

Rakennetun ympäristön sisältämät materiaalit ja niiden virrat:

Katsaus menetelmiin ja aineistoihin yhdyskuntasuunnittelun näkökulmasta

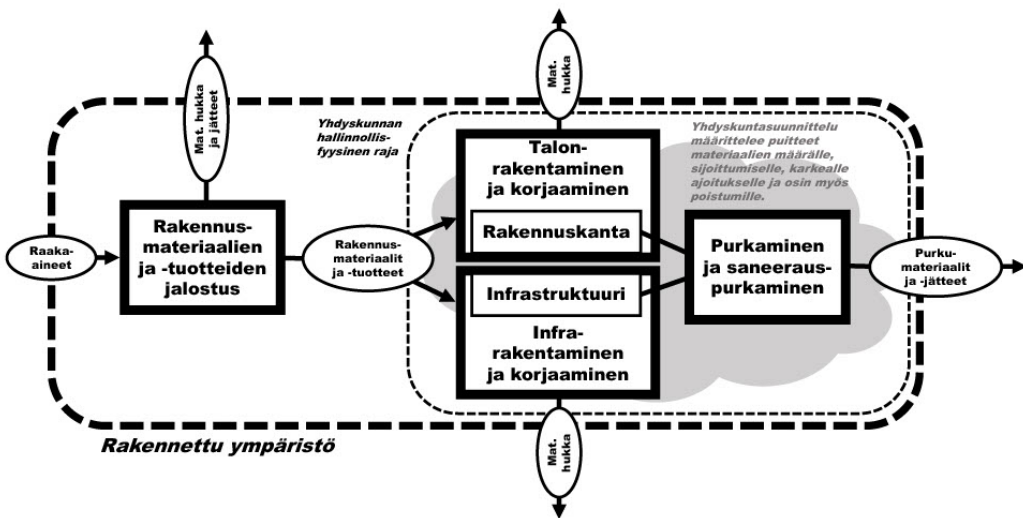
Satu Huuhka, Arto Köliö, Pirjo Kuula & Jukka Lahdensivu

Ilmastokriisin myötä kestävä kehityksen vaatimukset tuovat uudenlaisia tehtäviä yhdyskuntasuunnitteluun. Viihtyisän ja toimivan ympäristön luomisen ohella yhä tärkeämmiksi näkökulmiksi nousevat yhdyskuntarakentamisen materiaalien käyttö sekä sen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt, niin sanotut tuotesidonnaiset päästöt (engl. embodied carbon). Tässä artikkelissa esitetään katsaus menetelmiin ja suomalaisiin aineistoihin, joilla rakennetun ympäristön sisältämiä materiaaleja ja niiden virtoja voidaan kartoittaa. Vaikka käytännön yhdyskuntasuunnittelussa itse materiaalikanta- ja virta-analyysit hankittaisiinkin niihin erikoistuneilta konsulteilta, on tilaajalla oltava perustason ymmärrys analyysimenetelmistä ja niiden vaatimista aineistoista, jotta näitä selvityksiä voidaan onnistuneesti hankkia.

Avainsanat: kestävä kehitys, yhdyskuntasuunnittelu, urbaani metabolismi, metodologia, materiaalivirta-analyysi

Johdanto ja tausta

Tämän katsauksen tarkoitus on esitellä kysymys rakennetun ympäristön materiaalikartoituksista suomalaisille yhdyskuntasuunnittelun ja -tutkimuksen kentällä toimiville tutkijoille ja ammatinharjoittajille. Materiaalikaanta- ja virta-analyysit (engl. Material Stock and Flow Analyses, MSFA) ovat menetelmänä peräisin ympäristötekniikasta, jossa niitä sovelletaan mm. erilaisten tuotteiden tuotantoprosessien materiaali- ja ympäristövaikutusten ymmärtämiseksi. Rakennusmateriaalien kannat ja virrat (Kuva 1) voidaan kuitenkin nähdä osana verkkokaupungin urbaania metabolismia siinä missä vaikkapa liikennevirratkin (Oswald ja Baccini, 2003). Yhdyskuntasuunnittelu tuottaa rakennusmateriaalivirtoja välillisesti, tarjoamalla puitteet rakentamiselle. Ne realisoituvat vasta infrastruktuuria ja rakennuksia rakennettaessa, mutta jo yhdyskuntasuunnittelussa ratkaistaan materiaalien sijoittuminen, määrä ja karkea ajoitus periaatteellisella tasolla. Yhdyskuntasuunnittelun valinnoilla – esimerkiksi sillä, toteutetaanko kaupungin kasvua ensisijaisesti uusien alueiden perustamisen, jo rakennettujen alueiden purkavan uudisrakentamisen vai jo rakennettujen alueiden täydentämisen ja vajaakäyttöisen rakennuskannan kehittämisen avulla – on erilaisia materiaali vaikutuksia sekä materiaalisidonnaisia päästövaikutuksia (Kolkwitz ym., 2023).



KUVA 1 Rakennetun ympäristön systeemi materiaalikanta- ja virta-analyysien näkökulmasta.

Monet suomalaiset kaupungit ovat linjanneet strategioissaan tavoittele- vana kestävästä kaupunkikehitystä. Toistaiseksi kaupungit ovat kuitenkin kes- kittyneet lähinnä rajojensa sisällä tapahtuvaan toimintaan ja laiminlyöneet ne ympäristövaikutukset, jotka syntyvät kaupungeissa tapahtuvan kulutuk- sen vaikutuksesta (Ala-Mantila ym., 2022). Tilanne on jossain määrin verrannol- linen yritysten ympäristövaikutusten raportointiin, jossa osa yrityksistä on keskittynyt vain oman suoran toimintansa päästöihin ja jättänyt huomiotta hankkimiensa raaka-aineiden ja myymiensä tuotteiden tai palvelujen aihe- uttamat välilliset päästöt (esim. Finnwatch, 2023). Kaupunkien välillisiin ympä- ristövaikutuksiin lukeutuvat myös rakennusmateriaalien kaivu, korjuu ja jalostaminen kaupunkirakentamisen tarpeeseen, vaikka ne tapahtuvat tyy- pillisesti kaupunkien ulkopuolella. Puute on merkittävä, sillä esimerkiksi Ala- Mantilan ym. (2022) viittaaman Amsterdamin globaalien päästöjen analyysin mukaan yli 60 % kaupungin päästöistä syntyy muualla kuin Amsterdamissa, mm. kaupungissa käytettävien rakennusmateriaalien valmistamiseksi. Ala- Mantila ym. (2022) tarjoavatkin viitekehikseksi kaupungistumisen epäsuorista ekologisista vaikutuksista keskustelemiseen on tarjottu urbaanin metabolis- min rinnalla ”planetaarisen kaupungistumisen” käsitettä, joka kytkee yhteen (lineaari)talouden, kyseisen taloudellisen toiminnan tilalliset vaikutukset niin kaupungeissa kuin niiden ulkopuolella sekä energian ja materian kier- rot luonnon ja yhteiskunnan välillä (vrt. Kuvaan 1). He esittävät, että kaupun- kien tulisi ottaa kulutuksesta aiheutuvat ympäristövaikutukset paremmin huomioon kehittämisessään ja alkaa paitsi mitata materiaalivirtojaan, myös pyrkiä määrätietoisesti pienentämään niitä. Myös Jaakonaho (2021) on nähnyt materiaalihokkuuden keskeisenä resurssiviisuaan kaupungin ulottuvuutena. Materiaalivirta-analyysille onkin ennakoitu keskeistä roolia tulevaisuuden päästö- ja materiaali-vaikutustietoisessa yhdyskuntasuunnittelussa (Huuhka ja Kolkwitz, 2021). Kokonaisvaltaisen kestävyuden tavoittelu edellyttää kuitenkin nykyiseen nähden uudenlaista tietopohjaa (Ala-Mantila ym., 2022).

Nyt käsillä olevassa artikkelissa systematisoidaan rakennetun ympäristön materiaalivirta- ja kanta-analyysihin käytettävissä olevat menetelmät, käy- dään läpi menetelmien peruspiirteet ja aineistovaatimukset sekä kartoitetaan käytettävissä olevat suomalaiset aineistot. Artikkelin perustuu kirjoittajien osuuteen ympäristöministeriön toistaiseksi julkaisemattomassa tilaustyöstä (Pesu ym., 2020). Kansainvälisessä tutkimuskentässä rakennetun ympäristön materiaaleja on kartoitettu ympäristötekniikkaan liittyvällä teollisen ekolo- gian (engl. industrial ecology) tieteenalalla muutaman kymmenen vuoden ajan. Muun muassa Augiseau ja Barles (2016), Lanau ym. (2019) sekä Müller ym. (2014) ovat tehneet laajat koosteet käytössä olevista menetelmistä ja kuvanneet

tiivisti niiden aineistovaatimuksia. Mainitut tutkimukset ovat käyneet läpi 31, 249 ja 60 tutkimusjulkaisua vuodesta 1985 alkaen. Tämän artikkelin katsaus menetelmistä perustuu näiden lähteiden syntetisointiin (jolloin niihin ei tästä eteenpäin erikseen viitata) sekä tarkempaan tutustumiseen niiden lähdeluetteloista valikoituihin keskeisiin tutkimuksiin (joihin viitataan erikseen). Lisäksi esimerkkeinä esille tuodaan suomalaisia tutkimuksia menetelmien käytöstä rakennetussa ympäristössä.

Materiaalivirrat voivat olla hyvin paikkasidonnaisia. Esimerkiksi Tampereen ja Vantaan muutosdynamiikat ja sitä myöten materiaalivirrat poikkeavat toisistaan huomattavasti, vaikka kaupungit ovat lähes samankokoisia (Huuhka ja Kolkwitz, 2021; Kolkwitz ym., 2023). Koska tietystä kontekstista saadut tutkimustulokset eivät välttämättä päde toisessa, artikkelissa on kartoitettu myös esitellyille menetelmille soveltuvia suomalaisia aineistoja. Niitä on pyritty tunnistamaan laajasti keskittyen erityisesti valtakunnallisesti saatavilla oleviin aineistoihin. Aineistoja kokoavat taulukot eivät kuitenkaan todennäköisesti ole kaikenkattavia, erityisesti mitä maantieteellisesti tai temaattisesti suppeammasta aineistosta on kysymys. Luonnollisesti myös uusia aineistoja ilmestyy jatkuvasti ja aikaisemmin suljettuja avataan vapaaseen käyttöön.

Yleistä menetelmistä

Rakennetun ympäristön materiaalien kartoitusta voidaan lähestyä kahdella tavalla:

1. tarkastelemalla rakennuksiin ja infrastruktuuriin sisältyviä materiaaleja (materiaalikantoja), tai
2. tarkastelemalla niihin saapuvien ja niistä poistuvien materiaalien virtoja.

Kysymystä lähestytään artikkelissa tämän jaon perusteella, vaikka yhdyskuntasuunnittelun näkökulmasta tarkastelun mielenkiinto kohdistunee yhtäaikaaisesti molempiin. Näin on, koska virtoja koskeva empiirinen aineisto on väistämättä jälkikäteistä, mutta suunnittelualana yhdyskuntasuunnittelun mielenkiinto kohdistuu suunnitelmien vaikutusten ennakointiin. Tietoa rakennusten sisältämisestä materiaaleista tarvitaan esimerkiksi sen arviointiin, kuinka paljon enemmän purkumateriaaleja voidaan odottaa poistuvan rakennuskannasta, mikäli jotakin kaupunginosaa kehitetään täydennysrakentamisen sijasta purkavan uudisrakentamisen avulla. Tällöin tietoa tietyn alueen materiaalikannasta käytetään ennakoimaan suunnitelman seurauksena toteutuvaa virtaa. Rajanveto virtojen ja kantojen välillä ei siis ole

yksiselitteinen, ja myös kartoitukseen käytettävät menetelmät ja tarvittavat aineistot voivat osittain olla samoja. Joltain osin eri menetelmät soveltuvat kuitenkin erilaisten yksiköiden tarkasteluun ja johtavat tarkkuustasoltaan erilaisiin lopputuloksiin.

Tarkastelumenetelmät jaetaan yleensä kahteen tyyppiin sen perusteella, onko tarkastelun lähtötietona yhteenvedoaineistoa (kuten tilastoja) vai yksikkökohtaista aineistoa (kuten rakennuksia tai infrastruktuuria käsitteleviä rekisterejä). Yhteenvedoaineistoja käyttäviä menetelmiä kutsutaan ”ylhäältä alas” -menetelmiksi (engl. top-down). Ne pyrkivät usein hienojakoistamaan ylätasoin tilastotietoa yksityiskohtaisempiin alakategorioihin. Yksikkökohtaisiin aineistoihin perustuvia tarkasteluja kutsutaan puolestaan ”alhaalta ylös” -menetelmiksi (engl. bottom-up). Ne summaavat yhteen tietoa yksiköistä, jotka muodostavat kannan. Kun erilaista rekisteritietoa on enenevässä määrin saatavissa paikkatietona, on tullut mahdolliseksi yhdistää materiaalivaikutukset kaupunkien tilallisiin muutoksiin Ala-Mantilan ym. (2022) peräänkuuluttamalla tavalla. ”Ylhäältä alas”- ja ”alhaalta ylös” -peruslähtökohtia voidaan myös yhdistellä erilaisiksi hybridimenetelmiksi.

Kolmantena perusmenetelmätyyppinä voidaan vielä erottaa matemaattiset mallit, jotka pyrkivät kuvaamaan ilmiötä laskentamallin avulla. Mallien lähtötietoina käytetään tyypillisesti tilastoja ja ennusteita esimerkiksi väestöstä, kansantaloudesta, asumisväljyydestä ja muista muuttujista, joiden oletetaan vaikuttavan rakentamisen ja purkamisen taustalla. Tarkempia, yksikkökohtaisia tietoja voidaan käyttää mallien validointiin ja kalibrointiin, eli varmistamaan mallien riittävä tarkkuus kuvattaessa tutkittavia ilmiöitä. Matemaattiset mallit ovat siinä mielessä mainittuja hybridejä.

Toinen tapa jaotella menetelmiä rakennetun ympäristön materiaalien kartoittamiseen perustuu menetelmien ajalliseen kattavuuteen. Suppeimmat menetelmät ovat staattisia eli tarkastelu on rajoitettu yhteen ajanhetkeen, useimmiten yhteen vuoteen. Dynaamiset tarkastelut kattavat pitemmän ajanjakson. Staattisilla menetelmillä voidaan tehdä dynaamisia tarkasteluja ajassa taaksepäin, mikäli menetelmän vaatimaa lähtöaineistoa on saatavilla aikasarjana. Sen sijaan tulevaisuuden ennustaminen vaatii aina jonkinlaisen matemaattisen mallin käyttöä, paitsi mikäli arvioidaan aiemmin mainitun esimerkin mukaisesti erilaisten rajattujen suunnitelmaluonnosten materiaalivaikutuksia.

Yksinkertaisimmillaan ennustava malli muodostuu oletuksesta, että historiallinen kehitys jatkuu entisen suuntaisena ja suuruisena. Tällainen malli ei ota huomioon mahdollisia muutoksia esimerkiksi talouden tilassa tai väestön kehityksessä, joiden voidaan olettaa vaikuttavan rakentamisen ja purka-

misen määriin. Useisiin muuttujiin perustuvien dynaamisten mallien avulla pyritään tutkimaan edellä mainittujen tekijöiden vaikutusta. Näillä malleilla voidaan tarvittaessa mallintaa myös mennyttä kehitystä, mikäli tarkempaa tietoa ei ole saatavilla esimerkiksi aikasarjoina.

Rakennetun ympäristön sisältämät materiaalit

Olemassa olevaan rakennettuun ympäristöön on sitoutunut merkittäviä määriä luonnonvaroja, joiden rakennustuotteiksi valmistamiseksi on käytetty energiaa, mistä on puolestaan aiheutunut päästöjä. Kun olemassa olevan rakennuskannan ja infrastruktuurin sisältämiin materiaaleihin yhdistetään tietoa näistä niihin sitoutuneista, ns. tuotesidonnaisista hiilidioksidipäästöistä, voidaan yhdyskuntasuunnittelussa arvioida rakennuksia ja infrastruktuuria säästävän yhdyskuntakehittämisen materiaali- ja päästövaikutuksia niiden korvaamiseen tukeutuviin strategioihin verrattuna (ks. rakennusten osalta esim. Huuhka ym., 2021).

Vaihtoehtoisesti rakennuskantaa voidaan pitää myös tulevaisuuden materiaali- tai varaosapankkina, ns. urbaanina kaivoksena. Sen sisältämiä rakennusosia tai raaka-aineita on mahdollista päästä hyödyntämään siinä vaiheessa, kun rakennuksia tai infrastruktuuria puretaan. Tällainen ennakointitieto kiinnostanee esimerkiksi rakennetun ympäristön ”urbaania kaivosta” ”louhivia” kiertotalousyrityksiä tai materiaaliomavaraisuudesta kiinnostuneita kaupunkeja, jotka haluavat kannustaa ko. toimintaan alueellaan.

Ylhäältä alaspäin

Monessa maassa rakennuksista ja infrastruktuurista ei ole olemassa mitään luotettavaa yksikköpohjaista rekisteriä tai rekisterit ovat kuntakohtaisia, jolloin ne ovat hajautuneet monelle toimijalle. Kattavien rekisterien puuttuessa rakennuskannan ja infrastruktuurin koko voidaan pyrkiä määrittelemään välillisesti ylhäältä alaspäin virtojen eli lisäysten ja poistojen erotuksena. Tieto vuotuisen uudisrakentamisen ja purkamisen määrästä voidaan saada joko tilastoista tai niistä voidaan mallintaa arvio matemaattisesti. Koska rakennettu ympäristö on pitkäikäinen hyödyke, yhden vuoden staattinen tarkastelu kertoo lähinnä kannan nettolisäyksestä. Toistamalla staattinen tarkastelu useamman vuosikymmenen kattavalla historiallisella aikasarjalla on kuitenkin mahdollista muodostaa myös kokonaiskuva kannan koosta.

Toisin kuin monessa muussa maassa, Suomessa on olemassa maanlaajuiset ja kattavat yksikköpohjaiset perusrekisterit rakennuksista ja infrastruktuurista. Niiden kokoa ei siis ole välttämätöntä mallintaa ylhäältä alaspäin –menetelmän avulla. Kuitenkin rekisterien tietoja voi olla osin tarpeen täy-

dentää ja tarkentaa mallintamalla tai lisätutkimuksen avulla. Rekistereitä on kuvattu laajemmin seuraavassa luvussa.

Ylhäältä alas -menetelmän pääasiallinen käyttötarkoitus on toistaiseksi ollut tutkia yksittäisten, mahdollisesti haitallisten aineiden esiintymistä esimerkiksi rakennuskannassa tai käyttötavaroissa. Menetelmää on mahdollista soveltaa tietyn rakennusmateriaalin, kuten teräksen tai betonin, käytössä olevan määrän kartoittamiseksi. Esimerkkinä yhteen rakennusmateriaaliin kohdistuvasta yhdyskuntasuunnitteluun kytkeytyvästä intressistä mainittakoon, että Tampereen kaupunki on laskettanut rakennuskantansa hiilivaraston seuratakseen sen muodostamaa hiilinielua (ks. Järventausta, 2019). Ylhäältä alas -menetelmässä kannan lisäykset saadaan esimerkiksi tuotantotilastoista ja poistot jätetilastoista. Haasteena kuitenkin on, että useita materiaaleja käytetään myös muualla kuin rakennetussa ympäristössä. Esimerkiksi teräksestä valmistetaan liikennevälineitä ja laitteita tai puusta paperia, kartonkia, tekstiilejä ja huonekaluja. Lähtötietoina käytettävistä tilastoista ei aina ole eroteltavissa, millä toimialalla materiaali on käytetty, minkä vuoksi analyysit tyypillisesti sisältävät useita sektoreita. Toisaalta tiettyjä materiaaleja voidaan käyttää yksinomaan rakennetussa ympäristössä, mutta sen eri kohteissa. Betoni on esimerkki tällaisesta materiaalista. Sillä ei juurikaan ole sovellutuksia muilla sektoreilla, mutta rakentamisessa sitä käytetään sekä talonrakentamiseen että infrastruktuurin rakentamiseen, eikä tuotantotilastoja ole usein saatavilla lopputuotteen tasolla.

Taulukkoon 1 on kerätty aineistoja, joiden avulla eri materiaalien esiintymistä rakennetussa ympäristössä voitaisiin analysoida ylhäältä alaspäin. Aineistoissa esiintyy myös aukkoja esimerkiksi ajallisen kattavuuden suhteen. Puutteita voidaan pyrkiä paikkaamaan toisten aineistojen avulla. Esimerkiksi Suomen virallisen tilaston teollisuustuotantotietojen aukkoja voitaisiin täydentää teollisuuden etujärjestöjen omilla tilastoilla. Vaikka analyysin lopputuloksena syntyy välillinen arvio kannan koosta, analyysimenetelmässä on pohjimmiltaan kyse materiaalivirta-analyysistä. Tämän vuoksi menetelmä kuvataan tarkemmin materiaalivirtojen yhteydessä seuraavassa pääluvussa.

TAULUKKO 1 Tilastoaineistoja rakennetun ympäristön sisältämien materiaalien kartoitukseen ylhäältä alaspäin.

Aineiston nimi	Huomiot	Omistaja	Saatavuus	Lisätietoja
Suomen virallinen tilasto, teollisuus-tuotanto	Myydyn tuotannon arvo (€) ja määrä (t/kg/m ²) 2000 PRODCOM-nimikkeestä, kokonais-tuotannon määrä (t/kg/m ²) 230 nimikkeestä.	Tilastokeskus	Avoin	https://www.stat.fi/til/tti/index.html http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_teo_tti/statfin_tti_pxt_11b7.px/
Ulkomaankauppa-tilastot	Viennin ja tuonnin arvo (€) 23 TOL-toimialalla. Viennin ja tuonnin arvo (€) ja paljous (erilaisia yksiköitä mm. kg/kpl/m ²) 4 erilaisen tavara-luokituksen (CN, SITC, CPA, BEC) mukaan.	Tulli	Avoin	https://tulli.fi/tilastot http://uljas.tulli.fi/uljas/
Maa-aineslupa- perustuvat maa- ja kivi-aineksen ottamistiedot, NOTTO-järjestelmä	Karttapalvelu, luvan haltijat velvollisia ilmoittamaan vuosittaiset määrät.	Ympäristöministeriö	Sopimuksen mukaan	http://syke.maps.arcgis.com/home/item.html?id=08be7c63d6041ff9b0dbcfadcbafbd2
Teollisuuden etujärjestöjen tilastot	Sisältävät vain jäsenyritysten tuotantotietoja.	RTT, Teräsrakenneyhdistys, Betoni-teollisuus, Metsäteollisuus, INFRA ry	Suljettu	Suoraan teollisuuden etujärjestöiltä
Yritysten omat tilastot	Yrityskohtaisia tietoja.	Yksittäiset yritykset, esim. Finnsementti	Suljettu	Suoraan yrityksistä.
Suomen virallinen tilasto, rakennus- ja asunto-tuotanto	Rakennus- ja asuntotuotanto (aloitetut/valmistuneet/luvat) (m ² /m ³ /kpl).	Tilastokeskus	Avoin	http://www.stat.fi/til/ras/index.html http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_rak_ras/
Suomen virallinen tilasto, jätetilasto	Syntynyt jäte (t) jätelajin (54 lajia) ja toimialan (19, joista yksi rakentaminen) mukaan.	Tilastokeskus	Avoin	https://www.stat.fi/til/jate/ http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ymp_jate/
HSY:n rakennus-jäte-tilasto pk-seudulle	Perustuu mallintamiseen VTT:n mallilla. Laskelmat tehdään noin joka toinen vuosi.	Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY	Sopimuksen mukaan	https://www.hsy.fi/jatteen-ja-kierratys/jatemaarat-ja-kierratysaste/

Alhaalta ylöspäin

Mikäli rakennuksista ja/tai infrastruktuurista, kuten teistä, rautateistä ja silloista, on olemassa luotettava perusrekisteri, voidaan tätä rekisteriä hyödyntää niiden sisältämien materiaalien kartoituksessa. Taulukkoon 2 on koottu tietoa olemassa olevista rakennetun ympäristön rekistereistä Suomessa. Josain tapauksissa tutkimukseen voidaan haluta käyttää itse rekisterien sijasta tilastoaineistoja, jotka summaavat rekisterien tiedot tietyllä maantieteellisellä rajauksella (Taulukko 3).

Perusrekisterien puutteita voidaan pyrkiä täydentämään kartta-, satelliittikuva- tai ilmakehämateriaalien avulla. Esimerkiksi DIGIROAD-tierekisteri ei ole yksityisten osalta täysin kattava, koska se perustuu ilmoittamiseen, vaikka ilmoittaminen onkin periaatteessa pakollista. Taulukkoon 4 on kerätty keskeisimmät paikkatietoaineistot, joilla rekisterien puutteita voitaisiin kompensoida.

Paikkatietoaineistoja on koottu maanlaajuisesti myös Paikkatietoikkuna.fi-palveluun. Aineistoja ei voi ladata palvelusta, vaan niitä voi ainoastaan tarkastella karttapohjalla. Palveluun sisältyvät myös aineistojen metatiedot. Meta-tietoja löytyy laajasti myös Paikkatietohakemisto.fi -palvelusta. Molemmista palveluista saa hyvän käsityksen eri tahojen tuottamista, olemassa olevista aineistoista, joiden ladattavia versioita voi tiedustella suoraan niiden tuottajilta. Vastaavia tietoja löytyy myös Avoindata.fi -palvelusta, joka ei kuitenkaan keskity yksinomaan paikkatietoon.

Hyvätkään perusrekisterit eivät yleensä sisällä tietoa rakennusten tai infrastruktuurin materiaalisällöstä. Tyypillisiä rekisteritietoja ovat rakennuksen, kadun, tien, sillan tai radan tyyppi, rakentamisajankohta ja laajuus. Myös materiaali- tai rakennetietoja voi olla rajoitetusti saatavilla. Esimerkiksi rakennusrekisterien tietokenttiin kuuluvat rungon pääasiallinen rakennusmateriaali ja julkisivumateriaali. Vastaavasti esimerkiksi tierekisterissä esitetään tien leveys ja mahdollisesti asfalttipäällysteen tyyppi. Nämä tiedot eivät vielä kuitenkaan riitä rakennettuun ympäristöön sisältyvien materiaalien määrien arviointiin.

TAULUKKO 2 Rakennetun ympäristön perusrekisterejä.

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus	Lisätietoja
Valtakunnallisen rakennus- ja huoneistorekisteri (RHR)	Teoriassa jokainen rakennus Suomessa omalla tietueellaan, johon liittyy n. 50 erilaista attribuuttia, mm. koordi-naatit, pinta-ala, raken-nusajankohda ja rungon rakennusmateriaali.	Attribuuttien kattavuus vaihtelee. Tiedot luotettavampia uudempien rakennusten osalta. Tietoja voidaan yhdistää muihin rekisterihin mm. kiinteistötunnuksen tai osoitetietojen perusteella.	Digi- ja väestötietovirasto	Maksullinen	https://dvv.fi/kiinteisto-rakennus-ja-paikkatiedot
Pk-seudun seudullinen perusrekisteri SePe	Kiinteistö-, rakennus-, huoneisto-, väestö-, kaavoitus- ja yritystietoja.	Kunnallisista ja valtakunnallisista aineistoista yhdistetty rekisteri, joka kattaa pk-seudun.	HSY	Sopimuksen mukaan	https://www.hsy.fi/ilmanlaatu-ja-ilmasto/paikkatiedot/
Kuntien omat rakennusrekisterit	Kuten valtakunnallinen RHR, mutta kunnan oma vastaava rekisteri.	Teoriassa yhtenevä RHR:n kanssa, käytännössä saattaa olla kattavampi mutta vähemmän tarkka. Voi sisältää rakennelmia.	Kunnat	Koko aineisto sopimuksen mukaan. Karsittu aineisto avoimena datana kunnasta riippuen.	Esimerkkejä: Helsinki, https://kartta.hel.fi/paikkatietohakemisto/?id=286 Tampere, https://data.tampere.fi/data/dataset/tampereen-rakennukset Vantaa, https://hri.fi/data/dataset/vantaan-rakennukset Espoo, https://hri.fi/data/dataset/espoon-rakennukset
Tierekisteri	Pituus, leveys, päällyste.	Vain Väyläviraston tiet (ei katuja, ei yksityisteitä).	Väylävirasto	Sopimuksen mukaan	https://vayla.fi/palveluntuottajat/aineistot/tierekisteri#.XbqgF8RS9PY
DIGIROAD	Tien leveys-, päällyste-, valaistus-, liikenne-määrätiedot. Silta- ja tunnelitiedot	Aineisto kattaa koko Suomen tiestön, ml. kevyen liikenteen väylät ja yksityistiet.	Väylävirasto	Sopimuksen mukaan	https://vayla.fi/vaylista/aineistot/digiroad Väylän julkinen latauspalvelu: https://julkinen.vayla.fi/oskari/
Taitorakennerekisteri	Siltojen pinta-ala, pituus, päärakennusmateriaali, kuntuoluokka.	Vain Väyläviraston sillat (ei katusiltoja, ei yksityisiä siltoja). Korvannut silta-rekisterin v. 2017.	Väylävirasto	Sopimuksen mukaan	https://www.suomi.fi/palvelut/taitorakennerekisteri-vaylavirasto/a5fbb6b3-5fd1-4c26-9b6b-f9fabe84e013
Ratakohteiden hallintasovellus RATKO	Rataomaisuuden ja -infrastruktuurin sähköinen tietopankki. Useita eri alajärjestelmiä, esim. omaisuuden materiaalihallintajärjestelmä RAHTI.	Sisältää poistuneen Rata-purkki-järjestelmän tiedot. Tietoja päivitetään mm. toteutuneiden kunnossapito-toimenpiteiden mukaan.	Väylävirasto	Sopimuksen mukaan	https://vayla.fi/palveluntuottajat/aineistot/ratatiedon-extranet#.XcVrKUGxVaQ https://extranet.vayla.fi/group/extranet/etusivu

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus	Lisätietoja
Patoturvallisuuden tietojärjestelmä	Patoturvallisuuslain mukaiset luokitellut padot, patojen suunnitteluasiakirjat.	Ensisijaisesti patojen turvallisuuden liittyvä rekisteri.	SYKE / Kainuun ELY	Sopimuksen mukaan	https://www.p5.ymparisto.fi/PatoTurva/
VESTY	Ympäristöhallinnon vesistötyötietojärjestelmä.	Sisältää padot, jotka eivät löydy patorekisteristä.	SYKE	Sopimuksen mukaan	https://ckan.ymparisto.fi/dataset/vesistotyot-vesty-vesistohankeet Saatavilla Hertta-järjestelmän kautta: https://www.p2.ymparisto.fi/scripts/kirjauu.asp
Kuntien infra-rakenteet	Sisällöt vaihtelevat kuntakohteisesti.	Saatavissa vain isoimmista kunnista.	Kunnat	Sopimuksen mukaan, osin avoimia	Esim. Helsingin kaupungin ja Uudenmaan tietoja: https://hri.fi/data/group Helsingin kaupungin yleisten alueiden rekisteri, jossa esim. materiaali-, malli- ja luokittelutietoa: https://hri.fi/data/fi/dataset/helsingin-kaupungin-yleisten-alueiden-rekisteri
Vesi- ja viemäri-verkostot	Esim. Tampereella Trimble Nis –karttatietojärjestelmä.	Kaksi- (vanhat johdot) tai kolmiulotteinen (uudet johdot) paikkatieto. Myös kunnossapito- ja korjaustietoja.	Vesihuolto-yhtiöt	Suljettu	Suoraan vesihuoltolaitoksilta. Tampereen tiedot antoi verkostopäällikkö Pekka Laakkonen, Tampereen Vesi.
Valtakunnallinen kaasuverkosto	Verkostotietokanta PIMS, joka sisältää maa- ja biokaasun valtakunnan-verkoston infrastruktuurin.	Verkosto rajoittuu Etelä-Suomeen Tampere-Imatra –linjan eteläpuolelle.	Gasum	Suljettu	Suoraan Gasumilta. Nämä tiedot saatu Gasumin avoimilta verkkosivuilta, sittemmin poistuneelta alisivulta.
Lämpöön liittyvät paikallisverkostot	Esim. Tampereella Trimblen verkkotietojärjestelmä, joka kattaa kaukolämmön, jäähdytyksen ja maakaasun verkot.	Putkien ja laitteiden kolmiulotteinen paikkatieto, putkien tyypit, koot ja rakennusvuodet, kunnossapitotiedot. Tietojen tarkkuudessa alueellisia ja rakennusvuoteen liittyviä eroja.	Lämpö-yhtiöt	Suljettu	Suoraan lämpöyhtiöiltä. Tampereen tiedot antoi energiayksikön johtaja Paavo Knaapi, Tampereen sähkölaitos.
ELVIS	Fingridin valtakunnan kantaverkkojen (110, 220 ja 400 kv) tiedot.	Ei sisällä paikallisverkkoja (20 ja 0,4 kv), niistä ks. alla.	Fingrid	Suljettu	https://www.fingrid.fi/sivut/ajankoh-taista/tiedotteet/2016/fingridin-elvis-hanke-paatokseen/
Sähkön paikallisverkkojärjestelmät	Esim. Tampereella Trimblen verkkotietojärjestelmä, joka sisältää maakaapelien, ilmajohtojen ja muiden komponenttien tiedot.	Verkon osien kolmiulotteinen paikkatieto, käytetyt rakenteet, koot ja rakennusvuodet. Myös kunnossapitotietoja.	Sähkö-verkko-yhtiöt	Suljettu	Suoraan sähköverkkoyhtiöiltä. Tampereen tiedot antoi toimitusjohtaja Marko Lundström, Tampereen Sähköverkko Oy.

TAULUKKO 3 Rakennetun ympäristön tilastoaineistoja.

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus	Lisätietoja
Yhdyskuntarakenteen seuranta järjestelmä YKR	Tilastoruutuihin (250 x 250 m) jaettua aineistoa mm. rakennuksista, väestöstä ja työpaikoista.	Koko Suomen kattava paikkatieto-pohjainen tilastoaineisto, saata-vissa Liiteripalvelusta (ks. alla).	SYKE	Sopimuksen mukaan	https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tieto_yhdyskuntarakenteesta/Yhdyskunta_rakenteen_seurannan_aineistot
Liiteri	Rakennetun ympäristön paikkatieto- ja tilastotietoja usealta tuottajalta.	Tilastot voidaan laskea palvelussa erilaisille hallinnollisille alueille.	SYKE	Sop. mukaan, osin avoin	https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinympariston_tietopalvelu_Liiteri
Suomen virallinen tilasto, rakennukset ja kesämökkit	Rakennusten ja kesämökkien kanta vuoden lopussa.	Ei sisällä maatalous- tai talousrakennuksia.	Tilastokeskus	Avoin	http://www.stat.fi/til/rakke/index.html http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_asu_rakke/
Suomen virallinen tilasto, tietilasto	Tiestön ja liikenteen tila aikasarjoin ja alueittain maanteiden verkolla.	Vuosittain ilmestyvä perustilasto. Traficom ylläpiti tilastoa v. 2018 saakka, minkä jälkeen se siirtyi Tilastokeskukselle.	Tilastokeskus	Avoin	https://www.stat.fi/til/tiet/index.html https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_lii_tiet/ https://www.traficom.fi/fi/tilastot/tietilasto
Suomen virallinen tilasto, rautatietilasto	Rataverkon pituudet jaoteltuna raiteiden määrän, rataluokituksen ja ratojen toiminnallisen luokituksen mukaan. Rataosittain karttamuodossa ratojen pituus, ratojen päällysrakenteen ominaisuudet, sähköistys, tasoristeykset, varoituslaitteet.	Tilaston ylläpito oli Väylävirastolla v. 2018 saakka ja Traficomilla 2018–2020.	Tilastokeskus	Avoin	https://www.stat.fi/til/rtie/index.html https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_lii_rtie_nj/ https://www.traficom.fi/fi/tilastot/suomen-rautatietilasto
Rautateiden verkkoselostus	Ratapituudet, raideliikennepaikat (laiturit), päällysrakenneluokat karttapohjalla (pölkky- ja kiskotyypit, sekä tukikerroksen materiaalit).	Pdf-muotoinen selostus, johon liittyy karttapalvelussa tarkasteltavissa olevaa paikkatietoa. Sisältää valtion ja yksityisten haltijoiden tiedot.	Väylävirasto	Avoin	https://vayla.fi/ammattiliikenne-raiteilla/rautateiden-verkkoselostus#.XcUYUE-GxVaQ https://vayla.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=cbo20470d29e48d0bo263dd043335ac
Vesihuollon tietopalvelu VEETI	Vesihuoltolaitosten ilmoittamia tietoja kootusti koko maasta.	Mm. vesi- ja viemäriverkkojen kokonaispituus materiaalin mukaan kunta- ja maakuntatasolla.	SYKE	Osittain avoin	http://www.ymparisto.fi/vesihuoltolaitokset
Kaukolämpötilasto ja kaukojäähdytystilasto	Kaukolämpö- ja -jäähdytysverkostojen kokonaispituudet.	Tiedot jaoteltu yritysten ja/tai paikkakuntien mukaan.	Energiateollisuus	Avoin	https://energia.fi/julkaisut/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammitus_ja_jaahdytys

TAULUKKO 4 Täydentäviä paikkatietoaineistoja.

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus	Lisätietoja
Maastotietokanta	Kiinteistöt, rakenteet, rakennukset, väylät	Valtakunnallinen aineisto.	Maanmittauslaitos	Avoin	https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/maastotietokanta-0 https://www.paikkatietohakemisto.fi/geonetwork/srv/fin/catalog.search#/metadata/ddad3347-05ca-401a-b746-d883d4110180
Kuntien kanta-kartat	Kiinteistöt, rakenteet, rakennukset, väylät, maanpäälliset johdot	Paikallisia aineistoja.	Kunnat	Sopimuksen mukaan, osittain avoimia.	Esim. Turun kantakartta https://www.paikkatietohakemisto.fi/geonetwork/srv/fin/catalog.search#/metadata/c05e99fe-0318-4f6c-8a0a-1c6d770f31ff
Maanmittauslaitoksen ilmakuvat	Ilmakuvat ja oikaistut ilmakuvat eli ortokuvat.	Valtakunnallinen aineisto. Vastavia paikallisia aineistoja myös kunnilla. Rakennusten laajuustietojen puuttuessa rakennusten piirin ja varjojen pituuden perusteella voidaan määrittellä rakennusten korkeus ja ala.	Maanmittauslaitos	Avoin	https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/ilmakuva
Maankamara	Maa- ja kallioperätiedot, maaperämuodostumat, maakerrosten paksuudet, lidar-aineisto, topografia.	Myös pohjatutkimusrekisterin tietoja, pääosin tie- ja rataverkolla tehtyjä pohjatutkimuksia. Myös kiviainesvarantotietoa. Tarkastelemalla väyliä ja maaperää päällekkäin voidaan tehdä karkeita arvioita perustamistavasta ja rakennepak-suuksista.	Geologian tutkimuskeskus	Avoin	http://gtkdata.gtk.fi/maankamara/
Kuntien johtokartat	Sähkö-, puhelin-, valaistus-, vesi-, viemäri-, kauko-lämpö- ja kaasuverkot johtolajeittain.	Paikallisia aineistoja.	Kunnat	Sopimuksen mukaan, osittain avoimia.	Esim. Espoon johtokartta https://www.espoo.fi/fi/paikkatiedon-ja-karttojen-tuotekuvaukset#section-8308

Kartoitettaessa rakennetun ympäristön materiaaleja alhaalta ylöspäin, perusrekistereihin yhdistetään tietoa rakennusten tai infrastruktuurin yksiköiden tyyppillisistä materiaalisällöistä. Materiaalisältöjen määrittelemiseksi määritellään ensin rakennusten, siltojen, ym. typologia, josta pyritään tunnistamaan tyyppilliset tapaukset. Näiden arkkityyppien materiaalisältö määritellään esimerkiksi tapaustutkimusten avulla. Näin arkkityypeille saadaan materiaalikertoimet, jotka kertovat rakennuksen materiaalisällön esimerkiksi sen pinta-alan funktiona. Tämän jälkeen arkkityyppien materiaalisältö yleistetään koko kantaa koskevaksi kertomalla kannan yksikköjen määrä arkkityyppien materiaalikertoimilla.

Rakennusten tapauksessa typologian lähtökohtana on rakennuksen pääasiallinen käyttötarkoitus. Rakennusrekisterit (ts. Väestörekisterikeskuksen rekisteri ja kuntien omat rekisterit) sisältävät tämän tiedon valmiiksi. Käyttötarkoitusluokitus seuraa Tilastokeskuksen Rakennusluokitusta, johon sisältyy kymmeniä erilaisia käyttötarkoituksia. Materiaalisällöstä kertovan typologian muodostamiseksi käyttötarkoitustypologiaan yhdistetään yleensä rakentamisajankohta ja usein myös rungon rakennusmateriaali. Rakennuksia materiaalisällön perusteella luontevasti erottelevat aikavälit saadaan näin johdettua yleisesti käytössä olleiden rakennustekniikoiden perusteella.

Infrarakenteiden tapauksessa typologian lähtökohtana on esimerkiksi tien, kadun tai radan luokka, joka perustuu liikennemäärään. Luokittelun perusteella voidaan esittää eri luokille tyyppillinen poikkileikkaus materiaalikerrosten paksuuksina, jotka tosin vaihtelevat maaston topografian ja maaperäolosuhteiden perusteella. Kun eri luokkien osuudet koko verkosta tunnetaan, voidaan esittää erittäin karkea arvio materiaalien määrästä.

Taulukkoon 5 on koottu muutamia rakennuksista käytettyjä kohortteja. Niitä on laadittu erityisesti asuinrakennuksista. Tämä johtunee siitä, että asuinrakennukset ovat kohorttien sisällä muodoltaan ja kooltaan melko toisensa kaltaisia, kun taas esimerkiksi liike-, varasto- ja teollisuusrakennukset voivat poiketa toisistaan näiltä ominaisuuksiltaan melkoisesti. Taulukossa on keskitytty rakennustapoihin pohjautuvaan kohorttijakoon. Lisäksi yksinkertaista rakentamisvuosikymmeniä noudattavaa kohorttijakoa on käytetty muutamista julkisista palvelurakennustyypeistä. Tällainen jako on tyyppillinen arkkitehtuuritutkimuksessa (esim. Standertskjöld, 2006, 2008, 2011), eikä se rakennetun ympäristön materiaalikartoitusta palvellakseen välttämättä perustu riittävästi jaettuihin piirteisiin, etenkään harvalukuisempien ja rakennustaiteellisempien rakennustyyppien, kuten kulttuurirakennusten tai kirkkojen, kohdalla (vrt. Museovirasto, n.d. a & b). Taulukkoon 6 on kerätty vastaavasti infrastruktuurin kohortteja.

TAULUKKO 5 Rakennusten kohortteja (erilaisia perusteita).

Rakennustyyppi	Kohortit	Muodostamisen peruste	Lähteet	Saatavuus
Pientalot, puurunkoiset	-1940 1940-	Rungon rakennejärjestelmä	Huuhka ja muut (2018)	Avoin, http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2
Omakoti-, rivi- ja asuinkerrostalot	-1920 1921-1945 1946-1960 1961-1970 1971-1980 1981-1985	Vaipparakenteet ja niiden U-arvot	Ympäristöministeriö (2018), alkuperäislähde Nippala (1988)	Avoin, https://www.ymparisto.fi/download/noname/{A6558C5F-9B2E-40E5-B261-605118163F03}/141252
Asuinkerrostalot, tiili- ja betonirunkoiset	1880-1940 1940-1960 1960-1975 1975-	Arkkitehtuuri ja rakennustekniikka	Neuvonen ja muut (2002), Mäkiö ja muut (1990), Mäkiö ja muut (1994), Neuvonen (2015)	Avoimesti kirjastojen kautta
Asuinkerrostalot, puurunkoiset	-1997 1997-2011 2011-	Palomääräysten sallima suurin rakennuksen kerrosluku	Karjalainen (2021)	Avoin, https://blogs.tuni.fi/arkkilogi/teema2/mita-kuuluu-suomen-puurakentaminen/
Liike- ja muut rakennukset, puurunkoiset	-1960 1960-	Rungon rakennejärjestelmä	Huuhka ja muut (2018)	Avoin, http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2
Koulurakennukset	1950-luku 1960-luku 1970-luku	Arkkitehtuuri ja rakennustekniikka	Museovirasto, Koulurakennus.fi -sivusto	Avoin, http://www.koulurakennus.fi Sisältyy myös Rakennettu hyvinvointi -sivustolle, https://www.rakennetuhyvinvointi.fi/
Terveydenhuoltorakennukset (keskussairaalat, terveyskeskukset, B-mielisairaalat, terveys- ja kunnanlääkäritalot)	Vuosikymmenittäin 1940-luvulta 1990-luvulle	Arkkitehtuuri ja rakennustekniikka	Museovirasto, osa Rakennettu hyvinvointi -sivustoa	Avoin, https://www.rakennetuhyvinvointi.fi/
Valtion virastotalot	Vuosikymmenittäin 1950-luvulta 1980-luvulle	Arkkitehtuuri ja rakennustekniikka	Museovirasto, osa Rakennettu hyvinvointi -sivustoa	Avoin, https://www.rakennetuhyvinvointi.fi/

TAULUKKO 6 Infrastruktuurin kohortteja (erilaisia perusteita).

Infrastruktuurin osa	Kohortit	Muodostamis- peruste	Lähde	Saatavuus
Tierakenteet	1960-	Tyyppi- rakenteet	Tie- ja vesirakennus-hallituksen vuositilastot, osa saatavilla https://www.doria.fi/	Sopimuksen mukaan
Radan alusrakenteet (ratapenger, eristys- ja välikerros)	1890-1960-l. 1960-	Tyypipoikki-leik- kaukset	Saarinen, 2008	Avoin
Radan päällysrakenteet (tukikerros, ratapölyt ja kiskot)	1980-	Tyypipoikki-leik- kaukset, ratatekniset ohjeet	Suomen virallinen tilasto, rautatietilasto (lisätietoja ks. Taulukko 3).	Avoin

Tunnetut kohorttijaot voivat olla hyviä lähtökohtia myös rakennetun ympäristön materiaalien kartoitukseen, mutta niitä ei tule ottaa tähän käyttöön ilman harkintaa. Koska kohorttien aiottu käyttötarkoitus vaikuttaa niiden muodostamisen periaatteisiin, tulee niiden soveltuvuutta materiaali-indikaattorien muodostamiseen tarkastella kriittisesti. Samasta aineistosta voidaan perustellusti muodostaa erilaisia kohortteja; esimerkiksi tilaratkaisujen tai muun arkkitehtonisen ilmaisun perusteella muodostettu kohorttijako voi näyttäytyä erilaisena kuin rakennusteknisiin perustein muodostettu. Lisäksi on erityisesti syytä huomioita, että arkkitehtuuritutkimuksilla on taipumus keskittyä rakennuskannan tyyppillisten piirteiden sijaan arkkitehtonisesti korkeatasoisimpiin merkkirakennuksiin, joiden piirteet eivät välttämättä edusta tavanomaista rakentamistapaa.

Materiaali-indikaattorien luomiseksi kohorttien sisältä valitaan edustavat arkkityyppiset rakennukset, joiden materiaalisältö analysoidaan ja määritellään (esim. X kg alumiinia / kem²). Sen jälkeen se yleistetään koskemaan koko kohorttia. Arkkityyppisten rakennusten tunnistaminen perustuu yleensä ammattilaismielipiteeseen. Tunnistamisen apuna on kuitenkin mahdollista käyttää aineistopohjaisia menetelmiä, joissa arkkityypin määrittely perustuu todellisten rakennusten vertailuun (ks. esim. Huuhka ym., 2015; Kaasalainen & Huuhka, 2016). Taulukossa 7 on listattu muutamia olemassa olevia aineistoja, joiden perusteella arkkityyppejä voitaisiin muodostaa.

TAULUKKO 7 Arkkityyppien muodostamisessa mahdollisesti hyödyllisiä aineistoja.

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus
Kansallinen betonielementti-systeemi (BES) sekä jatkotutkimus Runko-BES	Elementtirakenteisten asuinkerrostalojen yhdenmukaistettu mittajärjestelmä BES n. v. 1970 lähtien. Tuotanto- ja toimitilarakennusten mittajärjestelmä (Runko-BES) v. 1983 lähtien.	Vuodesta 1968 systemaattisesti toteutettu elementtirakentamista yhtenäistävä kehitystyö.	Suomen betonteollisuuden keskusjärjestö (SBK)	Alkuperäinen raportti SBK (1969). Nykyiset suunnitteluohjeet: www.elementtisuunnittelu.fi
VTT:n rakennejakaumakysely	Eri rakennetyyppien yleisyys toteutetuissa rakennuksissa.	Tieto kerätty kyselyillä uudisrakennuksista 1970-luvulta alkaen n. 2 vuoden välein.	VTT	Sopimuksen mukaan
MuutosMallit / ReUSE-tietokanta	1960-80-lukujen kerrostalojen pohjapiirustuksia sekä niiden mitta- ja määrätietoja	Koottu MuutosMallit- ja ReUSE -projekteissa ARA:n arkistosta, 320 kerrostaloa.	Tampereen yliopisto (TAU)	Sopimuksen mukaan
BEKO-tietokanta	1960-90-l. betonielementti-julkisivujen ja -parvekkeiden eristepaksuudet, ulkokuoret ja pintakäsittelyt	Koottu BEKO -projektissa, kattaa 947 kerrostaloa.	TAU	Sopimuksen mukaan
Jukka Lahdensivun lisensiaattitutkimus	1800-1900-luvun taitteen luonnonkivi- verhotut massiivitiiliseinät, rakennusten määrä ja sijainti, erilaiset rakennetyypit	Koottu pääosin kuntotutkimuksista, kirjallisuudesta ja kenttähavainnoin, sisältää lähes kaikki tyyppin rakennukset (n. 200 kpl).	TAU	Avoin, painettu julkaisu Lahdensivu (2003)
Väyläviraston piirustusarkistot	Eri-ikäisten tierakenteiden suunnitelma-asiakirjoja	Suunnitelmat eivät aina vastaa toteutusta eivätkä esim. korjattua tieosaa.	Väylävirasto	Sopimuksen mukaan
Suunnittelunormit ja ohjeet	Eri aikakausien rakentamis-määräykset ja -ohjeet, mm. RT-kortit, ARA:n ohjeet, jne.	Käytännössä ratkaisuja ei ole aina toteutettu ohjeiden mukaisesti.	Rakennustietosäätiö, ARA, ym.	Avoimesti kirjastojen kautta

Materiaalisältö voidaan kartoittaa todellisten purkukohteiden perusteella tapaustutkimuksena tai purkajien kokemuksiin perustuen, rakennustutkimuksiin, -määräyksiin ja rakennusalan ammattilaisten haastatteluihin pohjautuen, tai tietomallintamalla arkkityyppinen rakennus. Arkkityyppisten rakennusten tunnistamiseen ja materiaalisältöjen kartoittamiseen voidaan osin käyttää samoja aineistoja. Mikäli materiaalisältö perustetaan arkkityyppiin rakennuksiin, voivat aineistot olla osin samoja kuin Taulukossa 7. Taulukossa 8 on annettu mahdollisia muita lähteitä, joista saattaa olla hyötyä myös arkkityyppien muodostamisessa. Taulukko 9 kokoaa tietoa tapauksista, joiden materiaalisältö tunnetaan jo. Nämä ovat pääsääntöisesti yksittäistapauksia, joiden tyyppillisyyttä ei ole varmennettu tutkimuksellisesti. Vastikään on kuitenkin julkaistu myös ensimmäinen asuinrakennuksiin keskittyvä suomalainen tietokanta rakennusten materiaalisällöstä (Kaasalainen ym., 2023a, ks. myös aineiston kuvailuartikkeli Kaasalainen ym., 2023b).

TAULUKKO 8 Muita aineistoja materiaalisällön määrittämiseksi.

Aineiston nimi	Aineiston sisältö	Omistaja	Saatavuus
Määräluettelot	Uudisrakennusurakkaa varten laaditut laskelmat hankittavien materiaalien määristä	Määrälaskijat, esim. Lah-tinen & Rantala, raken-nusliikkeet	Suljettu
Purku-katsel-mukset	Purku-urakkaa ja jäteraportointia varten laaditut laskelmat purkujätteiden laadusta ja määrästä	Purkuliikkeet, katsel-muksia laativat konsultit	Suljettu
Jätteiden siirtoasia-kirjat	Jätteiden siirtoa varten laadittu karkea tieto jätekuorman sisällöstä	Purkuliikkeet ja jätteen-käsittelylaitokset	Suljettu, viranomai-sen saatavilla
Piirustus-aineistot	Arkistoidut suunnitelma-asiakirjat uudisra-kennuksista ja merkittävistä muutostöistä	Rakennusvalvontojen arkistot, ARAn arkisto, Kansallisarkisto, ym.	Avoimia, kopiot mak-sullisia
Korjaus-rakentamis- ja kiertotalous-kirjallisuus	Tyypillisiä eri aikakausien rakenteita, esim. Mäkiö ja muut (1994) tai Huuhka ja muut (2018). Ei yleensä tietoa ratkaisujen yleisyydestä.	Kustantajat, kirjastot	Avoimesti kirjastojen kautta

Aineiston nimi	Sisältö	Huomiot	Omistaja	Saatavuus
Jälleenrakennus-kauden tyyppi-piirustukset	Rintamamiestalojen materiaalit	Alkuperäiset määräluettelot	Kansallisarkisto	Avoin, ks. esim. http://digi.narc.fi/digi/view.ka?kuid=2077846
Jätemäärien tapaustutkimus, Paulinpolku 1, Lahti	Yhden 1970-luvun asuinkerrostalon materiaalit	Sisältyy julkaisuun Tuominen (2013).	ARA / VTT	Avoin, http://hdl.handle.net/10138/41559
Jätemäärien tapaustutkimus, Jampankaari 6, Järvenpää	Yhden 1970-luvun asuinkerrostalon materiaalit	Sisältyy julkaisemattomaan raporttiin Perälä & Koski (2009).	VTT	Suljettu
Jätemäärien tapaustutkimus, Suokatu 14, Kuopio	Yhden 1960-luvun asuinkerrostalon materiaalit	Sisältyy julkaisemattomaan raporttiin Perälä & Koski (2010).	VTT	Suljettu
Puurakenteiden määrien tapaus-tutkimus, puurak. päiväkoti 1977	Puurakenteiden määrä ja vaurioituinen purkamisessa	Sisältyy julkaisuun Sakaguchi (2014).	Aalto-yliopisto	Avoin, http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201409172618
Eri ikäisten puurakenteisten pientalojen puumäärät	Karkeat arviot, perustuvat mallinnukseen	Sisältyy julkaisemattomaan diplomityöhön Nasiri (2019).	Aalto-yliopisto	Rajoitettu, ks. http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201912016349
2010-luvun rakennusten muovimäärien tapaus-tutkimuksia	10:n 2010-luvun asuinkerrostalon ja 3:n päiväkodin muovimäärät	Suomenkielinen tiivistelmä lähteessä Ympäristöministeriö (2019). Laajemmat tiedot raportissa Häkkinen, Kuittinen & Vares (2019).	YM	Avoin
Muovin määrä julkisissa palvelurakennuksissa	Hoitoalan rakennukset, kokoontumisrakennukset ja opetusrakennukset 1970-, 1980- ja 1990-luvuilta	Raportti Laitinen ja muut (2022). Työhön liittyy myös laskentatyökalu muovien määrän arviointiin.	YM	Raportti avoin. Laskentatyökalun avoimuus ei tiedossa kirjoitushetkellä.
Rakennusosakohtainen materiaali-inventaariotietokanta suomalaisista asuinrakennuksista	45 asuinrakennus-kohorttia (omakotitaloja ja kerrostaloja, eri runko- ja julkisivumateriaaleja) 1940-luvulta 2010-luvulle	Perustuu Vantaan asuinrakennuskantaan	TAU & Aalto-yliopisto	Avoin, https://doi.org/10.5281/zenodo.8219915

Matemaattiset mallit

Rakennettuun ympäristöön sisältyviä materiaaleja mallintavia matemaattisia malleja kutsutaan virtavetoisiksi, koska käytössä olevien materiaalien määrät pyritään kuvaamaan virtojen perusteella. Ylhäältä alas -menetelmien tavoin käytössä olevien materiaalien katsotaan siis muodostuvan rakennettuun ympäristöön saapuvista ja poistuvista materiaaliirroista pitkällä aikavälillä. Mallintamalla näitä virtoja saadaan määriteltyä myös käytössä olevien materiaalien määrä.

Virtavetoiset mallit käyttävät saapuvien virtojen lähtöaineistoina mm. materiaalien tuotanto- ja kuljetustilastoja (ks. Taulukko 1). Tulevaisuutta mallinnettaessa lähtökohtana käytetään näitä tekijöitä koskevia ennusteita. Poistuvien virtojen lähtöaineistot voivat muodostua rakennusten purku- ja korjaustilastoista ja/tai purkujätetilastoista, mutta useimmissa maissa tällaisia tietoja ei tilastoida. Mikäli tilastoja on olemassa, tapahtuu tilastointi usein toiminnan rahallisen arvon mukaan eikä niinkään käytettyjen materiaalmäärien mukaan. Tällöin rahallisten tilastojen translaatio materiaaleiksi vaatii oman menettelynsä. Käytännössä useimmissa virtavetoisissa malleissa poistumatkin mallinnetaan matemaattisesti. Rakennusten purkamiselle käytetään yleensä oletuskäyttöikäfunktioita, ja korjausrakentamisessa tapahtuvalle purkamiselle rakennusosakohtaisia oletuskäyttöikä.

Saapuvat ja poistuvat materiaalivirrat

Rakennettuun ympäristöön sisään ja siitä ulos virtaavia materiaaleja tarkasteltaessa kiinnostuksen kohteena ovat käytettyjen materiaalien sekä syntyvien rakennus- ja purkujätteiden ja kaivumassojen määrät tai näiden ennustaminen. Tyypillisesti materiaalivirta-analyysejä on toistaiseksi käytetty arvioimaan jonkin haitallisen aineen, kuten lyijyn tai PCB:n, kulkeutumista ympäristössä. Menetelmillä voidaan kuitenkin myös esimerkiksi arvioida, kuinka suuri osa neitseellisistä materiaaleista voitaisiin teoriassa korvata jätteistä saatavilla kierrätetyillä raaka-aineilla (vrt. Oswald ja Baccini, 2003). Yhdyskuntasuunnittelussa yksi sovellutus voisikin olla jo aikaisemmin mainitun suunnitteluvaihtoehtojen vaikutusten arvioinnin lisäksi tietyn alueen, esimerkiksi kaupungin, materiaali vaikutusten mittarointi strategisen suunnittelutason tukemiseksi (vrt. Ala-Mantila ym., 2022). Mittaroitavien suureiden perusteella voidaan pyrkiä muodostamaan myös kiertotalousindikaattoreja, jotka kertoisivat yhdyskunnan materiaalien käytön kiertotaloudellisuudesta (ks. esim. Cartwright ym., 2021). Mittaaminen voidaan nähdä ohjaamisen edellytyksenä, ja sen puuttuessa ei ehkä olekaan yllättävää, että kiertotalouskriteerit ovat toistaiseksi olleet harvinaisia asemakaavoissa (ks. Jaakonaho, 2021).

Ylhäältä alaspäin

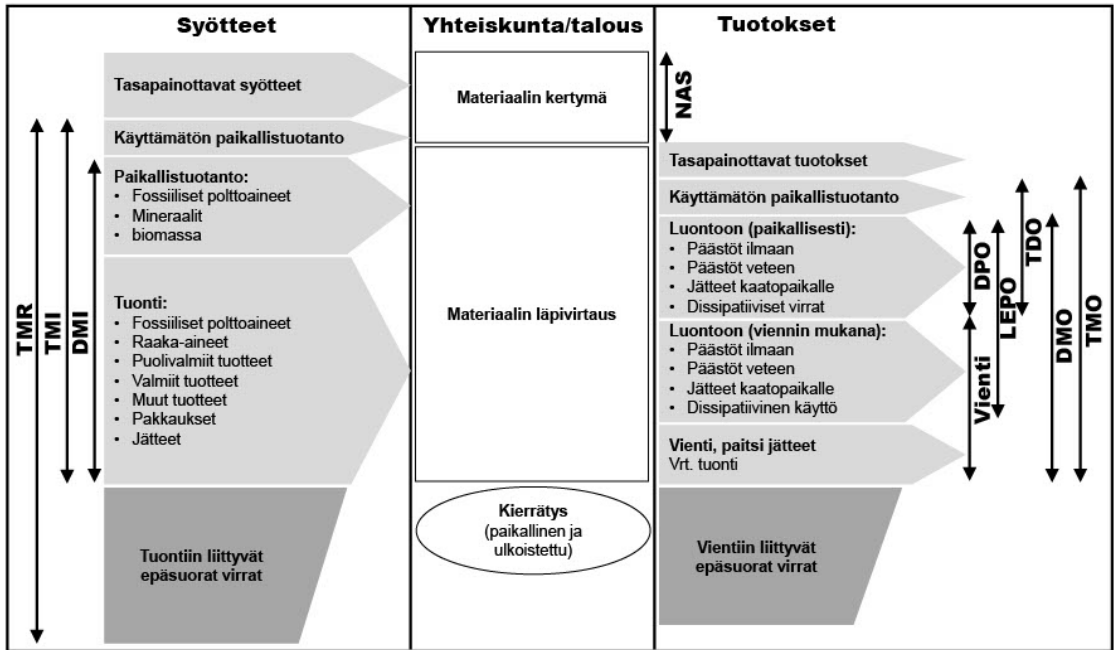
Yksinkertainen materiaalivirtataulukointi edustaa ylhäältä alaspäin -menetelmää virtojen tarkasteluun. Siinä tarkastellaan järjestelmään saapuvia ja siitä poistuvia materiaaleja ilman että järjestelmän sisältämiä materiaalien määriä tai sen sisällä tapahtuvia prosesseja pyritään missään vaiheessa määrittelemään. Tarkastelurajat ovat perinteisesti kokonaiset kansantaloudet ja niiden kokonaisaineenvaihdunnat (engl. economy-wide material flow accounts, EW-MFA) (Eurostat, 2001). Menetelmää voidaan soveltaa myös kansantaloutta pienemmällä maantieteellisellä rajauksella, mistä Barles (2009) on esittänyt esimerkin Pariisin kaupunkiseutua tapaustutkimuksenaan käyttäen.

Menetelmä perustuu siihen, että sen edellyttämiä tietoja tilastoidaan, jonka jälkeen näiden tietojen yhdistelmästä saadaan tuotettua menetelmän määrittelemiä tunnuslukuja. Kuva 2 esittää menetelmän periaatteen. Kyse on pohjimmiltaan tiedonkeruukehikosta, johon tilastoidut tiedot syötetään. Se ei nykyisellään erittele eri rakennusmateriaaleja toisistaan vaan tuottaa tietoa ainoastaan tarkasteltavan alueen kokonaisrakennusmateriaalikulutuksesta.

Karkean tarkastelutason takia menetelmä ei sellaisenaan kovin helposti sovellu rakennetun ympäristön materiaalivaikutusten ohjaamiseen. Soveltaminen rakennettuun ympäristöön voi olla mahdollista, mutta tämä vaatisi menetelmän kehittämistä. Muun muassa tarkasteltava ”systeemi” tulisi määritellä eri tavalla. Tarkasteltavat tilastotiedot olisi määriteltävä rakennetun ympäristön materiaalien näkökulmasta, ja olisi löydettävä keino näiden tietojen tilastoinnin aloittamiseksi halutulla maantieteellisellä rajauksella. Yhdyskuntasuunnittelussa todennäköisimmin tarvittavat rajaukset koostuisivat esimerkiksi eri kaupunkiseuduista, kaupungeista, kaupunginosista tai jopa kaava-alueista. Tietoja rakennus- ja purkumateriaaleista ei Suomessa tilastoida tällaisilla tarkkuuksilla tällä hetkellä, eikä kovin todennäköisesti tulevaisuudessakaan. Mikäli menetelmää on sovellettu eri kaupungeissa, sen avulla voidaan kuitenkin vertailla eri kaupunkien materiaalikulutusta asukasta kohti (ks. Barles, 2009).

Alhaalta ylöspäin

Varsinaisessa materiaalivirta-analyysissä pyritään määrittelemään myös systeemin sisäiset materiaalikierron prosessit sekä näihin haarautuvat materiaalivirrat. Koska määrittely tapahtuu prosessit inventoimalla, on kysymys alhaalta ylöspäin -tarkastelusta. Materiaalivirtojen kokonaisuudet muodostuvat yhteenlasketuista, yksittäisten prosessien sisältämistä virroista. Sisäisten virtojen määrittäminen edellyttää, että eri prosesseihin haarautuvista materiaaleista on saatavissa ainakin karkeita tilastoja tai muita tietoja, joiden

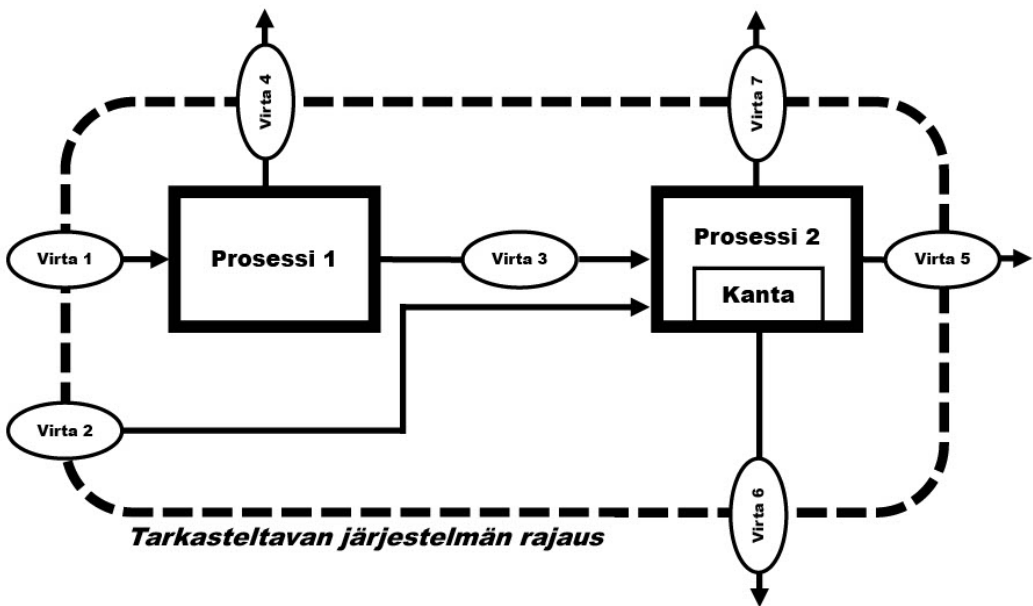


KUVA 2 Materiaalivirtataulukoinnin tiedonkeruun kehys, (muokattu lähteestä Barles [2009], joka soveltaa Eurostatin [2001] menetelmää rakennettuun ympäristöön). Kirjainyhdistelmät edustavat erilaisia tunnuslukuja:

- TMR = total material requirement, kaikki materiaalarve
- TMI = total material input, kaikki materiaalisyöte
- DMI = direct material input, suora materiaalisyöte
- NAS = net addition to stock, kannan nettolisäys
- DPO = domestic processed output, paikallistuotannon poistuma
- LEPO = local and exported processed output, kuten DPO, mutta myös viennin aiheuttama poistuma huomioon ottaen
- TDO = total domestic output, kaikki paikallinen poistuma
- DMO = direct material output, suora materiaalipoistuma
- TMO = total material output, kaikki materiaalipoistuma

perusteella arvio voidaan tehdä. Kuva 3 esittää menetelmän periaatteen. Brunner ja Rechberg (2004) ovat julkaisseet menetelmästä käsikirjan, jossa menetelmä selostetaan vaihe vaiheelta.

Mielenkiinnon kohteena olevalle materiaalille tai ainesosalle määritellään sen kierron kokonaissysteemi, jonka järjestelmärajoiden (engl. system boundary) sisällä analyysi tapahtuu. Tutkittavan systeemin sisältä tunnistetaan ja valitaan keskeisimmät prosessit sekä niihin sisältyvät materiaalien virrat ja kannat tarkempaa selvitystä varten. Prosessit ovat tapahtumaketjuja, jotka koostuvat materiaalin muuntamisesta, varastoinnista ja kuljetuksesta. Analyysi edellyttää prosessi- ja virtakohtaisten materiaali-intensiteettien määrittämistä. Menetelmällä toteutetuille tutkimuksille on toistaiseksi ollut tyypillistä tarkastella yhden materiaalin kokonaismetabolismia kerrallaan. Mahdollisia lähtötietoja näin rajattuihin analyysiin on kartoitettu Taulukkoon 1.



KUVA 3 Alhaalta ylös -materiaalivirta-analyysin peruseriaate (muokattu lähteestä Brunner & Rechberger, 2004, s. 42). Vertaa Kuvaan 1.

Tarkasteltavana järjestelmänä voisi kuitenkin olla myös esimerkiksi kaupunkiseudun tai kaupungin rakennettu ympäristö, talonrakentaminen tai infrarakentaminen. Järjestelmän sisäisiä prosesseja olisivat tällöin esimerkiksi uudisrakentaminen, purkaminen ja korjausrakentaminen, joka paitsi käyttää uusia materiaaleja, myös tuottaa purkumateriaaleja saneerauspurun kautta (vrt. Kuva 1). Mikäli järjestelmän sisäisistä prosesseista ei ole saatavilla valmiita tietoja, voidaan näitä pyrkiä luomaan esim. tapaustutkimuksilla samaan tapaan kuin materiaali-indikaattoreita (ks. edellinen pääluke). Suomessa Kolkwitz ym. (2023) ovat esittäneet Vantaan kaupunkia esimerkkinään käyttäen, että yhdyskuntasuunnitteluun ja kaupunkirakenteen morfologisiin muutoksiin liittyvinä alaprosesseina voitaisiin pitää uusien alueiden perustamista (engl. greenfield development), täydennysrakentamista (infill construction), purkaa uudisrakentamista (replacement) ja kutistumista (shrinkage).

Matemaattiset mallit

Materiaalivirtoja kuvaavia matemaattisia malleja kutsutaan kantavetoisiksi, koska virrat pyritään mallintamaan kantojen perusteella. Rakennuskannassa tapahtuvien ilmiöiden, kuten rakennusten ja rakennusosien vanhenemisen, nähdään siis vaikuttavan materiaalivirtojen syntyyn ja kokoon. Tällaisina voidaan pitää myös väestörakenteen ja asumisväljyyden kaltaisia rakennuskannan käyttöön välillisesti kytkeytyviä ilmiöitä. Väestön rakenteeseen perustuva mallintaminen kykenee ottamaan huomioon mm. muuttoliikkeen, asuntokuntien koon, asumisväljyyden ja talotyypipreferenssit. Tämä edellyttää, että alueelta on käytettävissä väestöennuste. Asumiseen tarvittava tila per henkilö muutetaan materiaalmääräksi rakennustyyppikohtaisten materiaali-intensiteettien avulla. Materiaali-intensiteettejä ei yleisesti ole saatavilla suoraan, vaan ne tulee määritellä esimerkiksi kohortti- ja arkkityyppiajattelun avulla (ks. Taulukot 5–9).

Taulukkoon 10 on koottu erään laajasti käytetyn kantavetoisen mallin (Müller, 2006) käyttämiä aineistoja sekä niiden lähteitä Suomessa. On tärkeä huomata, että väestöön ja asumiseen perustuvia välillisiä muuttujia käyttävät mallit ennustavat yleensä vain asuinrakentamiseen liittyvien materiaalien virtoja. Muulle kuin asuntokannalle olisi määriteltävä omat muuttujansa.

TAULUKKO 10 Aineistoja virtojen mallintamiseen Müllerin (2006) mallia käytettäessä.

Tarvittava aineisto	Saatavuus
Väestö kunnittain	Suomen virallinen tilasto, väestörakenne (https://www.stat.fi/til/vaerak/index.html) ja väestöennuste (http://www.stat.fi/til/vaenn/index.html)
Elämäntapa eli asumisväljyys, hum²/hlö	Suomen virallinen tilasto, asunnot ja asuinolot (https://www.stat.fi/til/asas/index.html). Myös mallinnettuja ennusteita esim. pk-seudulle Ympäristöministeriö (2016).
Asuinrakennusten materiaali-intensiteetti	ks. alla
Asuinrakennuskannan jakautuminen rakennustyypeittäin	Suomen virallinen tilasto, rakennuskanta + tunnetut kohortit. Myös mallinnettuja ennusteita esim. pk-seudulle Ympäristöministeriö (2016).
Rakennustyyppien materiaali-jakauma ja -intensiteetti	Määriteltävä lisätutkimusten avulla (esim. tapaustutkimukset).
Rakennusten käyttöikäjakauma	ks. alla
Keskimääräinen oletuskäyttöikä	Esim. Rakennustieto (2008).
Karkeat mallit	Keskimääräiseen käyttöikään perustuvat tilastolliset mallit, esim. Koskinen (2019).
Materiaalien vaurioitumiseen ja rasiustasoon perustuvat mallit	Tarkin taso, saatavilla yksittäisille materiaaleille. Esim. säärasitetuille teräsbetoni-rakenteille mm. Köliö (2016).

Pohdinta

Aineistojen saatavuus ja laatu

Tämän katsauksen puitteissa ei ole voitu selvittää mahdollisuutta saada pääsyä suljettuihin tilastoihin (ks. Taulukko 1) tai rekistereihin (ks. Taulukko 2) tai tutustua kaikkien avoimien aineistojen sisältöihin niin syvällisesti, että niiden kattavuudesta esimerkiksi ajallisesti tai eri materiaalien tai niiden käyttökohteiden suhteen voitaisiin tehdä luotettavia päätelmiä. Mahdolliset aukot aineistoissa konkretisoituvat, kun materiaalikartoituksiin ryhdytään käytännössä. Tarvittavat kompensoivat aineistot ovat kuitenkin usein suljettuja tilastoja, jotka ovat haasteellisesti esimerkiksi teollisuuden etujärjestöjen tai yksittäisten yritysten hallussa. Aineistot voivat sisältää yritysten kilpailusalaisuutenaan pitämiä tietoja, joten niiden saatavuus tutkimuskäyttöön on todennäköisesti huono. Yhteiskunnan keskeistä infrastruktuuria käsittelevät rekisterit voivat puolestaan olla suljettuja turvallisuuskäyttökohtien vuoksi. Toisaalta viranomaisaineistojen saatavuus yhdyskuntasuunnittelun käyttöön lienee monien suljettujen rekisterien osalta järjestettävissä, jos ja kun työn tekijä tai teettäjäkin on viranomainen (kaavoittaja).

Toisekseen rakennuskannan materiaalien alhaalta ylös -inventoinnin apuna käytettäviä kohortteja, arkkityyppejä ja materiaali-indikaattoreja on toistaiseksi saatavissa lähinnä asuinrakennuksista. Näitä tulisi pyrkiä luomaan johdonmukaisesti myös muille kuin asuinrakennuksille. Puutteen merkitys riippuu arvioinnin kohteesta. Asuinrakennukset muodostavat yleensä enemmistön sekä uusista että olemassa olevista rakennuksista. Kuitenkin puretuista rakennuksista kolme neljäsosaa on muita rakennustyyppiejä (Huuhka ja Lahdensivu, 2016). Indikaattorien muodostamisessa on huomioitava, että asuinrakennusten kohorttien ym. muodostamisen menetelmät eivät välttämättä sovellu luontevasti heterogeenisemmän rakennuskannan osille. Esimerkiksi yksittäisiin tai vain muutamiin case-kohteisiin perustuvat arkkityypit voivat osoittautua liian epäluotettaviksi. Käyttötarkoitukseen, rakennusajankohtaan, kokoon, rakennettuun muotoon ja rakenteisiin perustuvia alakategorioita saatetaan tarvita huomattavasti enemmän kuin asuinrakennuksille. Olemassa olevien arkkityyppien ja materiaali-indikaattorien parantelussa sekä puuttuvien tietojen luomisessa heterogeenisille rakennuskannan osille kannattaa selvittää konenäön ja automaattisen tietojenkäsittelyn mahdollisuuksia, vaikka selkeää esikuvaa tällaiselle ei ole kirjoittajien tiedossa ulkomailtakaan. Uusista rakennuksista tieto voidaan kerätä tietomallin perusteella jo rakennusvaiheessa.

Kolmanneksi, olemassa olevat rakennustiedot vaikuttavat selvästi keskiteytmiltä, kattavammilta ja helpommin täydennettäviltä kuin infrarakenteiden

tiedot. Vaikka rakennustiedotkin ovat erittäin puutteellisia, infrastruktuurille kohortti-, arkkityyppi- ja materiaali-indikaattoritietoja on toistaiseksi määritelty vieläkin vähäisemmässä määrin. Kaupunkien infrarakenteet ja -verkostot muodostavat erityisen haasteen tiedon hajautuneisuuden vuoksi, kun taas valtion teiden ja ratojen määrä- ja materiaalitieto on helpoimmin keskitetysti selvitettävissä. Infrarakenteiden tiedonkeruuta voisi pilotoida esimerkiksi ratarakenteiden materiaalitiedon selvittämiseksi arkkityyppeihin perustuen, alhaalta ylöspäin inventoiden. Lanaun ym. (2019) viittaamien tutkimusten mukaan infrastruktuurin osuus rakennetun ympäristön materiaaleista voi vaihdella 10 ja 40 prosentin välillä ympäristön tiivyydestä riippuen, joten puute voi olla suomalaisissa väljästi toteutetuissa ympäristöissä merkittävä, vaikka suurin osa materiaaleista sijoittunee täälläkin rakennuskantaan.

Materiaalianalyysien käyttö yhdyskuntasuunnittelussa

Mikäli rakennetun ympäristön materiaali-vaikutusten ja niihin liittyvien päästövaikutusten ohjaaminen hyväksytään uudeksi osaksi yhdyskuntasuunnittelun tehtäväkenttää, pohdittavaksi tulee, millä tavalla kaavoituksen eri tasot voivat artikkelissa esitetyjä menetelmiä ja aineistoja käytännössä hyödyntää. Suomalainen kaavoitusjärjestelmä on rakentunut hierarkkisesti siten, että maakuntakaavan tulisi ohjata kuntien yhteisten ja omien yleis- ja osayleiskaavojen laadintaa ja näiden puolestaan edelleen asemakaavojen laadintaa. Kuntien käytettävissä on kaavojen lisäksi myös muita maapolitiikan keinoja, kuten tontinluovutus tai maankäyttösopimukset, joiden käyttömahdollisuuksien pohtiminen jää kuitenkin tämän artikkelin rajauksen ulkopuolelle.

Materiaalivirtatarkastelujen mahdollisuudet lienee helpointa ymmärtää asemakaavatasolla. Asemakaavojakin laaditaan toki monessa mittakaavassa yksittäisten tonttien ns. postimerkkikaavoista kokonaisuun kaupunginosiin – usein teollisuus- tai suurmyymäläkäytöstä poistuneille, käyttötarkoitustaan vaihtaville alueille. Materiaali-vaikutusten ohjaamisen kannalta erityisesti jälkimmäiset voivat olla merkittäviä analyysien käyttökohteita, sillä esimerkiksi Tampereella puolet rakennusten purkamiseen liittyvistä materiaalivirroista tulee tällaisilta alueilta (Huuhka ja Kolkwitz, 2021). Jo aikaisemmin olemme maininneet esimerkin, jonka mukaisesti asemakaavahankkeessa voitaisiin arvioida materiaali-vaikutuksia kahdesta kaavaluonnosvaihtoehdosta, joista toinen pyrkii säilyttämään alueella jo olevaa rakennuskantaa ja toinen lähtee liikkeelle alueen tyhjentämisestä rakennuksista. Kolkwitz (2020, s. 99–111) esittääkin tästä esimerkin Tampereen Kalevan alueelta. Asemakaavoituksen sovel-lutuksissa, joiden maantieteellinen kattavuus on rajattu ja sekä purettavaksi että rakennettavaksi ehdotettujen rakennusten perusominaisuudet (käyttö-

tarkoitus, kerrosluku, kerrosala) tunnetaan, muodostuvia materiaalikantoja ja -virtoja on verrattain yksinkertaista arvioida tällä tavalla alhaalta ylöspäin.

Myös täysin uusien alueiden materiaalivaikutuksia voitaisiin arvioida vastaavasti perustuen erilaisiin luonnoksiin, joissa rakentamisen korkeus ja tiiviys vaihtelevat. Korkeuteen ja tiiviyteen liittyvät periaatteelliset valinnat kuuluvat kuitenkin jo yleiskaavatasolle, jossa määritellään, onko alue esimerkiksi asuinkerrostalojen vai pientalojen alue. Asemakaavatasolla tehdyt materiaalivaikutustarkastelut voivat tällöin antaa suuntaa myös yleiskaavassa tehtäville periaatteellisille valinnoille. Yleis- ja maakuntakaavatasoille ominaisia menetelmävalintoja olisivat kuitenkin ennustavat matemaattiset mallit, sikäli kun kyseessä olisi koko kaava-alueen kattavien suunnitteluvalintojen vaikutusten arviointi. Myös ”ylhäältä alaspäin” -tarkastelut voivat tulla kyseeseen, mikäli kaavoittaja haluaisi ensi alkuun ohjaamisen sijaan lähinnä seurata yhden tai useamman kunnan materiaalien käytön intensiteettiä ja sen kehittymistä. Materiaalivirtojen ohjattavuuden kannalta ylemmillä kaavatasoilla haasteeksi muodostuu niiden tehtävä pitkän aikavälin kehitykseen varautumisessa. Niiden taustalla vaikuttavat erilaiset kehitysennusteet, jotka harvoin toteutuvat sellaisenaan. Näin ollen ko. kaavoillekin on tyypillistä epätäydellinen toteutuminen ja ylimääräinen varautuminen, ns. redundanssi. Kun kaavainstrumentteihin ei kuitenkaan sisälly aikalukkoja alueiden asema-kaavoitukselle ja rakentamiselle avaamiseksi, riskinä on, että kaupunkiseudun materiaalivirtojen minimointi jää tavoitteena jalkoihin seudun kuntien kilpaillessa keskenään yritysten ja asukkaiden sijoittumisesta.

Johtopäätökset

Katsauksen perusteella voidaan todeta, että rakennetun ympäristön sisältämien materiaalien ja siihen saapuvien sekä siitä lähtevien materiaalivirtojen kartoitukseen on käytännössä kolme käyttökelpoista menetelmää:

1. käytössä olevien materiaalien määrien tai materiaalivirtojen matemaattinen mallinnus erilaisten suorien tai välillisten muuttujien avulla,
2. alhaalta ylös materiaalivirta-analyysi, jolla voidaan pyrkiä tunnistamaan virtojen lisäksi rakennetun ympäristön sisältämät materiaalit, ja
3. rakennetun ympäristön sisältämien materiaalien alhaalta ylös -analyysi, joka perustuu kannan yksiköiden ja niiden materiaalien tarkkaan inventointiin.

Ylhäältä alas- ja alhaalta ylös -analyysistä voidaan lisäksi yhdistää hybridi-menetelmiksi, jotka hyödyntävät menetelmien hyviä puolia ja vähentävät

huonojen puolien vaikutusta. Karkeampaa ”ylhäältä alas” -menetelmää pidetään talouden prosessien osalta kattavampana kuin tarkempaa ”alhaalta ylös” -menetelmää, joka saattaa kuitenkin vahingossa jättää jonkin olennaisen materiaalivirran huomiotta. Menetelmiä yhdistettäessä ylhäältä alas -menetelmällä voidaan esimerkiksi saada yläraja ja alhaalta ylös -menetelmällä puolestaan alaraja materiaalien käytölle, totuuden osuessa todennäköisesti jonnekin näiden kahden arvon väliin (ks. esim. Schiller ym., 2017). Menetelmien yhdistelemistä käytetään myös matemaattisissa malleissa, joissa yleispiirteisempää mallia voidaan pyrkiä kalibroimaan yksityiskohtaisemmilla tiedoilla.

Mainittujen menetelmien lisäksi myös ylhäältä alas -materiaalivirtataulukointi saattaa soveltua rakennetun ympäristön materiaalivirtojen kartoitukseen, mutta sen käyttöönotto vaatisi indikaattorien ja tilastoinnin kehittämistä. Sen heikkouksia ovat hyvin karkeat tulokset, joiden avulla ei saada tietoa rakennetun ympäristön sisältämistä materiaalikannoista tai materiaalivirtojen tarkemmasta maantieteellisestä kohdistumisesta rakennettuun ympäristöön. Suomesta on saatavilla aineistoja yllä mainittujen kolmen käyttökelpoisen menetelmän käyttöön ottamiseksi. Tarvittavien aineistojen kattavuudessa ja saatavuudessa esiintyy kuitenkin myös puutteita. Aukot koskevat erityisesti poistumia ja materiaali-indikaattoreja tai -intensiteettejä. Nämä muuttujat tai niitä koskevat mallit ovat pitkälti vielä määrittelemättä, ja niiden selvittämiseksi tarpeelliset tilastot ovat puolestaan usein puutteellisia.

Menetelmistä kaksi ensin mainittua tuottavat huomattavasti karkeampia tuloksia kuin kolmas menetelmä, ja niitä voidaankin arviomme mukaan hyödyntää yhdyskuntasuunnittelussa luontevimmin maakunta- ja yleiskaavoituksessa. Etuna on, että lähtötietokin on karkeaa, jolloin menetelmiä voidaan käyttää silloinkin, kun tarkkaa tietoa ei ole saatavilla tai sen hyödyntäminen ei olisi käytännöllistä. Niillä ei kuitenkaan voida saada tarkkaa tietoa materiaalien sijainnista tai luonteesta. Matemaattisen mallinnuksen vahvuuksia ovat sen verrattain yksinkertainen matemaattinen perusta sekä sen käyttämät yleistä väestönkehitystä ja taloudellista kehitystä koskevat aineistot, joita on yleensä helposti saatavilla erilaisilla maakunta- ja yleiskaavoitukselle olennaisilla aluerajauksilla. Selkeihin etuihin kuuluvat myös soveltuvuus pitkän aikavälin trendien esittämiseen, ennustusvoima yleisen taloudellisen tilanteen tai väestönkehityksen muuttuessa ja mahdollisuus luoda vaihtoehtoisia ennusteita (skenaarioita). Mallien rajoitteisiin kuuluu puolestaan se, että niiden tarkoituksena on tyypillisesti mallintaa vain asuinrakennuskannan sisältämiä materiaaleja. Asuinrakennuskanta on melko homogeenista ja siten helpompaa mallintaa kuin esimerkiksi kaupalliset tai teollisuusrakennukset, jotka voivat olla ominaisuuksiltaan varsin vaihtelevia. Tämä on merkittävä

puute siihen nähden, että Suomessa suurin osa puretuista rakennuksista on muita kuin asuinrakennuksia. Asuinrakennuskannankin mallit huomioivat tyyppillisesti vain rakennusten uudisrakentamisen ja purkamisen, vaikka ”kypsässä” (engl. mature) ja väljässä rakennetussa ympäristössä, jollainen Suomi on, korjausrakentamisen ja infrastruktuurin aiheuttamat materiaalivirrat voivat olla merkittäviä. Lisäksi on huomattava, että mallintamisessa rakennusten ja rakennusosien oletuskäyttöiät perustuvat nimensä mukaisesti oletuksiin, koska niistä ei yleensä ole helposti saatavissa empiiristä dataa. Niihin sisältyy siis nykyisellään huomattavaa epävarmuutta, vaikka ne ovat merkittäviä parametrejä, joiden muutoksilla on suuri vaikutus lopputulokseen.

Matemaattiseen mallintamiseen verrattuna alhaalta ylös -materiaalivirta-analyyseilla on puolestaan omat vahvuutensa. Menetelmän aineistot käsittelevät suurempaan tarkastelun kohteena olevia ilmiöitä ja tarkastelut voidaan kohdistaa mielenkiinnon kohteen tai aineiston saatavuuden mukaan erilaisiin kohteisiin, vaikkapa vain tiettyyn rakennusmateriaaliin. Menetelmällä voidaan myös tarkastella, miten muulla tavoin luodut skenaariot vaikuttavat materiaalien määriin prosessien eri kohdissa. Sekä malleilla että alhaalta ylös -materiaalivirta-analyyseillä voidaan pyrkiä luomaan nopea yleiskuva neitseellisten materiaalien käytöstä ja purkumateriaalien syntymisestä rakennetussa ympäristössä. Materiaalivirrat ja käytössä olevien materiaalien kannat ovat näillä menetelmillä ehkä helpommin ja nopeammin määriteltävissä kuin rakennetun ympäristön sisältämiä materiaaleja alhaalta ylöspäin analysoitaessa, mutta tulosten karkeus rajoittaa niiden käyttömahdollisuuksia. Käytännössä maantieteellisesti koko maata tarkempia tarkasteluja rajoittaa se seikka, että aineistoja – varsinkin materiaalien poistumia eli purkujätetilastoja – ei Suomessa ole yleensä saatavana maakuntien tai kuntien alueilta. Aineistojen puutteita voidaan pyrkiä paikkaamaan matemaattisilla malleilla tai tapaustutkimuksilla, mutta tämä kasvattaa aineistohankinnan vaativuutta.

Asemakaavoituksen ja välillisesti myös yleiskaavoituksen tukena käyttökelpoisin menetelmä lienee rakennetun ympäristön sisältämien materiaalien alhaalta ylös -analyysi, joka perustuu kannan yksiköiden ja niiden materiaalien tarkkaan inventointiin. Samaa menettelyä voidaan soveltaa myös kannasta lähteviin (rakennusten purkaminen, korjausrakentamisen yhteydessä tapahtuva saneerauspurkaminen) ja siihen saapuviin materiaalivirtoihin (uudisrakennukset, rakennuksiin lisättävät uudet materiaalit korjausrakentamisessa). Näin menetellen saadaan tarkinta ja käytännönläheisintä tietoa materiaalien ja rakennusosien sijainnista sekä niiden määrästä ja laadusta. Tätä tietoa voidaan edelleen yhdistää tietoihin rakennusten tuotesidonnaisista päästöistä, mikä mahdollistaa nykyistä huomattavasti resurssi- ja päästötie-

toisemman yhdyskuntasuunnittelun. Suomalaisia esimerkkejä menetelmän tutkimuskäytöstä Tampereen ja Vantaan kaupunkien rakennetussa ympäristössä löytyy julkaisuista Huuhka ja Kolkwitz (2021) sekä Kolkwitz ym. (2023), joskin vielä vailla materiaali- ja päästöindikaattoreita. Menetelmä on tarkka muihin vaihtoehtoihin verrattuna, koska se pohjautuu yksikkökohtaisiin rekistereihin ja arkkityyppisten rakennusten materiaalisällön inventointiin. Käytännössä menetelmä yhdistää inventointia ja mallintamista: rakennuskannasta tai infrastruktuurista inventoidaan rajallinen otos, jonka tulokset yleistetään koko kantaa koskeviksi. Menetelmän avulla on mahdollista saada yksityiskohtaista tietoa materiaalien maantieteellisestä sijainnista, lähteistä (kuten rakennustyypeistä) ja laadusta. Materiaali-indikaattorit voidaan suunnitella kartoituksen tavoitteiden mukaisesti jopa rakennusosa- tai tuotetyyppitasoisiksi. Materiaalien sijainti voidaan tarvittaessa paikantaa kiinteistön tarkkuudella, ja paikkatietopohjaisuus mahdollistaa materiaali-inventaarion yhdistämisen kaupunkisuunnitteluprosesseihin. Myös uuden kaavan tai eri kaavavaihtoehtojen paikalliset vaikutukset materiaalien käyttöönottoon ja jätteiden syntyyn voidaan ennakoida menetelmän avulla. Sen suurimmat heikkoudet liittyvät käyttöönoton työläyteen ja arkkityyppien edustavuuteen liittyvään epävarmuuteen. Arkkityyppien huolelliseen määrittelyyn pitäisi-kin panostaa tutkimusta nykyistä enemmän, ja syntyvät aineistot tulisi avata avoimeen käyttöön. Osa rakennustyypeistä voi myös olla huomattavasti vaikeammin arkkityyppitettäviä kuin asuinrakennukset ovat, mikä lisää menetelmän työntensivisyyttä. Tietotekniikka, automatisointi ja konenäkö voivat tarjota uudenlaisia mahdollisuuksia tämän työn tehostamiseen.

Rakennusmateriaalien käytön ja niiden aiheuttamien päästöjen hallinta lukeutuu ”yhteisen hyvän” edistämiseen, joka on julkisen vallan tehtävä. Mikäli se hyväksytään osaksi yhdyskuntasuunnittelun tehtäväkenttää, tarvitaan Ala-Mantilan ym. (2022) peräänkuuluttamaa uutta tietopohjaa. Tämä artikkeli on tarjonnut katsauksen mahdollisiin menetelmiin ja suomalaisiin aineistoihin, joilla rakennetun ympäristön materiaalisältöjä ja -virtoja voidaan alkaa kartoittaa. Koska materiaalitietojen keruu tapahtuisi ensisijaisesti julkisen vallan käyttöön ympäristötietoista kaavoitusta ja maapolitiikkaa varten, olisi mielestämme luontevaa, että tiedot kerättäisiin julkisiin rekistereihin. Koska materiaalitiedot eivät ole arkaluontoisia, voitaisiin ne mielestämme avata samalla myös laajempaan käyttöön. Huonommin resursoituiden kunnat voisivat tällöin hyötyä paremmin resursoitujen kuntien ja tutkijoiden materiaalikartoituksen saralla tekemästä työstä. Askelia keskitetyn järjestelmän suuntaan on jo otettu perustamalla valtakunnallinen rakennetun ympäristön tietojärjestelmä (Suomen ympäristökeskus [SYKE], n.d.). Tietojärjestelmä tulee korvaa-

maan valtakunnallisen rakennus- ja huoneistorekisterin, ja siihen kerätään jatkossa myös rakennuslupatiedot (SYKE, n.d.), jolloin tiedot uusien rakennusten materiaaleista ja purkumateriaaleista voisivat saapua suoraan järjestelmään osana rakennus- ja purkulupatietoja. Jotta materiaali- ja päästövaikutustietojen käyttö yhdyskuntasuunnittelussa olisi helppoa, olisi materiaali- ja päästöindikaattorien hyvä olla integroitu myös kaavoituksen käytännön apuvälineisiin, kuten kaavoituksen ekolaskuri KEKO:on (ks. SYKE, 2016) ja muihin vastaaviin työkaluihin. Toivomme tämän artikkelin toimivan keskustelun-avauksena materiaali-vaikutusten arvioinnin tarpeesta, roolista ja käytännön toteutuksesta suomalaisessa ympäristötietoisessa yhdyskuntasuunnittelussa.

Lähteet

- Ala-Mantila, S., Hirvilammi, T., Jokela, S., Laine, M. & Weckroth, M.** (2022). Kaupunkien rooli kestävyysmurroksessa: planetaarisen kaupungistumisen ja kaupunkien aineenvaihdon näkökulmat. *Terra*, 134(4), 225–239. <https://doi.org/10.30677/terra.116456>
- Augiseau, V. & Barles, S.** (2016). Studying construction materials flows and stock: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 153–164. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.002>
- Barles, S.** (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology*, 13(6), 898–913. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00169.x>
- Brunner, P.H. & Rechberger, H.** (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. Lontoo: Lewis.
- Cartwright, B., Lowres, F., Turner, E. & Hobbs, G.** (2021). D3.3 Recommendations on circularity indicators for WP 8. Circular Construction in Regenerative Cities (CIRCulT) project. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5de5b4f0d&appId=PPGMS>
- Eurostat.** (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators: A methodological guide*. Luxemburg: European Communities. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-34-00-536>
- Finnwatch.** (2023). Valistuneita arvauksia: Yritysten päästölaskennan ja -raportoinnin puutteet. <https://finnwatch.org/fi/julkaisut/valistuneita-arvauksia>
- Huuhka, S., Kaasalainen, T., Hakanen, J.H. & Lahdensivu, J.** (2015). Reusing concrete panels from buildings for building: Potential in Finnish mass housing. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 105–121. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.05.017>
- Huuhka, S. & Lahdensivu, J.** (2016). A statistical and geographical study on demolished buildings. *Building Research and Information*, 44, 73–96. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.980101>
- Huuhka, S., Köliö, A., Annala, P. & Poti, A.** (2018). Puurakenteiden uudelleenkäyttämömahdollisuudet. *Muuttuva rakennettu ympäristö, julkaisu 4 / Rakennetekniikka, tutkimusraportti 165*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-4075-2>
- Huuhka, S., Vainio, T., Moisio, M., Lampinen, E., Knuutinen, M., Bashmakov, S., Köliö, A., Lahdensivu, J., Ala-Kotila, P., & Lahdenperä, P.** (2021). Purkaa vai korjata? Hiilijalanjälkivaikutukset, elinkaarikustannukset ja ohjauskeinot. *Ympäristöministeriön julkaisu* 2021:9. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-221-1>

- Huuhka, S., & Kolkwitz, M.** (2021). Stocks and Flows of Buildings: Analysis of Existing, Demolished and Constructed Buildings in Tampere, Finland, 2000-2018. *Journal of Industrial Ecology*, 25(4), 948–960. <https://doi.org/10.1111/jiec.13107>
- Häkkinen, T., Kuittinen, M. & Vares, S.** (2019). *Plastics in buildings: A study of Finnish blocks of flats and daycare centres*. Helsinki: Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Plastics+in+buildings+report.pdf/a13799e2-79f8-1d2f-d5eb-70b12fe2ec00/Plastics+in+buildings+report.pdf?t=1681812389727>
- Jaakonaho, M.** (2021). Mitä asemakaava määrää? Resurssi- ja ympäristöasiain osasto Vantaalla vuosina 2015–2019 hyväksytyjen asemakaavojen määräyksissä. *Yhdyskuntasuunnittelu*, 59(2-3), 9–33. <https://doi.org/10.33357/ys.99598>
- Järventausta, A.** (2019). *Tampere laskeutuu puutalojen hiilivaraston määrän*. <https://smartttampere.fi/tampere-laski-puutalojen-hiilivaraston-maaran/>
- Kaasalainen, T. & Huuhka, S.** (2016). Homogenous Homes of Finland: 'Standard' Flats in Non-Standardized Blocks. *Building Research and Information*, 44, 229–247. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.1055168>
- Kaasalainen, T., Kolkwitz, M., Nasiri, B., Huuhka, S., Hughes, M.** (2023a). *Building part specific material inventory dataset for residential buildings in Finland*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7981585>
- Kaasalainen, T., Kolkwitz, M., Nasiri, B., Huuhka, S., & Hughes, M.** (2023b). Material inventory dataset for residential buildings in Finland. *Data in Brief*, 50, 109502. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109502>
- Karjalainen, M.** (3.6.2021). Mitä kuuluu Suomen puurakentaminen? *Arkkiblogi*. <https://blogs.tuni.fi/arkkiblogi/>
- Kolkwitz, M.** (2020). *Tampere Urban Mine. An Analysis of Building Stock, Construction and Demolition 2000–2018*. [diplomityö, Tampereen yliopisto]. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:tuni-202010287600>
- Kolkwitz, M., Luotonen, E., & Huuhka, S.** (2023). How changes in urban morphology translate into urban metabolisms of building stocks: A framework for spatiotemporal material flow analysis and a case study. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 50(6), 1559–1576. <https://doi.org/10.1177/23998083221140892>
- Koskinen, T.** (2019). *Korjaustarpeen määrittely 1960-1975 rakennetuissa asuinkerrostaloissa*. [diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:ttty-201905211700>
- Kölliö, A.** (2016). Propagation of Carbonation Induced Reinforcement Corrosion in Existing Concrete Facades Exposed to the Finnish Climate. [väitöskirja, Tampereen teknillinen yliopisto]. *Tampereen teknillinen yliopisto, julkaisu 1399*. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-15-3800-1>
- Lahdensivu, J.** (2003). Luonnonkiviverhottujen massiivitiiliseinien vaurioituminen ja korjausperiaatteet [lisensiaatintyö, Tampereen teknillinen yliopisto]. *Rakennustekniikan osasto, talonrakennustekniikka, tutkimusraportti 127*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Laitinen, T., Riihimäki, M., Puustelli, J. & Mäkelä, S.** (2022). *Purkumuovien mallintaminen julkisissa palvelurakennuksissa 12/2022*. Muovitiekartta Suomelle. Helsinki: Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/42733297/Purkumuovien+mallintaminen+julkisissa+palvelurakennuksissa.pdf/e298cc47-9aco-5efc-2a66-2de3884fc24c/Purkumuovien+mallintaminen+julkisissa+palvelurakennuksissa.pdf?t=1681811891528>
- Lanau, M., Liu, G., Kral, U., Wiedenhofer, D., Keijzer, E. E. E., Yu, C. & Ehlert, C.** (2019). Taking stock of built environment stock studies: Progress and prospects. *Environmental Science and Technology*, 53(15), 8499–8515. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06652>
- Museovirasto.** (n.d. a). *Kulttuurirakennukset. Tiedon, taiteen ja viihteen tilat*. <https://www.rakennetuhyvinvointi.fi/fi/kulttuurirakennukset>
- Museovirasto.** (n.d. b). *Seurakuntien rakennukset*. <https://www.rakennetuhyvinvointi.fi/fi/seurakuntien-rakennukset>
- Müller, D. B.** (2006). Stock dynamics for forecasting material flows: Case study for housing in The Netherlands. *Ecological Economics*, 59, 142–156. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.09.025>

- Müller, E., Hilty, L.M., Widmer, R., Schlupe, M., Faulstich, M.** (2014). Modeling metal stocks and flows: a review of dynamic material flow analysis methods. *Environmental Science and Technology*, 48: 2102–2113. <https://doi.org/10.1021/es403506a>
- Nasiri, B.** (2019). *Potential cascading of wood from the built environment in Finland* [diplomityö, Aalto-yliopisto].
- Neuvonen, P.** (Ed.). (2015). *Kerrostalot 1975–2000*. Helsinki: Rakennustieto.
- Neuvonen, P., Mäkiö, E. & Malinen, M.** (2002). *Kerrostalot 1880–1940*. Helsinki: Rakennustieto.
- Nippala, E.** (1988). *Asuinrakennusten perusparannustarve ja sen ohjelmointi* [diplomityö, Tampereen teknillinen korkeakoulu].
- Oswald, F. & Baccini, P.** (2003). *Netzstadt: Designing the Urban*. Birkhäuser.
- Perälä, A.-L. & Koski, H.** (2009). *Selvitys Järvenpään kerrostalon Jampankaari 6 purkujätteistä*. VTT Tutkimusraportti 14.10.2019. Tampere: VTT.
- Perälä, A.-L. & Koski, H.** (2010). *Selvitys Kuopion kerrostalon Suokatu 14 purkujätteistä*. VTT Tutkimusraportti 21.1.2010. Tampere: VTT.
- Pesu, J., Nissinen, A., Sederholm, C., Huuhka, S., Köliö, A., Kuula, P., Lahdensivu, J., Hradil, P., Wahlström, M., & Teittinen, T.** (2020). *Rakennettuun ympäristöön sitoutuneet materiaalit ja niiden virrat: kartoittamisen, ennustamisen ja käytön esiselvitys*. [Toistaiseksi julkaisematon ympäristöministeriön raportti].
- Rakennustieto.** (2008). *Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitokajaksot*. RT 18-10922. Helsinki: Rakennustieto.
- Saarinen, M.** (2008). *Ratojen alusrakenteissa käytettyjen materiaalien routimisherkyys*. Ratahallintokeskuksen julkaisuja A 7/2008. Helsinki: Ratahallintokeskus. <https://www.doria.fi/handle/10024/146425>
- Schiller, G., Müller, F. & Ortlepp, R.** (2017). Mapping the Anthropogenic Stock in Germany: Metabolic Evidence for a Circular Economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 123, 93–107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.007>
- Sakaguchi, D.** (2014). *Potential for cascading wood from building* [diplomityö, Aalto-yliopisto]. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201409172618>
- Standertskjöld, E.** (2006). *Arkkitehtuurimme vuosikymmenet 1900–1920*. Helsinki: Rakennustieto.
- Standertskjöld, E.** (2008). *Arkkitehtuurimme vuosikymmenet 1930–1950*. Helsinki: Rakennustieto.
- Standertskjöld, E.** (2011). *Arkkitehtuurimme vuosikymmenet 1960–1980*. Helsinki: Rakennustieto.
- SYKE Suomen ympäristökeskus.** (2016). *KEKO – Kaavoituksen ekolaskuri*. https://www.ymparisto.fi/fi-FI/KEKO_Kaavoituksen_ekolaskuri
- SYKE Suomen ympäristökeskus.** (n.d.). *Rakennetun ympäristön tietojärjestelmä*. <https://ryhti.syke.fi/>
- Tuominen, H.** (2013). *70-luvun vanhusten asuintalon purkuanalyysi*. *Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuksen raportteja 1/2013*. Lahti: Ara. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10138/41559>
- Ympäristöministeriö.** (2016). *Kysyntälähtöinen asuntotuotantotarve Helsingin seudulla 2016–2025*. *Ympäristöministeriön raportteja 24/2016*. Helsinki: Ympäristöministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4628-2>
- Ympäristöministeriö.** (2018). *Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten alkuperäisiä suunnitteluaroja*. *Energiatodistusoppaan 2018 liite 1.11.2018*. Helsinki: Ympäristöministeriö. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/{A6558C5F-9B2E-40E5-B261-605118163F03}/141252>
- Ympäristöministeriö.** (2019). *Muovien käyttö rakentamisessa*. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B257053C2-6515-4FBO-BA62-F72B69999826%7D/145304>