

**Eetu Hurtig**  
DI  
Destia Oy

# Heiluva rekka on onnettomusriski

## Ratkaisuksi tienpinnan profiilin analyysi

Tienpinnasta saadaan PTM-mittauksin tarkka pintamalli, jonka perusteella ajoneuvojen käyttäytyminen voidaan simuloida tietokoneella. Tämän tiedon perusteella voidaan löytää ajoneuvojen hallittavuutta heikentäviä tienkohtia.

Lähes 200 raskaan kaluston ajoneuvoa kaatuu Suomessa vuosittain. Suuren massan ja kuljetettavan lastin vuoksi onnettomuudet aiheuttavat henkilövahinkojen lisäksi taloudellista vahinkoa ja mahdollisesti haittaa ympäristölle. Onkin syytä kiinnittää erityistä huomiota siihen, miten tien kunto vaikuttaa raskaan kaluston turvalliseen liikkumiseen.

Tapahtuneiden raskaan kaluston onnettomuuksien perusteella voidaan kuljettajalla todeta olevan suuri merkitys onnettomuuksien syntyyn. Erityisesti suuri nopeus ja nopeat ohjausliikkeet aiheuttavat vaaratilanteita. Huono sää ja epätasainen

*Tienpitäjällä ei ole juuri mahdollisuuksia vaikuttaa kuljettajan käyttäytymiseen tai säähän, mutta tien kuntoon kyllä.*

tienpinta todistetusti kasvattavat onnettomusriskiä entisestään.

Tienpitäjällä ei ole juuri mahdollisuuksia vaikuttaa kuljettajan käyttäytymiseen

tai säähän, mutta tien kuntoon kyllä. Siksi onkin tärkeää, että tien ylläpitäjällä on mahdollisimman hyvä kuva tien kunnosta ja sen mahdollisista vaikutuksista tiellä liikkuviin ajoneuvoihin.

### Tienpinnan profiili voidaan määrittää tarkasti

Suomessa päällystettyjen teiden pintakunto mitataan vuosittain noin 30 000 kaistakilometriltä. Mittauksen perusteella tienpinnan profiili saadaan määritettyä tarkasti. Sen perusteella lasketaan useita tien kuntoa kuvaavia parametreja, mm. urasyvyys ja tasaisuus, joiden perusteella pääasiassa ohjataan kunnossapidon toimenpiteitä.

Tarkka käsitys tieprofiilista antaa mahdollisuuksia laajempaankin hyödyntämiseen. Diplomityönä tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka mittaustietoa voidaan hyödyntää raskaan kaluston heilahteluriskin selvittämiseen. Työn loppuloksena esiteltiin menetelmä, joka arvioi

*Tienpinnan profiili mitataan palvelutasomittaus- eli PTM-autolla.*







*Raskaan kaluston kaatumisten ja hallinnan menetysten välttämiseksi vaaralliset tienkohdat on löydettävä mahdollisimman nopeasti. E18-tiellä Salossa.*

Kuva: Matti Vuolamo

raskaan kaluston heilahtelun voimakkuutta johtuen epätasaisesta tienpinnasta.

## Mittaus PTM-autolla

Suomessa tienpinnan profiili mitataan tehtävään erityisesti suunnitellulla palvelusmittausautolla (PTM), jonka edessä on 17 laseranturia sisältävä mittauspalkki. Mittauspalkin liikettä mitataan kiihtyvyyssanturilla ja gyroskoopilla. Lisäksi auton perässä on kaksi laseranturia. Näiden tietojen avulla saadaan laskettua mittauspalkin liike suhteessa tienpintaan. Täten auton liikkeen aiheuttamat muutokset palkin ja tienpinnan välisessä etäisyydessä saadaan huomioitua. Mittaustulosten perusteella saadaan tiestä muodostettua 3D-pintamalli, jota voidaan hyödyntää ajoneuvosimulointien tienpintana.

Mittauspalkin laserantureiden näytteenottotaajuus on 16 kHz, lisäksi ajourien kohdalla ja palkin keskellä on 64 kHz laseranturit, jotta tien karkeus saadaan mitattua. Ajonopeudella 80 km/h, näytteenottotaajuuden ollessa 16 kHz, on näytteenottoväli 1,39 mm.

Raskaan kaluston korin ominaistajuus on noin 1–4 Hz ja akseliston noin 10–16 Hz. Ajettaessa 80 km/h, on akseliston ominaistajuuden aallonpituus välillä 1,5–2,2 metriä. Tällöin Nyquistin teorian mukaan riittävä näytteenottoväli on 0,75

## Voimakas heilahtelu voi johtaa ajoneuvon hallinnan menetykseen tai pahimmassa tapauksessa kaataa ajoneuvon.

metriä. Laserantureiden näytteenottovälin voidaan täten todeta täyttävän tämän työn vaatimukset.

## Kaatumisherkyys selville tienpinnan profiilista

Raskaan kaluston korin kallistelun ominaistajuudet ovat alhaisia, tyypillisesti 1–4 Hz. Korin ominaistajuuteen vaikuttavat ajoneuvon massa ja jousituksen jäykkyys.

Raskaassa kalustossa akselisto on toinen merkittävä värähtelijä. Akseliston ominaistajuus on tyypillisesti 10–16 Hz, akseliston ominaistajuuteen vaikuttavat akseliston massa ja renkaiden jäykkyys.

Tienpinnan kaltevuus vaihtelee paikoin juuri raskaan kaluston kallistelun ominaistajuusalueella. Tämä voi aiheuttaa voimakasta heiluntaa. Tästä syystä olemme kiinnostuneet tienpinnan kaltevuuden vaihtelun taajuudesta.

Ajoneuvojen kaatumisherkyyttä kuvaavia menetelmiä on kehitelty useita. Tyypillisesti kaatumisherkyyttä tai kaatumisen riskiä pyritään laskemaan ajoneuvon kohdistuvista voimista ja kiihtyvyyksistä. Diplomityössä esiteltiin menetelmä, jolla heilahtelujen voimakkuutta voidaan arvioida tieprofiilin perusteella. Voimakas heilahtelu voi johtaa ajoneuvon hallinnan menetykseen tai pahimmassa tapauksessa kaataa ajoneuvon.

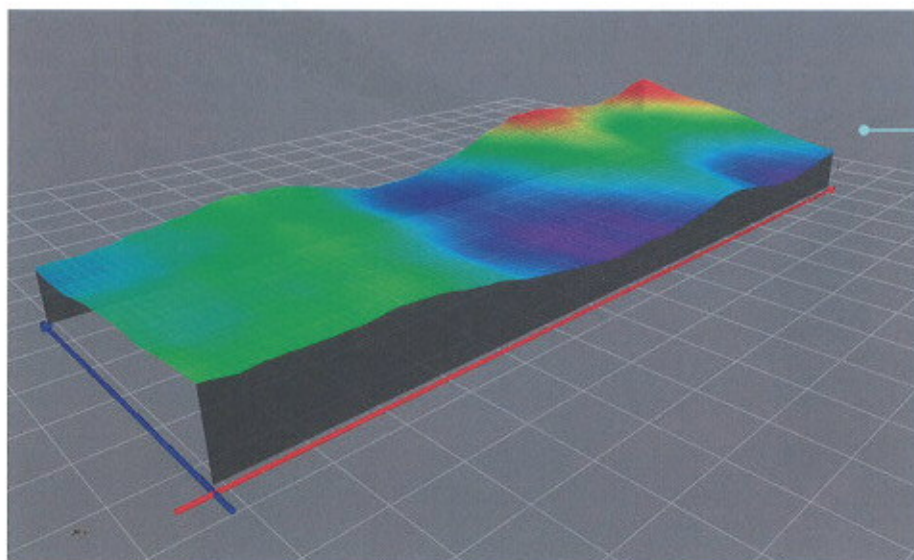
Uusi menetelmä perustuu tietoon raskaan kaluston ominaistajuuksista. Tiedetään, että mikäli tie sisältää ajoneuvon ominaistajuudelle osuvia sivukaltevuuden vaihteluita ajoneuvon kallistelu voimistuu.

## Ajoneuvomalli avuksi

Diplomityössä kehitettiin virtuaalinen ajoneuvomalli Matlab/Simulink-ohjelmistolla. Ajoneuvomallin todenmukaisuuden varmistamiseksi suoritettiin koejärjestely, jossa mitattiin kuormatun rekan perävaunun käyttäytymistä. Mitattavaksi valittiin perävaunu, koska ajoneuvoyhdistelmän hallinnan menetys alkaa usein juuri perävaunun hallinnan menetyksestä.

Kehitettyä ajoneuvomallia hyödynnettiin uuden laskentamenetelmän kehittelyssä ja eri menetelmien vertailussa. Virtuaalisen ajoneuvomallin avulla voi





3D-malli tienpinnasta.

tutkia heilahtelujen voimakkuutta tai kaatumisriskiä ajoneuvoon kohdistuvien voimien ja kiihtyvyyksien perusteella.

### Kallistelun voimakkuuden laskentamenetelmä

Kehitetty raskaan kaluston kallistelun voimakkuuden laskenta perustuu mitattuun tienpinnan profiiliin. Renkaiden ollettujen kulkureittien kohdalta lasketaan tienpinnan kaltevuus. Nopeusrajoituksen mukaisella nopeudella lasketaan tienpinnan kaltevuuden vaihtelun taajuussisältö.

Suodattamalla pois raskaan kaluston kallistelun ominaistajuuksien ulkopuo-

liset taajuudet jäljelle jäävät ainoastaan mahdolliset haitalliset taajuudet. Tarkastelemalla haitallisten kallistuksen vaihteluiden voimakkuutta ja sijoittumista, voidaan arvioida tienpinnan aiheuttaman heilahtelun voimakkuutta.

Kehitetyssä arviointimenetelmässä on erityisesti uutta se, että huomioidaan perättäisten kallistuksen vaihtojen aiheuttaman huomattavasti vaarallisemman tilanteen kuin yksittäinen samansuuruinen heitto.

Kehitettyä raskaan kaluston heilahtelun arvioivaa menetelmää verrattiin neljään olemassa olevaan menetelmään. Pelkästään tieprofiilin perusteella heilahtelun voimakkuutta arvioivia menetelmiä ovat RBCSV (*Rut Bottom Cross Slope Variance*) ja TRI (*Truck Ride Index*). DSI (*Dynamic Stability Index*) ja LTR (*Load Transfer Ratio*) perustuvat ajoneuvon hetkellisen liiketilän tarkasteluun.

Uuden menetelmän todettiin vastaavan pitkälti Ruotsissa kehitettyä RBCSV-menetelmää. Menetelmät tuottavat eriäviä tuloksia ainoastaan, kun kyseisellä tienkohdalla on useita toistuvia kallistuksen vaihtoja. RBCSV ei huomioi, että toistuvat ominaistajuuksilla olevat kallistuksen vaihdot aiheuttaisivat yksittäistä kallistuksen vaihtoa suuremman riskin. Muiden vertailtujen (LTR, TRI, DSI) menetelmien ei todettu soveltuvan haettuun käyttötar-koitukseen yhtä hyvin.

### Kaarteet jatkotarkasteluun

Kaatumisesta varoittava ja kaatumista ehkäisevä järjestelmä on tutkimusten perusteella osoitettu käyttökelpoiseksi. Järjestelmä vaatii monia ajoneuvon liiketilaa mittaavia antureita ja logiikan,

joka päätelee mitattujen suureiden avulla onko ajoneuvo hallinnassa. Kuljettajalle välitetään tieto ajoneuvon liiketilasta, tai järjestelmä ryhtyy itse suoriin toimenpiteisiin ajonvakuutusjärjestelmän tavoin. Diplomityössä aihetta lähestyttiin kuitenkin tien ylläpitäjän näkökulmasta.

Kehitetty menetelmä ei huomioi mutkien vaikutusta. Mutkien kuitenkin tiedetään kasvattavan raskaan kaluston heilahtelua. Tien kaarresäde on nykyään mitattava suure, joten jatkokehittelyn seuraavassa vaiheessa voitaisiin selvittää ohjausliikkeen aiheuttaman sivuttaiskiivtyvyyden vaikutusta. Myös mutkien kallistuksella on suuri merkitys liikenneturvallisuuteen. Mutkien kallistusta voitaisiin tarkastaa erillisellä työkalulla.

### Menetelmästä hyötyä kunnossapitoon ja onnettomuustutkintaan

Kehitetty menetelmä tullee olemaan yksi uusi tien kuntoa kuvaava parametri. Näin saadaan tieto raskaalle kalustolle vaarallisista tienkohdista. Tämän tiedon perusteella kyetään kohdistamaan tien kunnossapitoa entistä tarkemmin. Näin kyetään ennalta ehkäisemään raskaan kaluston onnettomuuksia ja täten parantamaan yleistä liikenneturvallisuutta.

Erytishuomiota voidaan arvioinnissa kiinnittää esimerkiksi pohjavesialueilla, joissa vaarallisten aineiden kuljetuksen ympäristövaikutukset olisivat huomattavat.

Raskaan kaluston onnettomuustutkinnassa olisi syytä suorittaa tieprofiilin mittaus. Tienpinnan muotojen osuus onnettomuuden syntyyn saataisiin mittauksen perusteella selvitettyä perusteellisemmin kuin nykyisillä mittauksilla ja silmämääräisillä arvioilla. Lisäksi tietoa voitaisiin käyttää arviointimenetelmän kehittämiseen.

### Lähde

Hurtig, E. Raskaan kaluston kallistelun voimakkuuden arvioiminen tienpinnan profilista.

Diplomityö. Aalto Yliopiston Teknillinen Korkeakoulu. Auto- ja työkonetekniikka. Espoo, 2010.

*Kehitetyssä arviointimenetelmässä on erityisesti uutta se, että huomioidaan perättäisten kallistuksen vaihtojen aiheuttaman huomattavasti vaarallisemman tilanteen kuin yksittäinen samansuuruinen heitto.*