

# Tieverkon kunnan stokastinen ennustemalli ja sen soveltaminen riskienhallintaan

---

## Projektisuunnitelma

11.2.2009

Toimeksiantajat: Pöyry Infra Oy (Pekka Mild)  
Tiehallinto (Vesa Männistö)

Projektityöryhmä: Lars Baarman (projektipäällikkö)  
Olli Eskola  
Noora Hyttinen  
Janne Laitonen  
Juha Martikainen  
Martti Paatela  
Tommi Rantanen

# Työn lähtökohdat ja tavoitteet

Työn toimeksiantona on rakentaa stokastinen ennustemalli Suomen tieverkon kunnosta ja sen kehityksestä Tiehallinnon käyttöön. Ennustemallilla on kaksi päätavoitetta, tiestön rappeutumistodennäköisyyksien ennustaminen sekä toisaalta luottamusvälin estimointi kuntoennusteelle riskianalyysiä varten.

Tiehallinnolla on käytössä viisiportainen kuntoluokitus kuvaamaan valtakunnan kunkin tiepätkän kuntoa. Koko tieverkostoa mitataan säännöllisesti ja mittauksista saatujen suureiden (mm. urasyvyys ja vauriot) perusteella määrätään tien kuntoluokka. Kuntoon vaikuttavia muuttujia on kymmeniä, ja lisäksi tiestöstä on tallennettu muita tien tyyppiä kuvaavia tekijöitä kuten sen ikä, liikennemäärä ja tiepiiri (maantieteellinen sijainti).

Dataa yhden kuntoluokan putoamistodennäköisyyden mallintamiseen on käytössä yhden mittausvuoden ajalta. Jokaiselta tieverkon 100m pätkältä tiedetään tien kunto, ja parinkymmenen muun muuttujan arvot. Yksittäisen tienpätkän (kunto)historiaa ei siis tiedetä, mutta tieverkossa on kaikenikäisiä teitä uusista 30 vuotta vanhoihin. Näiden ajatellaan kertovan kunnan putoamistodennäköisyyksistä, kun vertaillaan muutoin samantyyppisiä, mutta eri-ikäisiä teitä keskenään.

Nykyisellään Tiehallinto käyttää kunnan ennustamiseen mm. Markov-ketjuun perustuvaa menetelmää, jonka kahteen käyttörajoiukseen halutaan parannus. Nykyinen malli ei ota huomioon tiestön ikää (vanhemmat huononevat todennäköisemmin), ja antaa kuntoennusteelle pelkän piste-estimaatin riskeistä kertovan luottamusvälin sijaan.

Työn tavoitteena on rakentaa uusi, edellä mainitut asiat huomioiva malli, johon ikä muuttuja vaikuttaisi useiden muiden riippuvuuksien lisäksi. Vahvana kandidaattina ja lähtökohtana on tutkia dynaamisen Bayes-verkon sopivuutta tehtävään. Kun Bayes-verkolla on saatu selville muuttujien vaikutussuhteet, riippuvuudet ja ehdolliset todennäköisyysjakaumat, lasketaan kunkin kuntoluokan ennusteelle varianssi ja hyödynnetään tätä tietoa riskienhallintaan. Tavoitteena on tehdä Value at Risk -tyyppinen arvio kuvaamaan, kuinka suuri vaara on että jonakin vuonna koko tieverkon kunto romahtaa paljon ennustettua enemmän, jolloin kustannuksetkin nousivat hallitsemattomasti.

## Toimintasuunnitelma

### Lähestymistapa perusteluineen ja malli

Päällystettyjen teiden kuntoa voidaan mitata monella eri tavalla. Ilmiön stokastisen luonteen vuoksi erilaisia todennäköisyysmalleja ja stokastiikkaan perustuvia menetelmiä voidaan käyttää myös teiden kunnan mittaamiseen ja ennustamiseen. Suomen tieverkkoon ei ole kuitenkaan sovellettu minkäänlaisia todennäköisyyteen perustuvia dynaamisia malleja. Tämän vuoksi työssä käytetään ensisijaisesti Bayes-verkkoihin pohjautuvaa lähestymistapaa tutkia teiden kuntoa. Eräs syy Bayes-verkkojen hyödyntämiseen tässä projektissa on se, että niiden avulla voidaan mahdollisesti tuottaa tarkempia kuntoennusteita ja mallia voidaan myös soveltaa tulevaisuudessa kuvaamaan kuntoriskien suuruutta.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella tieverkostojen kuntoa on jo mallinnettu useammalla erilaisella tavalla. Osa malleista perustuu stokastisiin malleihin ja osa regressiomalleihin. Täten vertailukohtia aiemmista

tutkimuksista löytyy runsaasti. Projektiryhmän tarkoituksena onkin tutkia näitä erilaisia tapoja teiden kunnan mallintamiseen ja hyödyntää tätä tutkimustietoa Bayes-verkkoihin perustuvan mallin arvioimisessa ja rakentamisessa.

Projektityöryhmän tarkoituksena on ensin selvittää, minkälaisilla ohjelmistoilla Bayes-verkkoja voidaan kätevimmin suunnitella ja hallita. Vaihtoehtoisia työkaluja ovat muun muassa Hugin- ja GeNIe-ohjelmistot, jotka tarjoavat monipuolisia lähtökohtia erilaisten Bayes-verkkojen rakentamiseen ja hallinnoimiseen. Pääpaino näiden kahden ohjelmiston välillä tulee olemaan GeNIe:ssä, joka on saatavilla ilmaiseksi ja kurssihenkilökunnan suositteluksi.

Tutkimusryhmän tarkoituksena on ensin rakentaa alustava malli GeNIe:llä ja saatuaan datan soveltaa tätä mallia kuvaamaan teiden kuntoa. Tässä vaiheessa täytyisi nopeasti selvittää, onko tällainen data ensinnäkin oikea kuvaamaan teiden kuntoa ja toisekseen, onko tällainen mallinnustapa hyväksyttävä kuvaamaan kyseistä ilmiötä. Bayes-verkkojen idea perustuu erilaisiin tekijöihin, joilla on jonkinasteisia riippuvuussuhteita keskenään. Bayes-verkoissa näitä riippuvuussuhteita kuvataan yhdysnuolilla eri tekijöiden välillä ja tarkoituksena on määrittää nämä eri ehdolliset todennäköisyydet, jotka liittyvät eri osatekijöiden välille.

Kehitettyä Bayes-verkkoa on tarkoitus tämän jälkeen validoida erilaisin tavoin. Tutkimusryhmän tarkoituksena on myös verrata kyseisen mallin antamia tuloksia Tiehallinnon nykyisiin ennusteisiin.

Mallissa on tarkoitus näkyä tien iän, liikenteen määrän ja tielle tehtyjen edellisten toimenpiteiden vaikutus tien kuntoluokitukseen. Ajatuksena on ottaa mukaan myös olosuhteita kuvaava tekijä, joka kertoo esimerkiksi roudan vaikutuksen tien kuntoon. Roudan suhteen ongelmana tosin on, ettei sitä kuvaavaa muuttujaa ole mittausdatassa. Mainitut kolme eri tekijää tulivat Pöyryn taholta selvästi esille tärkeimpinä muuttujina, joiden täytyy olla tässä mallissa mukana. Data sisältää myös paljon muitakin muuttujia, mutta mallinrakennus saattaa mennä kovinkin monimutkaiseksi, jos yritetään muodostaa kausaaliset suhteet kaikkien eri tekijöiden välillä.

## Tehtävät toimenpiteet

### Kirjallisuuskatsaus

Etsitään artikkeleita tieverkoston kunnan ennustamiseen käytetyistä erilaisista malleista. Tähän mennessä on löydetty artikkeleja, joissa on käytetty Markov-malleja ja neural network -malleja, yhdessä myös Bayes-verkkoa.

### Datan tarkastelu

Tutkitaan datasta, mitkä mitatut arvot tai muut tekijät näyttäisivät vaikuttavan teiden kunnan muuttumiseen ja ovatko ne samoja, joita olemme jo valmiiksi miettineet.

### Mallin strukturointi ja rakentaminen

Suunnitellaan Bayes-verkko, jonka avulla voidaan ennustaa kuntojakautumaa yhden ja useamman vuoden päähän. Malli rakennetaan GeNIe-ohjelmalla.

### Matemaattinen validointi

Tutkitaan, voidaanko mallia rakentaa dynaamisena, vaikka mittaustuloksia on vain yhden mittauksen ja pätevätkö alussa tehtävät oletukset, että voidaan käyttää useiden tienpätkien tietoja yhtenä tienä eri mittauskertoina. Mallin tueksi etsitään kirjallisuudesta muita eri aiheisiin liittyviä tutkimuksia, joissa on tehty samoin.

## Mallin parametrien estimointi

Parametrit estimoidaan osan datan avulla GeNIe-ohjelman avulla saadulla Bayes-verkolla.

## Tietojen käsittely

Tutkitaan mallin avulla saatua kuntojakaumaestimaattia. Piste-estimaattien sijaan lasketaan luottamusvälit ja katsotaan, osuuko Tiehallinnon nykyisellä mallilla saatu ennuste tälle välille. Lasketaan Value at Risk ja varianssi.

## Mallin tarkastelu

Validoidaan malli eri datalla kuin parametrit on määritetty. Tarkastellaan mallin käyttökelpoisuutta eri puolella Suomea esim. toimiiko sama malli sekä rannikolla että Lapissa. Verrataan mallin ennustusta Tiehallinnon nykyisiin ennustemenetelmiin.

## Vertailu muihin malleihin

Verrataan saadun mallin vahvuuksia ja heikkouksia muihin malleihin. Nykyisin käytettäviä malleja ovat mm. Markov-mallit sekä PMS (Pavement Management System) hallintajärjestelmän tuottamat erilaiset ennuste- ja vaikutusmallit.

## Päätösoptimointi

Tutkitaan, mikä olisi optimaalinen tapa tehdä teiden korjauksia, jotta kustannukset jakautuisivat tasaisesti joka vuodelle.

## Resurssit

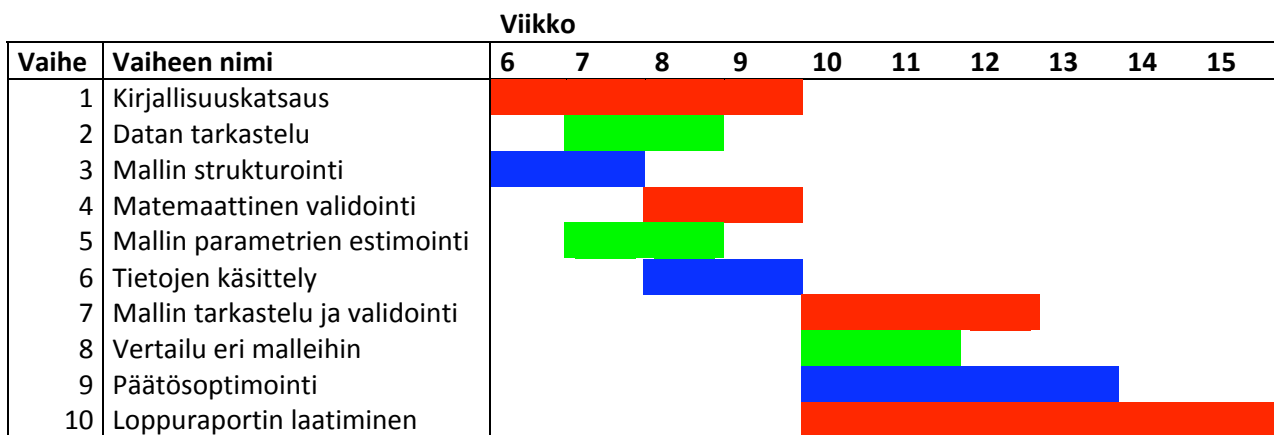
Projektiryhmä koostuu seitsemästä 3-N vuosikurssin opiskelijasta, joista jokaisella on systeemi- ja operaatiotutkimus pää- tai sivuaineena. Tehtävien jako on esitetty taulukossa 1. Jako on alustava ja sillä lähdetään liikkeelle, mutta sitä päivitetään tarvittaessa projektin edetessä.

*Taulukko 1. Tehtävien jako*

Henkilö(t)	Tehtävä
Juha	Kirjallisuuskatsauksen johtaminen
Olli	Kirjallisuuskatsauksen osatehtävä1 (alustavasti Markov-mallit)
Tommi	Kirjallisuuskatsauksen osatehtävä2 (alustavasti Bayes- ja neuroverkkomallit)
Janne & Lars	Datan tarkastelu
Janne & Lars	Mallin strukturointi
Martti & Juha	Matemaattinen validointi
Janne & Lars	Parametrien estimointi
Martti & Tommi	Tietojen käsittely
Janne & Lars	Mallin tarkastelu ja validointi
Noora	Vertailu eri malleihin
Noora & Olli	Päätösoptimointi
Lars	Työtehtävien seuraaminen

## Aikataulu

Projektin aikataulu on esitetty seuraavassa kaaviossa. Kirjallisuusryhmä aloittaa tutustumalla kirjallisuuteen ja mahdollisuuksien mukaan kirjoittaa loppuraporttia jo melko aikaisessa vaiheessa. Aikataulun kannalta kriittisiä vaiheita ovat mallin strukturointi sekä parametrien estimointi. Myös datan tarkastelusta on muodostumassa kriittinen vaihe, koska ryhmä ei ole vielä saanut dataa käsiinsä. Työtehtävien etenemistä seurataan systemaattisesti ja tarvittaessa ryhmän muut henkilöt auttavat, mikäli jollain henkilöllä ilmenee ongelmia jossakin työvaiheessa. Tavoite on, että loppuraportti on kirjoitettu valmiiksi 10. huhtikuuta, eli viikkoon 15 mennessä.



Kuva 1. Projektin aikataulu

## Riskit

### Mittaustulokset

Mittaustulosten saamisesta saattaa muodostua aikataulun kannalta riski, jos tiedostoa ei saada ajoissa. Tiedoston suuruudesta johtuen datan käsittely saattaa olla myös hankalaa.

### Mallin toimivuus

Bayes-verkkoa ei ole aiemmin käytetty Suomessa kuvaamaan tieverkon kuntoa. Jos malli ei toimi, tarvitaan toinen lähestymistapa. Ei ole myöskään varmaa, voiko datasta saada toimivaa dynaamista mallia, kun teiden historia ei ole tiedossa.

### Matemaattinen validointi

Mallissa tutkitaan samat kriteerit (liikenteen määrä, päällystetyyppi, edellinen toimenpide) täyttäviä tienpätkiä samana tienä, jolloin saadaan teoriassa aikariippuvaista tietoa. Käytännössä ei tiedetä, voiko näin tehdä ja toimiiko malli oikein.