



Väylävirasto  
Trafikledsverket

# Mallintamisen mahdollisuudet pyöräliikenteen seurannassa – raportti

Väyläviraston julkaisu 87/2022

Tommi Kantala ja Taina Haapamäki

# Sisällysluettelo

## Esipuhe

1. Työn tausta ja tavoitteet pyöräliikenteen seurannalle
2. Pyöräilyn kysynnän ennustaminen
  - 2a. Pyöräily osana liikennejärjestelmämalleja
  - 2b. Kysyntämallit
  - 2c. Seuranta-aineistot ja mallintaminen
  - 2d. Laskentojen kehittäminen mallintamisen avulla
3. Yhteenveto ja suositukset

# Esipuhe

Tämän työn tavoitteena on ollut selvittää pyöräliikenteen seurannan kehittämistä mallinnuspohjaisilla tiedontuotantomenetelmillä.

Valtion väyläverkolla on tunnistettu tarve kävelyn ja pyöräliikenteen määrien seurannan kehittämiseksi ja sen edistämiseksi on mm. vuonna 2021 selvitetty valtakunnallisen laskentajärjestelmän kehittämistä (Väyläviraston julkaisuja 69/2021).

Työssä termiä mallintaminen on lähestytty laaja-alaisesti. Pyöräliikenteen mallintaminen pitää sisällään simulaatiomalleja ja tilastollista analyysia. Aihepiiri on erittäin laaja ja erilaisia malleja on paljon, vaihdellen pyöräliikenteen simuloinnista osana seudullista liikennejärjestelmää muiden kulkumuotojen rinnalla aina pyöräväylien yksittäisten liittymien toimivuustarkasteluihin. Työssä on pyritty keskittymään pyöräilyn seurannan tavoitteiden ja nykytilan kannalta olennaisimpiin mallintamisen menetelmiin, jotka kytkeytyvät vahvasti pyöräliikenteen seurannan toteuttamisen kehittämiseen tai pyöräilyn laskenta-aineistojen käsittelyyn.

Työ tunnistaa pyöräliikenteen mallintamisesta menetelmiä ja

tapausesimerkkejä, joiden avulla laajennetaan kävelyn ja pyöräliikenteen seurantaan liittyvän mallintamisen tietoperustaa.

Selvitys on laadittu syksyllä 2022. Työn ohjaukseen ovat Väylävirastosta osallistuneet Jukka Peura, Maija Rekola ja Kalle Ruottinen. Ohjausryhmä on kokoontunut työn aikana kolme kertaa.

Selvityksen laatimisesta ovat vastanneet Tommi Kantala ja Taina Haapamäki FLOU Oy:stä.

Helsingissä joulukuussa 2022

Väylävirasto

# Sanasto

Malli, mallintaminen	Tässä työssä mallintaminen käsittää laajasti erilaiset matemaattiset mallit tilastollisista pyöräilyn kysyntää ennustavista malleista tai yksittäisten liittymien toimintaa kuvaavien simulointimalleihin.
Matkaryhmä	Matkaryhmällä tarkoitetaan liikennemalleissa yleensä matkan tarkoitusta (esim. työssäkäyntimatka tai asiointimatka). Tässä työssä matkaryhmä-termiä on käytetty kuvaamaan englannin kielisen kirjallisuuden termiä <i>travel pattern</i> tai <i>factor group</i> , jotka kuvaavat laajemmin samantyyppisiä matkaryhmiä, joiden yhteisiä tekijöitä ovat matkojen jakautuminen ajallisesti (esim. työssäkäyntimatkat, koulumatkat, vapaa-ajan matkat), maantieteellisesti ja tarkoituksen mukaan ja maantieteellisen alueen mukaan (esim. erot kaupunkiseutujen välillä, tiiviin kaupunkirakenteen ja maaseudun tai väyläverkon eri osien välillä).
Ositus, osittaminen	Osittamisella tarkoitetaan väyläverkon jakamista samantyyppisiin kategorioihin tai ryhmiin esim. väyläluokituksen ja matkaryhmien perusteella. Englanninkielisessä kirjallisuudesta osittamisesta käytetään (tilastotieteellistä) termiä <i>stratification</i> ja osituksesta <i>stratum</i> .



Väylävirasto  
Trafikledsverket

# 1. Työn tausta ja tavoitteet pyöräliikenteen seurannalle

# Kävelyn ja pyöräilyn seuranta Väylävirastossa

Liikenne- ja viestintäministeriön valtakunnallisessa kävelyn ja pyöräilyn edistämishjelmassa on kirjattu tavoitteeksi kävelyn ja pyöräilyn määrien kehittymisen seuranta. Seuranta on olennainen osa kehityksen arviointia, toimenpiteiden vaikuttavuuden arviointia ja luo lähtökohdat tavoiteasetannalle.

Väyläviraston on selvittänyt 2021 pyöräilyn laskentojen käytäntöjä ja laskentaverkostoja. Monet kunnat ja kaupungit ovat jo pitkään keränneet tietoa kaupunki- ja kaupunkiseutujen pyöräilyn määristä, lisäksi ELY-keskukset ovat keränneet määriä maantieverkolta, mutta pysyvä seuranta on ollut suppeaa.

## Tavoitteena on määrien seurannan systematisointi.

Keskeisiä seurannan ydintunnuslukuja Suomessa ovat:



Kesän keskimääräinen  
vuorokausiliikenne



Talven keskimääräinen  
vuorokausiliikenne



Vuoden keskimääräinen  
vuorokausiliikenne



Huippuvuorokausiliikenne

# Työn tavoitteet



Tavoitteena on kartoittaa kirjallisuudesta olemassa olevia tapoja mallintaa pyöräilyä ja tunnistaa soveltamismahdollisuuksia mallintamiselle pyöräilyn seurannan systematisoinnissa.



Työn pääpaino on pyöräliikenteen mallintamisen mahdollisuuksissa, mutta myös uudet kevyet kulkumuodot (kuten sähköpotkulaudat) ja kävely huomioidaan soveltuvin osin.

## Lopputulos

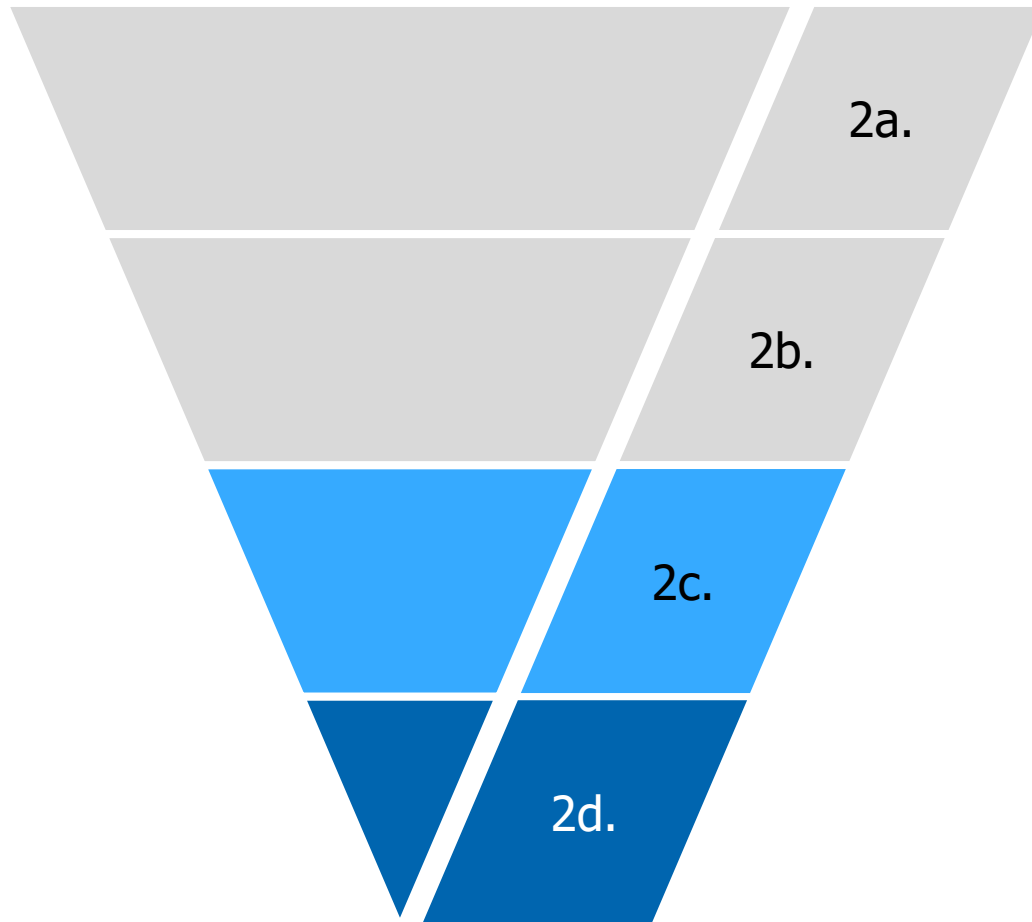
1. Kirjallisuuden avulla laajennetaan tietopohjaa mallintamisen mahdollisuuksista.
2. Luodaan suositukset mallintamisen menetelmien hyödyntämisestä.



## 2. Pyöräilyn kysynnän ennustaminen



# Seuraavilla kalvoilla käsitellään yleisellä tasolla liikenteen mallintamista ja pyöräilyn roolia osana liikennemalleja



Luvussa 2a käsitellään yleisellä tasolla liikenteen mallintamista ja pyöräilyn roolia osana liikennejärjestelmämalleja. Näitä malleja ei ole kuitenkaan käsitelty työssä laajasti, sillä ne eivät tue tällä hetkellä pyöräilyn seurannalle asetettuja tavoitteita.

Luvussa 2b käsitellään pyöräilyn erillismalleista epäsuoria kysyntämalleja sekä muita mahdollisuuksia pyöräilyn mallintamiseen. Näitä malleja ei ole kuitenkaan käsitelty työssä laajasti, sillä ne eivät tue tällä hetkellä pyöräilyn seurannalle asetettuja tavoitteita.

Luvussa 2c käsitellään suoria kysyntämalleja ja pyöräilyn laskenta-aineistojen käsittelyyn liittyviä malleja.

Luvussa 2d käsitellään mallintamisen tapoja, joilla pyöräilyn seuranta ja laskentoja voidaan kehittää.



Väylävirasto  
Trafikledsverket

## **2a. Pyöräily osana liikennejärjestelmämalleja**

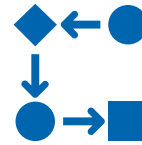
# Perinteiset liikennejärjestelmätason mallit käsittelevät pyöräilyn ja kävelyä usein suppeasti



## Liikenteen mallintamista käytetään päätöksenteon ja suunnittelun tukena.

Liikennemallit voidaan jakaa strategisiin ja operatiivisiin, joiden erona on tarkkuustaso ja suunnittelun aikajänne.

Strategiset mallit kuvaavat laajoja tilastoalueita ja pitkän aikavälin muutoksia, operatiiviset mallit vastaavat yksittäisiin suunnittelukysymyksiin tai kuvaavat lyhyitä aikajänneitä.



## Perinteiset strategiset liikennemallit tuottavat tietoa eri alueparien välisestä kysynnästä ja liikenneverkon kuormituksesta ja suoritteista.

Useissa ennustemalleissa pohjana on neliportainen logittimalli, jossa määritetään:

- Matkatuotos
- Matkojen suuntautuminen
- Kulkumuodon valinta
- Näiden pohjalta liikennevirrat sijoitellaan väyläverkolle (reitINVALINTA).



## Yksinkertaisimmat neliporrasmallit ovat ryhmämalleja, eli ne ennustavat tietyn ryhmän liikkumista ja lähtötietona toimivat keskiarvot.

Kehittyneemmissä agenttipohjaisissa malleissa tilastoalueiden sijaan pyritään stokastisesti simuloimaan yksilötason käyttäytymistä.

Kehittyneemmissä aktiviteettipohjaisissa malleissa ennustetaan matkaketjuja ja päiväsuunnitelmia.

# Pyöräliikenteen merkitys liikennemalleissa kasvaa



## Mallintamisen lähtökohta voi esimerkiksi perustua pyöräliikenteen:

- Laskentoihin ja tietoihin toteutuneista pyöräilyn määrästä.
- Kyselytutkimuksiin ja tilastoihin.
- Liikennejärjestelmäaineistoihin, jotka sisältävät kaikkien kulkumuotojen tietoja.



## Pyöräliikenteen mallintamista ohjaavat erilaiset tietotarpeet:

- Kulkumuodon valinta, pyöräilyyn vaikuttavat taustatekijät.
- Reittien valinta, väylien käyttömukavuus ja pyöräilyn sujuvuus ja suuntautuminen.
- Liikennelaskentojen täydentäminen ja analysointi.
- Mikrotason simulaatiot esim. eri kulkumuotojen yhteensovitus.
- Liikenneturvallisuuden arviointi ja onnettomuuksien ennustaminen.



## Tutkimuksen painopisteet keskittyvät:

- Pyöräliikenteen mallintamiseen kaupunkiseuduilla. Pyöräliikenteen valtakunnallisten mallien kehitys on vähäistä.



## 2b. Epäsuorat kysyntämallit

# Pyöräilyn mallinnus voidaan jakaa kahteen ryhmään

## Liikennejärjestelmätason mallit

- Perinteiset seudulliset (esim. Helsingin työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmä, Helmet) liikennemallit ja valtakunnalliset liikennemallit.
- Ennustavat liikkumisvalintoja kaikkien kulkutapojen yli.
- Pyöräily voidaan eritellä analyysiä varten muusta liikenteestä ja tarkastella eri kulkumuotojen välisiä muutoksia.

## Erillismallit

- Pyöräilyä käsitellään erillään muusta liikennejärjestelmästä, mutta esimerkiksi kulkumuoto-osuuksien ennustaminen on vaikeaa.
- Hyödynnetään parhaiten pyöräilyn mallintamiseen sopivia menetelmiä ja aineistoja.
- Erillismallien menetelmiä on siirrettävissä liikennejärjestelmätason malleihin.
- Seuraavassa keskitytään tarkastelemaan erillismalleja, koska useimmat liikennejärjestelmätason mallit käsittelevät pyöräilyä melko rajallisesti ja kansainvälisessä kirjallisuudessa mallintaminen perustuu useimmiten erillismalleihin.

Painopiste

# Kulkumuoto-osuuden ja kysynnän ennustaminen on usein osa suunnitteluprosessia (1/2)

Epäsuora, taustamuuttujista tai liikkumistutkimuksista johdettu kysyntä pyöräilylle on usein välttämätön osa liikennesuunnitteluprosessia.

Pyöräilymäärien tai kulkumuoto-osuuden ennusteen taustalla on useita taustamuuttujia, kuten:

- Sosioekonomiset tekijät
- Maankäyttö
- Matkan tarkoitukset (matkaryhmät)
- Pyöräilyinfran kattavuus, kunto, turvallisuus, muut liikennejärjestelmän muutokset
- Matka-aika, kustannukset
- Sää, psykologiset tekijät (tavat, asenteet, normit)

## Soveltuvuus seurantaan



Taustamuuttujien avulla laaditut epäsuorat ennusteet voivat auttaa selittämään juurisyitä esimerkiksi laskennoissa tapahtuneiden muutosten taustalla tai ennustamaan kysynnän muutoksia esimerkiksi maankäyttöä kuvaavien tekijöiden perusteella.

Mallit tulee kuitenkin kalibroida pyöräilyä koskevilla aineistoilla, kuten laskenta-aineistolla tai henkilöliikennetutkimusten tiedoilla.

Kysyntää ja reitinvalintaa yhdistelemällä saadaan arvio siitä, mihin pyöräily todennäköisesti kohdistuu väyläverkolla.

# Kulkumuoto-osuuden ja kysynnän ennustaminen on usein osa suunnitteluprosessia (2/2)

Epäsuora, taustamuuttujista tai liikkumistutkimuksista johdettu kysyntä pyöräilylle on usein välttämätön osa liikennesuunnitteluprosessia.

Pyöräilymäärien tai kulkumuoto-osuuden ennusteen taustalla on useita taustamuuttujia, kuten:

- Sosioekonomiset tekijät
- Maankäyttö
- Matkan tarkoitukset (matkaryhmät)
- Pyöräilyinfran kattavuus, kunto, turvallisuus, muut liikennejärjestelmän muutokset
- Matka-aika, kustannukset
- Sää, psykologiset tekijät (tavat, asenteet, normit)



## Rajoitteet

Vaikka kysynnän mallintaminen esimerkiksi sosioekonomisten tekijöiden ja infran ominaisuuksien perusteella on mahdollista ja mallit tarjoavat kohtalaisen tarkkuuden, on malleissa rajoitteita.

Mallien siirrettävyys riippuu siitä, millaisella aineistolla ne on muodostettu ja kalibroitu.

Useimpien kysyntämallien tarkkuus riittää vain suuruusluokka-arvioon kysynnästä, joka voi olla esimerkiksi linjausvaihtoehtoja arvioidessa riittävä.

Kävelyn ja pyöräilyn mallien erittely ei välttämättä tuota merkittävää lisäystä tarkkuudessa, mikä voi riittää vähäliikenteisillä yhteyksillä, kaupunkiseuduilla on yleensä tarve luoda tarkempia ennusteita kävelyn ja pyöräilyn yhteensovittamiseksi.



# Mallintaminen voi olla myös hyvin yksityiskohtaista

Pyöräilyn reitinvalintoja ennustetaan usein perustuen väyläinfraan ja mallinnuksessa voidaan huomioida esimerkiksi väylän olosuhteet, liittymien aiheuttamat viiveet ja korkeusvaihtelut.

Osa erillismalleista analysoi pyöräväylien käyttöä mikrotason simuloinneilla. Tietoja voidaan hyödyntää esimerkiksi sujuvuuden parantamiseen, liittymien toimivuuteen ja eri kulkumuotojen yhteensovittamiseen.

Pyöräiliikenteen sujuvuutta voidaan tarkastella esimerkiksi simuloimalla liittymiä tai analysoimalla havaintoaineistoa paikannustietoon perustuen. Esim. Wierbos ym. (2021) ovat tutkineet pyöräilyn ja autoliikenteen toisilleen aiheuttamia viiveitä.

## Mikrosimulaatiot sopivat parhaiten suunnittelun apuvälineiksi



Reittivalinta-analyysit



Kulkumuotojen yhteensovittamisen analyysit



Sujuvuusanalyysit



Onnettomuusanalyysit

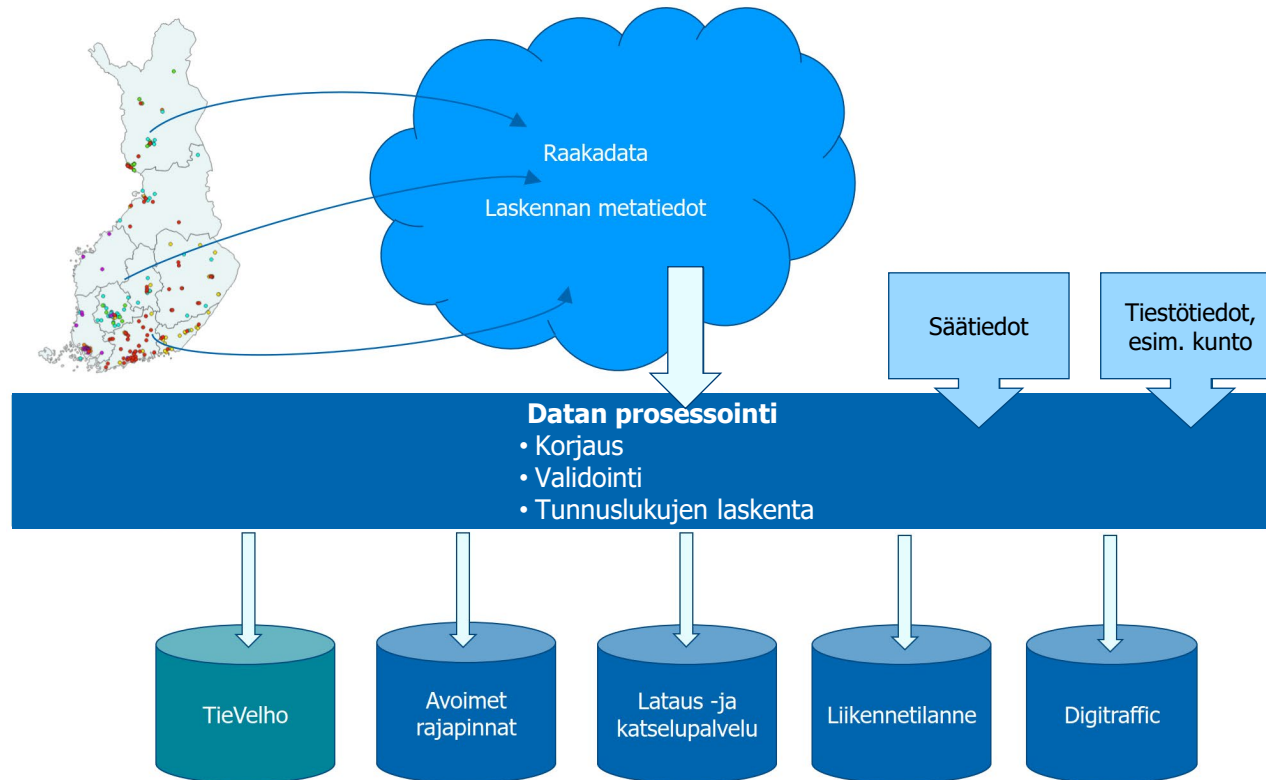
**Pyöräilyn seurannan  
nykytilanne  
huomioiden  
ensimmäisiä  
käyttökohteita ovat  
suoraan seuranta-  
aineistoihin  
linkittyvät  
mallintamisen  
mahdollisuudet.**





## 2c. Seuranta-aineistot ja mallintaminen

# Pyöräliikenteen laskennat tuottavat paljon aineistoa seurannan tueksi



## ● ———— Soveltuvuus seurantaan ————

Laskenta-aineistojen perusteella voidaan laatia myös kysyntäennusteita (kirjallisuudessa suora kysyntäennuste).

Laskenta-aineistoihin perustuvien kysyntäennusteiden etuna on kausivaihtelun huomiointi (vuorokauden aika, viikonpäivä, kuukausi jne.). Toisaalta ne eivät huomioi kuin toteutunutta pyöräilyn kysyntää, jolloin käyttäytymismuutoksia ei huomioida kunnolla ennusteissa.

Seurannan kannalta laskenta-aineistoihin tulee soveltaa erilaisia mallintamisen menetelmiä tiedon hyödyntämiseksi ja jalostamiseksi.

Seuraavilla sivuilla keskitytään pyöräilyn laskenta-aineistoihin perustuviin malleihin ja niiden hyödyntämiseen.

# Datan prosessointi on olennainen osa pyöräliikenteen laskentatiedon jalostamista hyödylliseksi tiedoksi

## Otoslaskennat

Otoslaskentojen skaalaaminen laajennuskertoimilla vuositason ennusteiksi on yleinen toimintatapa.

Otoslaskennoista voidaan luoda vuositason kysyntäennusteet, kun niitä laajennetaan jatkuvien laskentojen kertoimilla.

Laajentamiskertoimien laadintatapa vaihtelee, mutta huomioitavia tekijöitä kirjallisuudessa ovat mm. kellonaika, viikonpäivä, kuukausi, viikko, matkaryhmä, kulkumuoto, arki/viikonloppu, väylän tyyppi ja sää.

Useissa tutkimuksissa on keskitytty tutkimaan, miten pyöräilyn kausivaihtelu huomiodaan. Yleensä tähän liittyy erilaisten matkaryhmien tunnistaminen ja yhdistämällä jatkuvien laskentojen tietoja tällä perusteella otannan kasvattamiseksi.



## Soveltuvuus seurantaan

Otoslaskentojen laajentamiskertoimien käyttöä on tutkittu laajasti. Jopa lyhyitä (tuntien) mittaisia laskentoja voidaan käyttää vuositason ennusteiden laatimiseen.

Useimmiten otoslaskentojen pituutta suositellaan kuitenkin maksimoimaan tarkkuuden parantamiseksi (esim. tiistaista torstaihin alkusyksystä). Mikäli mahdollista, useiden jatkuvan laskennan pisteiden tietoja tulisi hyödyntää laajennuskertoimien estimoinnissa.

Maantieteellinen siirrettävyys estimoitujen laajennuskertoimien suhteen on kuitenkin usein heikko.

Otoslaskentojen tulokset voidaan skaalata kuvaamaan pyöräliikennettä pidemmällä aikavälillä, mutta haasteena on tunnistaa eri väylien/alueiden matkaryhmät oikean skaalauskerroimen valitsemiseksi.

# Jatkuvien laskentojen aineistot eivät ole virheettömiä tai kerro suoraan totuutta määrien kehityksestä

## Jatkuvat laskennat

Mittauksiin syntyy virheitä ja katkoksia – tietoja tulee korjata ja validoida tilastollisen mallintamisen keinoin.

Datan korjaamisessa, validoinnissa ja tunnuslukujen laskennassa voidaan hyödyntää tilastollisia malleja. Regressiomallit, kuten negatiiviseen binomijakaumaan perustuvat mallit, ovat yleisin pyöräilyn määrien mallintamiseen käytetty malli, kun aineistona käytetään laskentojen tietoja.



## Soveltuvuus seurantaan

Datan prosessointi on olennainen osa pyöräliikenteen laskentatiedon jalostamista hyödylliseksi tiedoksi. Mallintamisen menetelmille on useita käyttötarkoituksia osana datan prosessointia.

Datan saattaminen tiedoksi vaatii pyöräilyn seurannassa erilaisten trendien tunnistamista tai poistamista aineistosta – esimerkiksi sään, vuorokaudenajan, kuukauden ym. aiheuttamien kausivaihteluiden poistaminen voi paljastaa aineistosta muuten havaitsematta jääviä trendejä.

Jatkuvien laskentojen virheiden korjaaminen ja puuttuvien mittausten täydentäminen on mahdollista mallintamisen menetelmin. Kirjallisuudessa jopa pitkiä katkoksia on voitu täydentää mallintamisen menetelmin hyvällä tarkkuudella, mikä on mahdollistanut vuositason määrien seurannan.

# Tapausesimerkki: Otolaskennoista pyöräilyn määrien tilastollisiin jakaumiin

Haaste: Pyöräilyn investointien priorisointi on haasteellista ja Yhdysvalloissa tietopohja päätöksentekoon on puutteellinen. Esimerkiksi pyöräilyn laskentapisteitä on käytettävissä hyvin vaihtelevasti.

Tilastollisen mallintamisen menetelmillä ja otoslaskennoilla toteutettiin ennusteet eri väyläverkon osille yhden kaupungin alueella. Menetelmän etuna on monia muita menetelmiä vähäisempi lähtötietotarve.

Koska yksittäisten väyläverkon linkkien ennustaminen muiden perusteella on epävarmaa, mallinnuksen tuloksena ei synny yksittäistä lukua, vaan jakauma, jonka sisällä todellisen määrän arvioidaan olevan.

Kaupungin alueella suoritettiin 15 paikassa kahden tunnin mittaisia laskentoja kahdesti vuodessa sekä yhteensä kolme kuukautta jatkuvaa laskentaa. Mallin tiedot syötettiin Markov chain Monte Carlo -menetelmää hyödyntävään bayesilaiseen malliin, jolle syötettiin stokastisen reitityksen tiedot priorijakaumana. Syöttämällä malliin laskenta-aineistot saadaan aikaiseksi koko verkkoa koskevat posteriori-jakaumat pyöräilyn määristä.

Tutkimuksessa tavoitteena oli mallintaa koko kaupunkiseudun pyöräilymääriä otoslaskentojen pohjalta ja tuottaa jakaumia pyöräilymääristä, joiden avulla vältetään yleensä ennusteisiin liittyvää illuusio tarkkuudesta.

Tutkijoiden mukaan aikasarjojen pidentyessä mallista on mahdollista tunnistaa vuotuinen kasvutermi pyöräilyn määrien kehittymisen arvioimiseksi. Mallin tuloksiin yhdistettiin myös onnettomuus- ja turvallisuusaineistoja, mikä mahdollistaisi investointien allokoinnin.

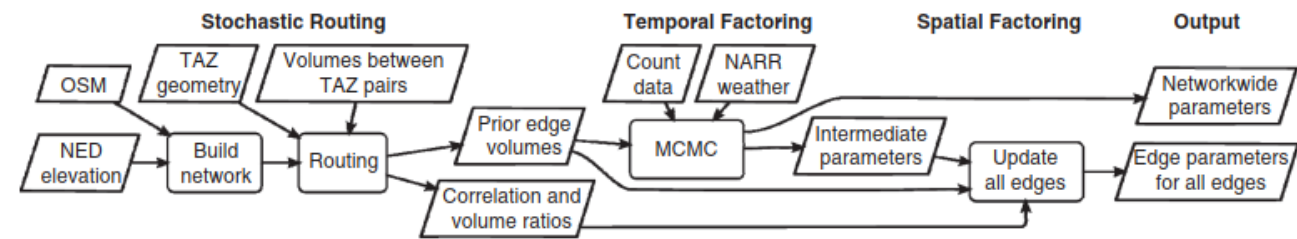


FIGURE 1 Principal data sources and processing steps (OSM = OpenStreetMap; NED = National Elevation Data Set; TAZ = traffic analysis zone; NARR = North American Regional Reanalysis).

# *Tapausesimerkki:* Norjan kansallinen pyöräilyindeksi

Haaste: Pyöräilyn seurannalle ei ole kunnollisia mittareita, joilla voitaisiin seuranta pyöräilyn määrän kehitystä.

Seurannalle on tarpeita paikallisesti, alueellisesti ja valtakunnallisesti.

Suora mittausdata ei huomioi muutoksia esim. väestössä.

Tanskassa on käytössä vastaava indeksi, jonka on todettu vastaavan melko hyvin liikkumistutkimuksilla kerättyjä arvioita pyöräilyn kehittymisestä.

Mittarissa vuotuinen indeksi  $R$  saadaan vertaamalla sen vuoden tuloksia  $Y$  perusvuoteen  $X$

$$R = \frac{Y}{X} \times 100 \%$$

Paikallistason tuloksia kalibroidaan alueen väestötiheydellä ja paikallisindeksit saadaan summaamalla kaikki paikalliset matkat. Paikallistason tuloksiin liittyy selkeitä epävarmuuksia, koska mittausverkko on harva.

Alueelliset ja valtakunnalliset indeksit muodostetaan laskemalla väestöllä painotetut summat laskennoista.

Norjassa mallin avulla on tunnistettu eroja alueellisessa kehityksessä. Paikallistason indeksi on tärkeä työkalu hankkeiden vaikutusten todentamisessa.

Indeksiä voidaan tarkastella pyöräilyn infran kehitystä mittaavien suureiden (esim. pyöräverkon pituus) ja seurata trendien välistä suhdetta.

- Kehitysajatuksena esitetään tiettyypin, sään, päivän, matkatyyppin (työmatka, vapaa-ajanmatka) ja pyöräilyn infran huomiointia osana indeksin muodostamista.



# Tapausesimerkki: Tanskan kansallinen pyöräilyindeksi

Tanskan tievirasto seuraa pyöräilyn kehittymistä kansallisella pyöräilyindeksillä.

Indeksin mittaaminen aloitettiin jo 1985 käyttäen 12 laskentapistettä, mutta laskentapisteiden määrää on kasvattu asteittain vuoteen 2014 saakka.

Nykyään indeksin laskenta perustuu 61 laskentapisteen tuottamiin tietoihin ja sen on todettu vastaavan puutteistaan huolimatta melko hyvin kansallisiin muutoksiin, mikäli tuloksia verrataan liikkumistutkimuksiin. Yhteensä käytettävissä olisi 100 jatkuvaa laskentapistettä, mutta pisteet on valittu edustamaan eri tyyppisiä teitä ja katuja.

Myös kunnat seuraavat alueidensa pyöräilyä indekseillä, joita hyödynnetään lähtötietona.

Indeksi lasketaan kvartaaleittain vertaamalla kuukausittaisia laskentatuloksia jatkuvien laskentojen perusteella.

Tanskan indeksin laskenta on Norjan mallia teknisempi ja se huomioi eri laskentojen linkkien pituuksia.

$$\hat{R} = \frac{\hat{Y}}{\hat{X}} = \frac{1}{X} \sum_{h=1}^H \frac{\bar{y}_h}{\bar{x}_h} X_h, \text{ jossa } \bar{x}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} 1_i x'_i \text{ ja } \bar{y}_h = \frac{1}{n_h} \sum_{i=1}^{n_h} l_i y'_i.$$

Yhtälössä  $x'_i$  ja  $y'_i$  ovat laskentatulokset linkillä  $i$ , jonka pituus on  $l_i$ . Pyöräsuoritteella  $X_h$  painotetaan eri ositukset (engl. *stratum*), jotka on voitu laskea (arviolta). Vuonna 2015 pyöräsuorite oli 3.06 miljardia pyöräkilometriä.

Lisäksi Bealen estimaattorilla korjataan pienten otosten (vähäistä laskentapisteiden määrää) virhettä.

Osituksen tavoitteena on vastata pyöräilyindeksille asetettuihin tavoitteisiin, minimoida virheet (MSE) ja maksimoida nykyisten laskentapisteiden käyttö.

Väyläverkon ositus jakaa urbaanin alueen päätiet ja asuntoalueiden kadut eri osituksiin, koska niiden pyöräilijämäärät ovat eri suuruusluokissa. Haja-asutusalueilla pyöräilijämäärät voivat olla hyvin pienet. Nykyisin käytössä on 14 ositusta jaettuna kahteen ositukseen (kaupunkialueet, haja-asutusalue) tieviraston verkolle ja 12 ositusta kunnalliselle verkolle. Kuntaverkko on ositettu viiteen haja-asutusalueeseen ja 9 kombinaatioon kaupungin koosta ja tien tyyppistä riippuen (esim. Kööpenhaminan kadut).



## **2d. Laskentojen kehittäminen mallintamisen avulla**

# Seurantapisteiden riittävälle määrälle ei ole yhtä oikeaa vastausta

Pyöräilyn seurannan kattavuuden kehittämiseksi tulisi laskentoja suorittaa monipuolisesti maantieteellisesti ja väylätyyppisesti erilaisilla alueilla. Kirjallisuudesta löytyy erilaisia tapoja siihen, millainen pyöräilyn laskentaverkon kattavuuden tulisi olla.

Laskentojen kattavuuden tulee olla sellainen, että erilaisia alueita ja matkaryhmiä (esim. työssäkäynti- tai vapaa-ajanmatka) havainnoidaan useassa pisteessä. Alle 100 päivittäisen käyttäjän väyliltä on vaikea tunnistaa matkaryhmiä.

Esimerkiksi Johnstone ym. 2017 ehdottavat otoslaskentojen määräksi 10 % väyläverkon pituudesta (maileina) ja toteuttamaan laskennan joka kolmas vuosi. Lisäksi pyöräväylät jaetaan kolmeen luokkaan: pyöräilyn pääväylät, kerääjäkadut sekä kävelyn ja pyöräilyn yhdistetyt väylät.

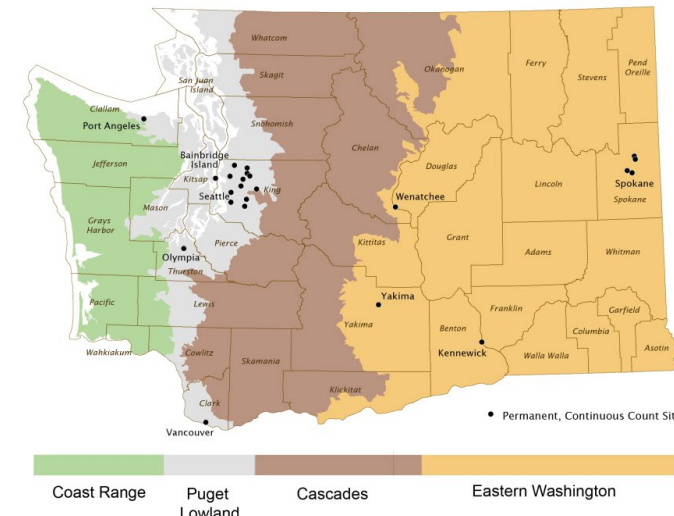
Lähteet: Johnstone ym. 2017

## Soveltuvuus seurantaan



Väyläverkko voidaan osittaa erilaisiin osituksiin, joille tulee kohdentaa laskentoja. Hyvin toteutettu ositus parantaa laskentojen pohjalta tehtyjen ennusteiden laatua merkittävästi. Jatkuvat laskennat tulisi toteuttaa edustaviin paikkoihin.

Map 2. Regions in Washington State



At the time of this guide, no continuous count sites were located within the Coast Range or Cascades regions.

Source: Authors' analysis of Nordback et al. 2017

# Laskentaverkon muodostamista ja otosten edustavuutta voidaan tarkastella mallintamalla

## Esimerkkejä laskentapisteidien määräsuosituksista:

Toimenpiteiden suunnittelun ja laskentojen kehittämisen tueksi Brum-Bastos ym. (2019) luokittelivat 3800 tiesegmenttiä kuuteen luokkaan perustuen pyöräilijämääriin ja päivittäiseen vaihteluun (työmatkat vs. muut matkat). Tieverkon osittamiseen on käytetty esimerkiksi joukkoistettua Strava-sovelluksesta saatavaa aineistoa. Suositus keskikokoiselle kaupungille oli 50 laskuria.

Tanskassa tavoite on 200 laskentapistettä koko maan pyöräilyindeksin laskentaa varten. Jo nykyisin pisteitä on 100, mutta ne eivät ole edustava otos väyläverkosta. Tanskan kansallista pyöräilyindeksiä käsittevässä raportissa todetaan, että indeksin tarkkuus kasvaa merkittävästi, kun otoskoko kasvaa 30 laskentapisteestä 90 laskentapisteeseen. Käytetty tieverkon ositus vaikuttaa kuitenkin virheen pienemiseen omalta osaltaan (Moltved ym. 2017). Yhdysvalloissa otoslaskennan vuositason keskivirhe pieneni 16 %-yks. kun laskentapisteidien määrä nostettiin yhdestä yhdeksään. Suositus on vähintään neljä laskentapistettä matkaryhmä. (Nordback ym. 2019)

## Soveltuvuus seurantaan



Matkaryhmillä (engl. factor group) tarkoitetaan samankaltaisia alueita, joiden liikkumiskäyttäytyminen (engl. travel pattern) on samanlaista. Matkaryhmän sisällä voidaan laskea laajennuskertoimet otoslaskennoille. Suomessa matkaryhmät voivat olla esimerkiksi:

- "kävelyn ja pyöräilyn työssäkäyntimatkat",
- "pyöräilyn työssäkäyntimatkat Helsingin työssäkäyntialueella",
- "pyöräilyn vapaa-ajanmatkat Pirkanmaalla" tai
- "pyörämatkat baanoilla/pääväylillä".

Matkaryhmien muodostamiseen on useita tapoja. Edellä mainitut tavat osittaa väyläverkkoa voivat luoda pohjan erilaisten matkaryhmien muodostamisessa. Ositukseen voidaan käyttää esimerkiksi data-analytiikan menetelmiä (mallintamista), kuten *k-means*-klusterointia.

# Lisätietoa: Lähestymistapa laskentojen edustavuuden ja laskentojen määrän arviointiin

## Esimerkki pyörälaskentojen toteuttamisen kohdentamisesta:

Kun jatkuvien laskentojen pisteet on luokiteltu matkatyyppien perusteella, tulee miettiä tarvitaanko lisää jatkuvia laskentapisteitä:

1. Ovatko kaikki pääasialliset matkaryhmät edustettuina?  
Hyödynnä otoslaskentojen tuloksia ja tarkastele mallintamalla onko liikennekäyttäytymisessä eroja tai arvioi toteuttamisen tarvetta.
2. Ovatko kaikki maantieteelliset tai ilmastoltaan erilaiset alueet edustettuina?  
Paikkatietotarkastelut ja tunnusluvut
3. Parantaako uuden laskentapisteen lisääminen jonkin matkaryhmän laskentojen laatua?  
Ajoneuvoliikenteessä riittävänä määränä pidetään 5–8 kpl/ matkaryhmä. Kävelyssä ja pyöräilyssä määrien varianssi on suurempi ja laskentapisteitä tarvitaan yleensä enemmän luotettavuuden kasvattamiseksi kuin autoliikenteessä. Coloradossa suositus on seitsemän.

## Soveltuvuus seurantaan



Seurannan tavoitteena on luoda tilastollisesti luotettavaa ja kattavaa aineistoa, jonka avulla voidaan seurata tehokkaasti, kattavasti ja luotettavasti pyöräilyn määrien kehittymistä.

Laskentaverkon muodostamisen alkuvaiheessa täydellisen kattavuuden saavuttaminen ei ole tärkeintä. Jatkuvat laskentapaikat voivat olla myös vähäliikenteisiä, mutta määrien tulee mahdollistaa erilaisten matkaryhmien tunnistaminen aineistosta. Jatkuvien laskentapaikkojen valintaa voidaan tukea toteuttamalla otoslaskentoja paikalle.

# Joukkoistetun aineiston hyödyntäminen avaa uusia mahdollisuuksia

Esimerkiksi älypuhelimet, -kellot ja liikuntasovelluksien paikannustiedot tuottavat suuria määriä tietoja ihmisten liikkumisesta. Joukkoistetun aineistonkeruun avulla on mahdollista luoda spatiaalisesti tarkkoja aikasarjoja pyöräilystä. Haasteena on kuitenkin tiedonkeruukanavien käyttö.

Joukkoistetun tiedon avulla on mahdollista seurata esim. linkki-tasolla pyöräilyn kehittymistä, pyöräily-onnettomuuksia tai pyöräilyn sujuvuutta liittymäalueilla (Brown ym. 2022). Myös Suomessa on tutkittu pyöräilyn sujuvuutta GPS-tiedoilla (Brauer ym. 2021) ja Strava-aineistoilla (Tarnanen ym. 2017).

Joukkoistettuja aineistoja käyttäessä tulee kuitenkin huomioida vinoumat aineistossa: esimerkiksi urheilu-sovellusten käyttäjät saattavat liikkua kelistä riippumatta, jolloin säävaihtelun vaikutukset eivät näy aineistossa ja seurannan kannalta syntyy virheitä.

## Soveltuvuus seurantaan

Laajemmin voidaan puhua tiedon fuusioimisesta: liikkumistutkimusten, paikkatiedon, pyöräilyn laskentojen, joukkoistetun tiedonkeruun ja sosioekonomisten muuttujien yhdistämisellä pyritään nykyistä parempaan ja kattavempaan kuvaukseen pyöräilyn määristä ja muutoksista.

Joukkoistetun aineiston hyödyntäminen seurannassa vaatii yhteensovittamista jatkuvien laskentojen ja otoslaskentojen kanssa.

Tutkimus painottuu Yhdysvaltoihin ja erityisesti Strava-sovellukseen aineistoon. Suomessa myös yksityisyyden-suoja on korkeampi kuin Yhdysvalloissa, mikä voi rajoittaa mahdollisten aineistojen tarkkuutta tai saatavuutta.

Mikroliikkumispalveluiden tuottamia aineistoja voidaan hankkia operaattoreilta. Esimerkiksi Helsinki on toteuttanut datakokeilun mikroliikkumispalveluiden aineistoihin perustuen. Suomessa myös matkapuhelinoperaattorit tarjoavat liikkumisaineistoja.

# Pyöräilyn laskennoista saadaan hyödyllistä tietoa turvallisuusanalyysiin

Useat tutkijat pitävät kattavaa pyöräilyn laskenta-aineistoa avaimena laadukkaaseen turvallisuusanalyysiin, erityisesti kun arvioidaan infrainvestointien vaikuttavuutta.

Laskenta-aineistot ovat avainasemassa, kun tutkitaan toimenpiteiden vaikutuksia liikenneonnettomuuksiin. Laskenta-aineistojen tilastollisella analyysillä voidaan tunnistaa juurisyyt, jotka ovat vaikuttaneet onnettomuuksiin tai onnettomuuksille altistumiseen.

## Soveltuvuus seurantaan

Pyöräilyn onnettomuusanalyysissä voidaan hyödyntää laskenta-aineistoja mallintamalla esimerkiksi:

- Onnettomuusastetta tarkastelemalla toimenpidealuetta suhteessa vertailualueeseen tai hyödyntämällä ennen-jälkeen -laskentoja.
- Trendien ja kausivaihtelujen aiheuttamat erot voidaan poistaa mallintamisen menetelmillä (tilastollinen mallinnus, esim. regressiomallit).
- Lisäksi huomioidaan muutokset ympäröivässä maankäytössä, infrassa, väestössä ja muun liikenteen volyymissä. (LTRC 2018)



## 3. Yhteenveto ja suositukset





Tärkeä näkökohta mallien kehittämisessä liittyy niiden empiiriseen validointiin. **Mikään simulaatiomalli ei ole tarkempi kuin sen validointiin käytetyt aineistot.** Mallia voidaan kuitenkin hyödyntää laskenta-  
asemien sijaintien optimoimiseen.



# Mallintamisen menetelmille on useita käyttötarkoituksia pyöräilyn seurannassa

Mallintamisen menetelmillä ei voida korvata seuranta. Mallintamisen ensisijainen tehtävä osana seurannan prosesseja on korjata ja täydentää dataa sekä jalostaa siitä seurantaan tukevia metriikoita. Seurannan näkökulmasta on tärkeää luoda polku, jossa mallintaminen tukee seurannan päätavoitteita.

Toisaalta monet pyöräilyn mallit hyödyntävät laskentojen ja seurannan tuottamia aineistoja lähtötietona. Aineistojen kattavuus, edustavuus ja oikeellisuus edesauttavat mallien tuottamien ennusteiden tarkkuutta.

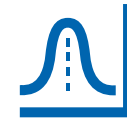
Alkuvaiheessa keskeisintä on keskittyä kävelyn ja pyöräilyn seurannan systematisointiin, laskentaverkon edustavuuden arviointiin ja laadukkaasti aineiston luomiseen. Mallintamisen menetelmät eivät voi määrittellä seurannan tavoitteita, vaan niiden avulla tuotetaan datasta tietoa tavoitteiden toteutumisen mittaamiseksi.

Laadukkaat seurannan aineistot mahdollistavat kehittymisen seurannan lisäksi mm. investointien vaikutusten arvioinnin, kunnossapidon priorisoinnin ja pyöräilyn turvallisuuden analysoimisen.

**Väyläviraston pyöräilyn seurannan tavoitteena on määrien seurannan systematisointi, jota voidaan tukea mallintamisen menetelmillä:**



Jatkuvien laskentojen virheenkorjaus



Otoslaskentojen hyödyntäminen



Trendien tunnistaminen



Laskentojen kehittäminen

# Kävelyn ja mikroliikkumisen seurannassa voidaan hyödyntää samankaltaista lähetymistapaa



Kävelyn seuranta-aineistojen analysointi on mahdollista vastaavin menetelmin kuin pyöräilyn aineistot, erityisesti tietojen korjaaminen, täydentäminen ja jalostaminen tiedoksi.

Kävely vaatii kuitenkin omat korjauskertoimensa. Laskentamenetelmästä riippuen kävelyä ei välttämättä voi erottaa pyöräilystä, jolloin skaalauskerroin on sekaliikenteen kerroin.



Liikkumispalveluista syntyy operaattoreille tarkkoja aineistoja, joita voidaan hyödyntää osana kävelyn, pyöräilyn ja muiden aktiivisten kulkumuotojen seurantaan. Tiedon saamiseksi operaattoreiden kanssa voidaan tehdä sopimuksia, joilla tietoa voidaan saada seurannan tueksi.

Kuten pyöräilyn joukkoistetuissa aineistoissa, otoksen edustavuuteen tulee suhtautua varauksella. Uudet mikroliikkumisen palvelut keskittyvät suurille kaupunkiseuduille.

# Suurin hyöty mallintamisesta saadaan, kun sen käyttöä ohjaavat seurannan tavoitteet



## Seurannan tavoitteiden ja mittareiden kehittäminen

Seurannan tavoitteiden määrittely ja käytettävien mittareiden avulla voidaan rajata, millaisia mallintamisen menetelmiä tarvitaan aineistojen muuntamiseen hyödynnettävään muotoon.

Tavoiteasetannassa on hyödyllistä huomioida synergiat valtakunnallisen liikenne-ennustemallin lähtötietojen tuotannossa.



## Laskentaverkon kehittäminen ja kattavuuden varmistaminen

Seurannan ensisijainen tavoite on toiminnan systematisointi. Mallintamisen menetelmät, jotka tukevat laskentaverkon kehittämistä ja raaka-aineistojen muuntamista datasta tiedoksi auttavat systematisoinnissa. Mallintamisen avulla nykyisistä jatkuvien laskentojen ja otoslaskentojen aineistoista saadaan suurin hyöty irti.



## Mallintamisen kyvykkyyksien kehittäminen nousujohteisesti

Mallintamisen kyvykkyyksien kehittäminen nousujohteisesti. Kyvykkyydet ja uudet datalähteet mahdollistavat seurannan laajentamisen uusiin metriikoihin, kuten pyöräilyn sujuvuuteen tai eri tietolähteiden fuusioimiseen.

Kyvykkyyksien rakentamisessa tulee huomioida seurannalle määriteltävät tavoitteet ja niiden vaatimukset.



# Lähteet



# Lähteet

- Brauer A, Mäkinen V & Oksanen J. 2021. Characterizing cycling traffic fluency using big mobile activity tracking data. *Computers, Environment and Urban Systems* 85.
- Brown MJ, Scott DM & Páez A. 2022. A spatial modeling approach to estimating bike share traffic volume from GPS data. *Sustainable Cities and Society* 76.
- Brum-Bastos V, Ferster CJ, Nelson Trisalyn & Winters M. 2019. Where to put bike counters? Stratifying bicycling patterns in the city using crowdsourced data. *Transport Findings*.
- Dadshova B & Griffin GP. 2020. Random parameter models for estimating statewide daily bicycle counts using crowdsourced data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Volume 84.
- El Esawey M. 2018. Bicycle Traffic Volume Estimation: Comparison of Historical Average and Count Models. *Journal of Urban Planning and Development*. 144(2).
- El Esawey M & Mosa AI. 2015. Determination and Application of Standard K Factors for Bicycle Traffic.
- Ermagun A, Lindsey G & Hadden Loh T. 2018. Bicycle, pedestrian, and mixed-mode trail traffic: A performance assessment of demand models. *Landscape and Urban Planning* 177, 92–102.
- Fan W, Lin Z & Liu S. 2021. Bicycle Volume: Counting Machine Validation & Correction, Estimating & Forecasting, and Analysis of Injury Risk. *NCDOT Project 2020-43*.
- Gosse CA & Clarens A. 2014. Estimating Spatially and Temporally Continuous Bicycle Volumes by Using Sparse Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2443, 115–122
- Hankey S, Lu T, Mondschein A & Buehler R. 2014. Spatial models of active travel in small communities: Merging the goals of traffic monitoring and direct-demand modeling
- Hillo K, Kauppinen E, Keränen M & Vesajoki T. 2016. Mallinnusmenetelmiä pyöräliikenteen suunnitteluun ja arviointiin. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä* 21/2016.
- Hillo J, Ketolainen T & Pyhäjärvi V. Kävelyn ja pyöräliikenteen laskentajärjestelmä. *Väyläviraston julkaisu* 69/2021.
- Johnstone D, Nordback K & Lowry M. 2017. Collecting Network-wide Bicycle and Pedestrian Data: A Guidebook for When and Where to Count. *Transportation Research and Education Center, Portland State University*.
- Kondo MC, Morrison C, Guerra E, Kaufman EJ & Wiebe DJ. Where do bike lanes work best? A Bayesian spatial model of bicycle lanes and bicycle crashes. *Safety Science* 103, 225–233.
- Leao SZ, Lieske SN, Conrow L, Doig J, Mann V & Pettit CJ. 2017. Building a National-Longitudinal Geospatial Bicycling Data Collection from Crowdsourcing. *Urban Science* 1(23).
- Liu C, Tapani A, Kristoffersson I, Rydergren C & Jonsson D. 2020. Development of a large-scale transport model with focus on cycling. *Transportation Research Part A* 134, 164–183.
- LTRC. 2019. Pedestrian and bicycle count data collection and use – A guide for Louisiana. *LTRC Project 16-4SA: Pedestrians and Bicyclists Count: Developing a Statewide Multimodal Count Program – Appendix D*.
- Minnesotan yliopisto. 2020. Monitoring and Modeling Bicycle and Pedestrian Traffic. *Bike Ped Data Collection & Monitoring Multi-state Workgroup Background for September 2020 Colloquium*.
- Moltved NEW, Clausen F, Jagielska Z, Overgård Hansen C & Nielsen TAS. 2017. Monitoring change in cycling with the Danish bike-traffic index. *Proceedings from the Annual Transport Conference at Aalborg University*
- NACTO. 2022. Making Bikes Count. *Urban Bikeway Design Guide Working Paper*.
- Nelson T, Roy A, Ferster C, Fischer J, Brum-Bastos V, Laberee K, Yu H & Winters M. 2021. Generalized model for mapping bicycle ridership with crowdsourced data. *Transportation Research Part C* 125.
- Nordback K. 2015. Guide to Bicycle & Pedestrian Count Programs. *Transportation Research and Education Center, Portland State University*.
- Nordback K, O'Brien S & Blank K. 2018. Bicycle and Pedestrian Count Programs: Summary of Practice and Key Resources. *Pedestrian and Bicycle Information Center*.
- Nordback K, Kothuri S, Johnstone D, Lindsey G, Ryan S & Raw J. 2019. Minimizing Annual Average Daily Nonmotorized Traffic Estimation Errors: How Many Counters Are Needed per Factor Group? *Transportation Research Record* 1–16.
- Nordengen S, Bo Andersen L, Riiser A, Solbraa AK. 2021. National Trends in Cycling in Light of the Norwegian Bike Traffic Index. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.
- Oskarbski J, Birr K & Zarski K. 2021. Bicycle Traffic Model for Sustainable Urban Mobility Planning. *Energies* 14.
- Roll JF & Proulx FR. 2018. Estimating Annual Average Daily Bicycle Traffic without Permanent Counter Stations. *Transportation Research Record* 2672(43), 145–153.
- Tarnanen A, Salonen M, Willberg E & Toivonen Tuuli. *Pyöräilyn reitit ja sujuvuus. Kaupunkiympäristön julkaisu* 2017:1. Helsinki.
- Wallentin G & Loidl M. 2015. Agent-based Bicycle Traffic Model for Salzburg City. *GI\_Forum Journal of Geographic Information Science* 1, 558–566.
- Wierbos MJ, Knoop VL, Hänseler FS & Hoogendoorn SP. 2020. A macroscopic flow model for mixed bicycle-car traffic. *Transportmetrica A: Transport Science* 17(3).



Väylävirasto  
Trafikledsverket

Verkkójulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-405-038-8