, joissa muuttujien vanhempiin on tehty interventio. Pearl (1995, 2009) on kehittänyt interventioiden vaikutusten arvioimista varten do-operaattorin, joka kertoo, että muuttujalle  $X$  on interventiolla asetettu arvo  $x$ . Esimerkiksi  $P(Y = y | \text{do}(X = x))$  kertoo todennäköisyyden  $Y = y$  kun muuttujalle  $X$  on interventiolla asetettu arvo  $x$ . Tämän voi esittää myös yksinkertaisemmin tavalla  $P(y | \text{do}(x))$ . Tämän todennäköisyyden saa selville tekemällä intervention tai käsittelemällä havainnoimalla luotua aineistoa Pearlin kehittämällä do-laskennalla, jonka avulla do-operaattorit voidaan korvata havainnoimalla tuotetusta aineistosta lasketuilla ehdollisilla todennäköisyyksillä tiettyjen ehtojen vallitessa. Tällä tavalla voidaan estimoida intervention vaikutukset, vaikka interventiota ei olisi tosiasiaa tehty.

Tärkeää on huomata, että  $P(y | \text{do}(x))$  voi erota merkittävästi ehdollisesta todennäköisyydestä  $P(y | x)$ . Esimerkiksi jos  $Y$  on sade ja  $X$  ilmapuntarin luke-

ma niin  $P(y|x)$  kertoo todennäköisyyden sateelle kun  $X = x$ . Tekemällä intervention  $X = x$  ilmapuntarin lukemaan (kun se on alun perin jotain muuta) ei voida muuttaa sateen arvoa, joten  $P(y|x) \neq P(y|\text{do}(x))$ . Tämä johtuu siitä, että  $X$  ei ole  $Y$ :n vanhempi.

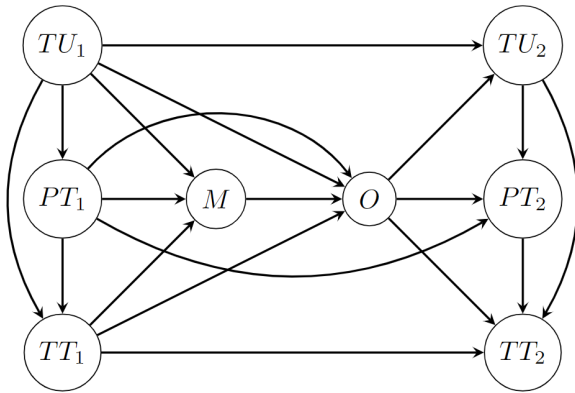
Tämän artikkelin näkökulmasta on keskeistä, että suunnatut silmukattomat graafit tarjoavat tarkan kielen (Pearl & Mackenzie, 2018), jonka avulla voidaan esittää väitteitä muuttujien välisistä kausaalisuhteista (Kitto ym., 2023). Suoria silmukattomia graafeja voikin ajatella formaalina kielenä, joka avulla voidaan eksplikoida kausaalisia väitteitä. Graafit mahdollistavat kausaaliväitteiden tekemisen, jotka ovat tarkkoja ja joilla on selkeä empiirinen tulkinta. Koska graafeilla on selkeä empiirinen tulkinta, niiden avulla tehtyjä väitteitä voidaan osoittaa vääriksi muun muassa oikeanlaisilla koeasetelmilla ja havainnoimalla saadulla aineistolla.

Kausaalimallien muuttujien määrittely ei ole aina yksinkertaista. On esimerkiksi kiistaa siitä, voiko makrotason muuttujien välillä olla kausaalisia suhteita vai tulisiko ne selittää aina mikrotason muuttujien välisillä suhteilla (mm. Woodward, 2022). Muuttujia voidaan myös määritellä eri tavoin kuten niputtamalla useita muuttujia yhteen ylemmän tason muuttujiksi (Woodward, 2016; Tikka ym., 2023). Tässä artikkelissa ei oteta laajemmin kantaa muuttujien määrittelyyn ja muihin kausaalisuhteisiin liittyviin filosofisiin kiistoihin, kuten kysymyksiin supervenienssistä (mm. Woodward, 2022), vaan lähdetään pragmatistisesta näkökulmasta, jonka mukaan muuttujat määritellään suhteessa tutkimuksen tavoitteisiin (Woodward, 2016). Artikkelia varten tehty malli on siis approksimaatio siitä, miten maailma toimii. Tärkeää on se, että mallissa olevat muuttujat ovat teoreettisesti perusteltavissa (mm. Winch, 2013), jossain määrin mitattavissa, tunnistettavissa ja määriteltävissä koulutuksen kontekstissa.

## Riittävän tiedon kausaalimalli G

Artikkelia varten luodun kausaalimallin (Kuvio 1) avulla voidaan tarkastella tiedon lajien vaikutusta siihen, oppiiko joku asetetut tavoitteet koulussa tapahtuvassa formaalissa opetuksessa. Mallia rakennettaessa lähdettiin tilanteesta, jossa kaikkien muuttujien välillä oli molempiin suuntiin suunnattu särmä,

jonka jälkeen särmiä on poistettu yksi kerrallaan vetoamalla teoreettiseen kirjallisuuteen, ajatuskokeisiin ja muuttujien välisiin ajallisiin yhteyksiin (vrt. Mikkola ym., 2024). Artikkelin pituuden vuoksi tässä luvussa esitetään vain lyhyet selitykset jokaisesta jäljelle jääneestä särmästä, eikä koko prosessia kuvata. Mallissa ei myöskään esitetä erillisiä funktioita muuttujille, vaan oletetaan niiden seuraavan edellisessä luvussa esitettyä yleistä muotoa  $x_i = f_i(pa_i, u_i)$ .



Kuvio 1: Suunnattu silmukatonta graafi,  $G$ , joka esittää eri tiedon lajien kausaalisuhteita suhteessa kykyyn saavuttaa asetetut tavoitteet.

Kausaalimallissa, tästä eteenpäin  $G$ , on kuvattuna muuttujat Taitotieto ( $TT_1$  ja  $TT_2$ ), Propositionaalinen tieto ( $PT_1$  ja  $PT_2$ ), Tutustuus-tieto ( $TU_1$  ja  $TU_2$ ), Motivaatio ( $M$ ), Oppimistapahtuma ( $O$ ). Tiedon lajit ovat kuvattuna kahdessa eri ajankohdassa: ennen Oppimistapahtumaa ( $X_1$ ) ja sen jälkeen ( $X_2$ ). Täten  $G$  kuvaa tilannetta, jossa joukko tietoa vaikuttaa kausaalisesti seuraavassa ajankohdassa olevaan joukkoon tietoa, kun ajankohtien  $t_1$  ja  $t_2$  välillä on formaali oppimistilanne. Kaikki muuttujat ovat luokkamuuuttujia.

Ennen Oppimistapahtumaa ( $O$ ) olevat tiedot ovat lähtöjoukko ja oppimistapahtuman jälkeiset tiedot ovat tavoitejoukko. Tavoite- ja lähtöjoukon muuttujat edustavat tiedon lajien joukkoja. Lähtöjoukko sisältää ne tiedot, jotka jol-

lain oppijalla on ajankohdassa  $t_1$ . Tavoitejoukko taas ne tiedot, jotka oppijalla on, tai tulisi olla, ajankohdassa  $t_2$ . Opetukselle annettuja tavoitteita voi käsitellä tavoitejoukon muuttujien arvoina. Esimerkiksi tavoitejoukko  $PT_2 = 1, TT_2 = 2$  ja  $TU_2 = 3$  viittaa tavoitteeseen, jossa halutaan, että oppija saavuttaa joukon yksi propositionaalista tietoa, joukon kaksi taitotietoa ja joukon kolme tuttuustietoa. Tyypillisesti opetukselle annetut tavoitteet eivät eksplisiittisesti sisällä kaikkia tiedon lajeja, vaan tavoite saattaa koskea vain yhtä niistä (esim.  $PT_2 = 4$ ).

Oppimistapahtuma ( $O$ ) viittaa nimensä mukaisesti siihen tapahtumaan, jonka avulla pyritään muokkaamaan lähtöjoukko tavoitejoukoksi.  $O$  voi olla esimerkiksi tietyllä tavalla suunniteltu ja toteutunut oppitunti tai oppituntien sarja.  $O$ :n ajallista kestoa ei ole rajoitettu, mutta on hyvä huomata, että pitkä sarja erilaisia oppitunteja tai muita tilanteita voitaisiin kuvata myös kausaalimallien sarjana.  $O$  siis sisältää informaatiota siitä, miten opetus (ja oppiminen) on järjestetty, mitä menetelmiä on käytetty ja niin edespäin.

Motivaatio ( $M$ ) viittaa oppijan affektioihin opittavaa asiaa ja oppimistapahtumaa kohtaan. Se sisältää yleisen motivaation oppimiseen sekä muut asenteisiin liittyvät seikat, jotka ovat merkittäviä oppimistapahtumalle. Muuttujana  $M$  esittää siis kasvatustieteissä laajasti tehdyn huomion motivaation, osaamisen ja tiedon välisestä yhteydestä (mm. Deci ym., 1991) sekä kausaaliosateoriassa esitetyn näkemyksen uskomusten (tässä tapauksessa tiedon) ja halujen vaikutuksesta toimintaan (mm. Aguilar & Buckareff, 2010).

Eri tiedon lajeista on identtiset särmät toisiinsa lähtö- ja tavoitejoukoissa ( $TU \rightarrow PT \rightarrow TT$  ja  $TU \rightarrow TT$ ). Tämän lisäksi lähtöjoukon muuttujista on aina särmä vastaavaan muuttujaan tavoitejoukossa (esim.  $TU_1 \rightarrow TU_2$ ). Lähtöjoukon jokaisesta muuttujasta on myös särmät Motivaatioon ( $M$ ) ja Oppimistapahtumaan ( $O$ ).

Tuttuustiedosta ( $TU$ ) lähtevien särmien kohdalla on seurattu Russellin (1912/2001, s. 25–32) argumenttia siitä, että tuttuustieto on merkittävää muun tiedon syntymisen kannalta sekä Winchin (2017) esitystä tuttuustiedon ja asiantuntijuuden suhteesta. Propositionaaliseen tietoon ( $PT$ ) kohdistuva särmä viittaa kokemuksiin, joista muodostetaan propositioita. Taitotietoon ( $TT$ )

kohdistuva särmä viittaa niihin kokemuksiin, jotka ovat välttämättömiä taidon saavuttamiseksi.

Propositionaalista tiedosta (*PT*) Taitotietoon (*TT*) kohdistuva särmä edustaa niitä propositionaalista tietoja, jotka ovat merkittäviä taitotiedon muodostumiselle (mm. Kim ym., 2013). Ne ovat eräänlaisia ajattelun työkaluja (vrt. Dewey, 1938/1997), joiden avulla muodostuu kyky käyttää taitotietoa. Esimerkiksi ristiriidan käsitteen tietäminen voi auttaa loogisessa päättelyssä.

Lähtöjoukon ja tavoitejoukon väliset särmät ovat välttämättömät, sillä sama muuttuja seuraavassa ajankohdassa on riippuvainen edellisen ajankohdan muuttujan arvosta. Ei ole siis sattumanvaraista, mitä yksi ihminen tietää kahdessa toisinaan seuraavassa ajankohdassa. Esimerkiksi vaikka oppija ei oppisi mitään oppitunnilla hän silti sen jälkeen omaa todennäköisesti samat tiedot kuin ennen sitä.

Lähtöjoukon jokaisesta muuttujasta lähtee särmä Motivaatioon (*M*). Nämä särmät viittaavat tilanteisiin, joissa aikaisemmat tiedot vaikuttavat oppijan motivaatioon opiskella. Esimerkiksi tilanteeseen, jossa oppijalla ei ole propositionaalista tietoa liittyen tavoitteeseen  $x$  ja tämä tieto vaikuttaa negatiivisesti hänen motivaatioonsa oppia tavoitteen  $x$  vaatimat asiat. Motivaatiosta (*M*) taas lähtee Oppimistapahtumaan (*O*) särmä, joka kuvaa oppijan affektiivisten vaikutusten vaikutusta oppimiseen ja opiskeluun.

Lähtöjoukon jokaisesta muuttujasta lähtee myös särmä Oppimistapahtumaan (*O*). Nämä särmät edustavat sitä, miten aikaisempi osaaminen vaikuttaa oppijan toimintaan Oppimistapahtumassa (*O*) sekä niihin tilanteisiin, joissa opetusta muokataan oppijan tietoihin sopivaksi. Oppimistapahtumasta (*O*) lähtee särmä tavoitejoukon jokaista muuttujaa kohden. Koska *O* on määritelty sinä tapahtumana, jonka avulla pyritään muuttamaan lähtöjoukko tavoitejoukoksi, *O*:n täytyy välttämättä olla lähtöjoukon ja tavoitejoukon välissä välittävänä muuttujana. Särmä edustaa myös didaktisen tutkimuksen lähtökohtaa: oppimisen kannalta sillä on väliä, miten opetetaan (mm. Lipman, 2003).

Tässä artikkelissa ei tarkastella syvemmin kasvatustieteellisen mittaamisen malleja (mm. Mislevy ym., 2012), vaan oletetaan vain, että kaikki muuttujat ovat periaatteessa mitattavissa koulutuksen kontekstissa. Esimerkiksi Propo-

sitionaalista ( $PT$ ) tietoa voidaan mitata monivalinnoilla, Taitotietoa ( $TT$ ) argumentatiivisilla esseillä, Tuttuustietoa ( $TT$ ) kuvantunnistustehtävillä, Oppimistapahtumaa ( $O$ ) havainnoimalla oppimisympäristöjä ja Motivaatiota ( $M$ ) kyselyillä.

## Riittävän tiedon ongelma

G:n avulla voidaan selittää, mistä riittävän tiedon ongelmassa on kyse: oppija ei voi saavuttaa asetettuja tavoitteita, koska tavoitteena olevien muuttujien vanhemmat eivät ole ottaneet oikeita arvoja. Mallissa G olevien muuttujien kausaaliset vaikutukset tavoitteiden saavuttamiseen voidaan selvittää do-laskennan avulla (Pearl, 2009). Esimerkiksi jos tavoite on  $PT_2 = x$  ja halutaan tietää miten  $PT_1 = y$  ja  $O = o$  vaikuttavat sen saavuttamiseen kausaalisesti voidaan tämä esittää todennäköisyytenä  $P(x | do(y), do(o))$ . Tästä eteenpäin todennäköisyyksillä viitataan hypoteettisten interventioiden avulla saatuihin todennäköisyyksiin, jotka voidaan esittää do-operaattorin avulla. Tällä lähestymistavalla voidaan sulkea pois mahdollisuus, että todennäköisyydet syntyvät mallin ulkopuolelle jääneiden sekoittavien muuttujien vaikutuksesta (esim.  $TU_1 \leftarrow X \rightarrow TU_2$ ).

Riittävän tiedon ongelman ratkaisemiseksi tulee siis löytää muuttujien arvot, joiden avulla todennäköisyys tavoitteen saavuttamiseksi on mahdollisimman suuri. Periaatteessa kaikki mahdolliset ratkaisut (todennäköisyysjakaumat) voidaan selvittää G:n avulla empiirisesti, jos on mahdollista testata interventioiden avulla kaikki mahdolliset vaihtoehdot eri muuttujien arvojen välillä. G:n avulla voidaan myös selvittää, miten ongelmaa tulisi tutkia. Esimerkiksi jos halutaan selvittää lähtöjoukon kausaalinen vaikutus tavoitejoukkoon, niin Motivaatiota ( $M$ ) ei saa vakioida, koska se on välittävä muuttuja lähtöjoukon ja tavoitejoukon välillä.

Keskeistä on huomata, että Oppimistapahtuma ( $O$ ) on jokaisen mahdollisen tavoitteen vanhempi. Tämän vuoksi kaikki mahdolliset tavoitteet ovat riippuvaisia sen arvosta. Käytännössä tämä tarkoittaa, että sitä, miten opetus järjestetään ja sitä, mitä oppitunneilla tapahtuu, ei voi jättää huomioimatta riittävän tiedon ongelman ratkaisemisessa. Usein kasvatustieteellisessä tutkimuksessa  $O$  onkin altiste (eng. *exposure variable*), johon tehtävän intervention vaiku-

tuksia halutaan selvittää (ks. Kvernbekk, 2016; Mikkola ym., 2024). Riittävän tiedon ongelman näkökulmasta merkittävää on myös se, että  $O$  on ainoa muuttuja, jonka arvoa voidaan helposti muokata käytännön opetustyössä.

## Ongelman ratkaiseminen

Yksi merkittävä ongelma riittävän tiedon ongelman ratkaisemiselle on se, että mahdollisia vaihtoehtoja, joiden avulla saavutetaan tavoitteet riittävällä todennäköisyydellä, voi olla lukuisia. Lisäksi kaikkien muuttujien kaikkia arvoja ei voida käytännössä mitata ja havainnoida. Tämän vuoksi tutkimuksessa tulee ensisijaisesti etsiä muuttujien arvoja, jotka kasvattavat todennäköisyyksiä tavoitteiden saavuttamiselle, vaikka ne eivät yksinään olisi riittäviä (vrt. Cartwright, 2019; Kvernbekk, 2016).

Toinen tapa lähteä ratkaisemaan riittävän tiedon ongelmaa on etsiä välttämättömiä arvoja. Eli pyritään löytämään tilanteita, joissa todennäköisyys  $P(\text{Tavoite}) \neq 1$ , kun joku sen vanhemmista ei ota jotain tiettyä arvoa. Esimerkiksi  $P(PT_2 = x | \text{do}(O \neq y)) \neq 1$ . Välttämättömien arvojen löytämistä voidaan pitää merkittävänä askeleina riittävän tiedon ongelman ratkaisemiseksi. Jos tiedämme, että muuttujan  $X$  arvon  $x$  puuttuminen estää tavoitteen  $Z = z$  luotettavan saavuttamisen tulee varmistaa, että  $X = x$  ennen kuin tavoitellaan tavoitteita  $Z = z$ . Esimerkiksi jos oppija ei tiedä, mitä totuus tarkoittaa, voi se tehdä lähes mahdottomaksi oppia asioita, jotka vaativat totuuden käsittelyn ymmärtämistä.

Myös niiden arvojen löytäminen, jotka johtavat tilanteeseen  $P(\text{Tavoite}) = 0$  voidaan pitää merkittävänä. Nämä ovat tilanteita, joissa oppija ei koskaan voi päästä tavoitteeseen ja näin niiden selvittäminen (ja välttäminen) on tärkeää riittävän tiedon ongelman näkökulmasta. Vastaavasti niiden muuttujien arvojen, jotka laskevat todennäköisyyttä saavuttaa tavoitteet voidaan pitää keskeisenä.

Riittävän tiedon ongelman ratkaisemiseksi kunkin tavoitteen kohdalla ei siis tulisi keskittyä vain riittävien lähtötietojen löytämiseen. Ongelman ratkaisemiseksi tulee etsiä tavoitteen  $Z = z$  kannalta (1) riittäviä arvoja, (2) välttämättömiä arvoja, (3) arvoja, jotka estävät  $Z = z$  toteutumisen, (4) arvoja,

jotka kasvattavat todennäköisyyttä  $Z = z$  ja (5) arvoja, jotka laskevat todennäköisyyttä  $Z = z$  (vrt. Kvernbekk, 2016). Koska Oppimistapahtuma ( $O$ ) on kaikkien mahdollisten tavoitteiden vanhempi ja sen arvojen manipulointi käytännön opetuksessa on mahdollista, sen vaikutusta tulisi erityisesti selvittää.

Yllä on käsitelty riittävän tiedon ongelman ratkaisemista empiirisen tutkimuksen avulla, mutta ei suoraan otettu kantaa siihen, voiko ongelman ratkaista analyttisesti käsiteellisen tai loogisen analyysin avulla. Winchin (2013) argumentaatiota seuraten voi kuitenkin todeta, että täydellinen analyttinen ratkaisu, joka ratkaisisi kaikki mahdolliset tilanteet, on mahdoton tätä artikkelia varten luodun kausaalimallin näkökulmasta.

Analyttisen ratkaisun laatiminen vaatisi loogista tai käsiteellistä analyysiä eri tiedonlajien joukkojen välisistä suhteista, niiden vaikutuksesta Motivaatioon ( $M$ ) ja Oppimistapahtumaan ( $O$ ), Motivaation ( $M$ ) vaikutuksesta Oppimistapahtumaan ( $O$ ) ja Oppimistapahtuman ( $O$ ) vaikutuksesta tavoitejoukkoon. Tämä analyysi pitäisi vielä liittää esitettyyn kausaalimalliin  $G$ , jotta voitaisiin saada analyttinen vastaus riittävän tiedon ongelmaan olettaen, että  $G$  pitää paikkansa. Täydellinen analyttinen vastaus vaatisi a priori tietoa  $G$ :n kaikkien muuttujien mahdollisista arvoista ja muuttujien arvojen välisistä vaikutuksista toisiinsa (ts. funktiot, jotka määräävät muuttujien arvot). Koska muuttujien arvot riippuvat ulkoisista muuttujista ( $U$ ) myös näiden mahdolliset arvot ja niiden vaikutukset tulisi tietää. Tämän tason analyysi vaatisi lähes kaikkitietävää analysoijaa. Täydellistä vastausta ei siis käytännössä analyttisesti saavuteta.

Analyttisesti voidaan myös etsiä ratkaisuja joihinkin yksittäisiin riittävän tiedon ongelmiin. Samoin kuin yleisen ratkaisun kanssa, tässä törmätään ongelmaan muuttujien arvojen ja arvoja määrittävien funktioiden tuntemisesta. Lisäksi jos Winchin (2013) argumentti oppialojen loogista tai käsiteellistä rakennetta uusintavaa opetus suunnitelmaa vastaan pitää paikkansa, ei käsiteellinen tai looginen analyysi riitä koskaan ratkaisemaan käytännöstä nousevia tapauksia riittävän tiedon ongelmasta. Esimerkiksi jos loogisesti ja käsiteellisesti perustavanlaatuinen joukko-oppi ei ole kausaalisesti saavutettavissa ennen merkittävää määrää muuta matemaattista osaamista, ei se voi olla lähtöjoukkona ennen näitä, vaikka siitä voisi loogisesti johtaa kaikki muut



matematiikan sisällöt ja tavoitteet. On kuitenkin mahdollista, että loogiset tai käsitteelliset suhteet tavoitteen ja sen vanhempien välillä ovat identtiset kausaalisten suhteiden kanssa. Tämä ei kuitenkaan ole välttämätöntä, kuten edellinen esimerkki osoittaa, joten jokainen tapaus pitää erikseen osoittaa pitäväksi.

Analyyttisen tutkimuksen vahvuutena on lähtöjoukon ja tavoitejoukon muuttujien sisäisten suhteiden analyysi. Kuten aikaisemmin mainittiin, filosofiasa on kiistaa siitä, redusoituvatko eri tiedon lajit toisiinsa ja ovatko ne tosiasiasa käsitteellisesti erilliset. Lähtökohtaisesti muuttujat, joiden välillä on loogisia tai käsitteellisiä yhteyksiä (tai muuttujat, jotka voidaan redusoida loogisesti tai käsitteellisesti toisiinsa) tulisi yhdistää yhdeksi ja samaksi muuttujaksi (Woodward, 2016). Onkin mahdollista esittää kriittinen huomio, että tiedon lajit tulisi yhdistää yksittäiseksi muuttujaksi, joka edustaa tietoa yleisesti. Tiedon kuvaaminen yksittäisenä muuttujana kolmen asemasta ei kuitenkaan kumoaisi tämän artikkelin esitystä. Tällä tavalla vain saataisiin yksinkertaisempi kausaalimalli  $G^*$ , jonka avulla voitaisiin tehdä vastaavat huomiot kuin  $G$ :llä.

Käyttämällä oppiainekohtaista asiantuntijuutta voidaan pyrkiä saavuttamaan analyttisiä ratkaisuja, jotka eivät perustu puhtaaseen loogiseen tai käsitteelliseen analyysiin. Tällöin voidaan muun muassa vedota kokemukseen tiedollisesta noususta asiantuntijuuteen ja tehdä sen pohjalta johtopäätöksiä. Esimerkiksi jos tutkija tietää kokemuksesta, että hän on tietyllä lähtöjoukolla, Motivaatiolla ( $M$ ) ja Oppimistapahtumalla ( $O$ ) saavuttanut jonkun tavoitteen, voidaan olettaa, että ainakaan se ei ole mahdotonta. Koska suorat silmukattomat graafit voivat käsitellä niin yleisiä kuin yksittäisiä kausaaliväitteitä, voidaan mallin avulla käsitellä myös yksittäistapauksista saatua evidenssiä (Pearl, 2009; Woodward, 2003).

Asiantuntijuuteen pohjautuvan lähestymistavan etu on, että se mahdollistaa hypoteesien rakentamisen, joita voidaan testata empiirisessä tutkimuksessa havainnoimalla ja interventoiden avulla. Toisin kuin puhtaasti analyttinen lähestymistapa, se ei myöskään kohtaa Winchin (2013) esittämiä ongelmia opetus suunnitelman rakentamisesta puhtaasti oppiaineiden ja oppialojen loogiselle tai käsitteelliselle perustalle.

## Lopuksi

Riittävän tiedon ongelma on merkittävä ongelma niin opettajan työssä kuin kasvatustieteellisessä tutkimuksessa. Suuren osan ongelmasta muodostaa se, että on vaikeaa selvittää, mitkä seikat vaikuttavat siihen, että oppija ei pysty saavuttamaan annettuja tavoitteita. Ongelman voi kuitenkin määritellä ja esittää kausaalimallin avulla. Tällä tavalla esitettyä ongelman empiiriselle, analyttiselle ja asiantuntemukseen perustuvalla tutkimuksella voidaan asettaa selkeät tavoitteet.

Ongelman tarkempi analyysi kausaalimallin G avulla paljastaa, että sitä miten oppiminen käytännössä järjestetään ei voi erottaa ongelman ratkaisusta. Koska Oppimistilanne (*O*) on jokaisen mahdollisen tiedollisen tavoitteen vanhempi formaalissa opetuksessa, sillä on aina kausaalinen vaikutus siihen, millä todennäköisyydellä tavoitteet saavutetaan. Näin ollen pelkkien riittävien lähtötietojen etsiminen ei ole hedelmällistä ongelman ratkaisemiseksi.

Jos vielä lopuksi palataan Winchin (2013) ajatukseen pedagogisesti sopivasta opetussuunnitelmasta ja tiedollisesta noususta, voidaan G:n avulla esittää kausaalinen tulkinta näistä. Opetussuunnitelman tulisi siis olla sellainen, että sen sisäisen hierarkian kaikki tavoitteet on järjestetty kausaalisesti niin, että tavoitteesta toiseen voidaan siirtyä riittävällä todennäköisyydellä. Koska Oppimistapahtuma (*O*) on jokaisen mahdollisen tavoitteen vanhempi, se sijaitsee jokaisen mahdollisen tavoiteparin välissä. Täten opetussuunnitelmia tehdessä tulee ottaa kantaa siihen, mikä on se tapahtuma, jonka avulla tavoitteesta A päästään tavoitteeseen B. Käytännössä tämä tarkoittaa, että opetussuunnitelmassa tulee ottaa kantaa siihen, miten opetetaan ja opitaan.

## Lähdeluettelo

- Aguilar, J. H., & Buckareff, A. A. (Toim.). (2010). *Causing human actions: New perspectives on the causal theory of action*. MIT Press.
- Cartwright, N. (2019). What is meant by “rigour” in evidence-based educational policy and what’s so good about it? *Educational Research and Evaluation: An International Journal on Theory and Practice*, 25(1–2), 63–80. <https://doi.org/10.1080/13803611.2019.1617990>
- Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Ryan, R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 325–346. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653137>
- Dewey, J. (1997). *Experience and education* (Reprint edition). Free Press. (Julkaistu alunperin 1938)
- Duncan, M. (2021). Acquaintance. *Philosophy Compass*, 16(3). <https://doi.org/10.1111/phc3.12727>
- Hirst, P. H. (2010). Liberal education and the nature of knowledge. Teoksessa R. F. Dearden, P. H. Hirst, & R. S. Peters (Toim.), *Education and the Development of Reason (International Library of the Philosophy of Education Volume 8)* (ss. 291–308). Routledge. (Julkaistu alunperin 1965)
- Hudson, B., Gericke, N., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2023). Trajectories of powerful knowledge and epistemic quality: Analysing the transformations from disciplines across school subjects. *Journal of Curriculum Studies*, 55(2), 119–137. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2182164>
- Kim, J. W., Ritter, F. E., & Koubek, R. J. (2013). An integrated theory for improved skill acquisition and retention in the three stages of learning. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 14(1), 22–37. <https://doi.org/10.1080/1464536X.2011.573008>
- Kitto, K., Hicks, B., & Buckingham Shum, S. (2023). Using causal models to bridge the divide between big data and educational theory. *British Journal of Educational Technology: Journal of the Council for Educational Technology*, 54(5). <https://doi.org/10.1111/bjet.13321>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom’s taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. [https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104\\_2](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2)
- Kuorikoski, J. (2018). Kausaalisen järkeilyn perusteet. Teoksessa T. Kaidesoja, T. Kankainen, & P. Ylikoski (Toim.), *Systä selityksiin: Kausaalisuus ja selittäminen yhteiskuntatieteissä* (ss. 55–83). Gaudeamus.

- Kvernbekk, T. (2016). *Evidence-based practice in education: Functions of evidence and causal presuppositions*. Routledge.
- Lipman, M. (2003). *Thinking in education* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- McPhail, G. (2021). The search for deep learning: A curriculum coherence model. *Journal of Curriculum Studies*, 53(4), 420–434. <https://doi.org/10.1080/00220272.2020.1748231>
- Mikkola, E. J. A., Perälä, M., Hotulainen, R., Salmenkivi, E., & Kallioniemi, A. (2024). Causal variables in the community of inquiry: Creating a directed acyclic graph of the effectiveness of the Philosophy for Children program. *International Journal of Educational Research*, 127, 102414. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102414>
- Mislevy, R. J., Behrens, J. T., Dicerbo, K. E., & Levy, R. (2012). Design and discovery in educational assessment: Evidence-centered design, psychometrics, and educational data mining. *Journal of Educational Data Mining*, 4(1), 11–48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3554641>
- Moser, P. K. (1987). Propositional knowledge. *Philosophical Studies: An International Journal for Philosophy in the Analytic Tradition*, 52(1), 91–114. <http://www.jstor.org/stable/4319906>
- Niemelä, M. A. (2021). Crossing curricular boundaries for powerful knowledge. *The Curriculum Journal*, 32(2), 359–375. <https://doi.org/10.1002/curj.77>
- Opetushallitus (2019). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019*. Opetushallitus.
- Pearl, J., & Mackenzie, D. (2018). *The book of why: The new science of cause and effect*. Basic Books.
- Pearl, J. (1995). Causal diagrams for empirical research. *Biometrika*, 82(4), 669–688. <https://doi.org/10.2307/2337329>
- Pearl, J. (2009). *Causality*. Cambridge University Press.
- Platon (2005). *Meno and other dialogues: Charmides, Laches, Lysis, Meno*. Oxford University Press.
- Russell, B. (2001). *The problems of philosophy*. Oxford University Press. (Julkaisu alunperin 1912)
- Ryle, G. (2009). *The concept of mind: 60th anniversary edition*. Routledge. (Julkaisu alunperin 1949)
- Stanley, J., & Williamson, T. (2001). Knowing how. *The Journal of Philosophy*, 98(8), 411–444. <https://doi.org/10.2307/2678403>

- Tikka, S., Helske, J., & Karvanen, J. (2023). Clustering and structural robustness in causal diagrams. *Journal of Machine Learning Research: JMLR*, 24(195), 1–32. <https://jmlr.org/papers/v24/21-1322.html>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Winch, C. (2013). Curriculum design and epistemic ascent. *Journal of Philosophy of Education*, 47(1), 128–146. <https://doi.org/10.1111/1467-9752.12006>
- Winch, C. (2023). Subjects, disciplines, and practices. *Journal of Philosophy of Education*, 57(1), 149–163. <https://doi.org/10.1093/jopedu/qhad015>
- Woodward, J. (2003). *Making things happen: A theory of causal explanation*. Oxford University Press.
- Woodward, J. (2016). The problem of variable choice. *Synthese*, 193(4), 1047–1072. <https://doi.org/10.1007/s11229-015-0810-5>
- Woodward, J. (2022). Modeling interventions in multi-level causal systems: Supervenience, exclusion and underdetermination. *European Journal for Philosophy of Science*, 12(4), 59. <https://doi.org/10.1007/s13194-022-00486-6>
- Young, M., & Muller, J. (2013). On the powers of powerful knowledge. *Review of Education*, 1(3), 229–250. <https://doi.org/10.1002/rev3.3017>
- Young, M., & Muller, J. (2015). *Curriculum and the specialization of knowledge: Studies in the sociology of education*. Routledge.