



Väylävirasto
Trafikledsverket

Väyläviraston julkaisu
4/2022

Esiselvitys ERTMS/ETCS- kaltevuusprofiileista Kaltevuustiedon käyttö ERTMS/ETCS- tasolla 2



Esiselvitys ERTMS/ETCS- kaltevuusprofiileista

Kaltevuustiedon käyttö ERTMS/ETCS-tasolla 2

Väyläviraston julkaisuja 4/2022

Kannen kuva: Jussi Nieminen, Proxion Oy

Verkkójulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-940-0

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
puh. 0295 343 000

Lauri Aarnio, Lassi Hannikainen, Emma Riikonen, Jussi Nieminen, Jarno Auvinen: Esiselvitys ERTMS/ETCS-kaltevuusprofileista - Kaltevuustiedon käyttö ERTMS/ETCS-tasolla 2. Väylävirasto Helsinki 2022. Väyläviraston julkaisuja 4/2022. 36 sivua ja 1 liite. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-940-0.

Avainsanat: kulunvalvonta, kaltevuus

Tiivistelmä

Rataverkon junakulunvalvontajärjestelmän muutos nykyisestä JKV-järjestelmästä ERTMS/ETCS-järjestelmän tasolle 2 muuttaa kaltevuustiedon toimitustavan yksikölle ja asettaa tietosisällölle laajempia vaatimuksia nykyjärjestelmään verrattuna. ERTMS/ETCS-tason 2 junakulunvalvontajärjestelmässä yhtenä kriittisenä toimintona lähetetään yksikölle ajolupa (Movement Authority) dataradioviestinä, jonka tietosisältönä ovat muun tiedon lisäksi radan kaltevuudet koko ajoluvan matkalta.

Radan kaltevuusarvojen optimoinnilla ja yksinkertaistamisella voidaan saavuttaa radioverkon kapasiteettihyötyjä sekä virtaviivaistaa ERTMS/ETCS-järjestelmän vaatimaa datasuunnittelua. Optimointia ja yksinkertaistamista tulee tarkastella turvallisuusnäkökulmasta, joka on riippuvainen käytettävän kaluston jarrutus- ja kiihtyvyyssominaisuuksista. Käytännön tasolla radan kaltevuusarvojen optimointia ja yksinkertaistamista voidaan suorittaa niin, että muutokset voidaan simuloinnilla ja testaamisella todeta turvallisiksi.

Tulevina kehityskohteina kaltevuustietojen käytössä ovat radan kaltevuustiedon päivittäminen olemassa olevilta rataosuuksilta sekä tiedon koontiin soveltuvan ratarekisterijärjestelmän luonti. Nykyinen geometriatieto on sirpaloitunut useaan paikkaan, mikä suunnittelutyössä aiheuttaa tarpeen ratakaltevuustiedon todentamiseen useasta lähteestä.

Lauri Aarnio, Lassi Hannikainen, Emma Riikonen, Jussi Nieminen, Jarno Auvinen: Preliminär utredning om ERTMS/ETCS lutningsprofiler - Användning av lutningsdata på ERTMS/ETCS-nivå 2. Trafikledsverket. Helsingfors 2022. Trafikledsverkets publikationer 4/2022. 36 sidor och 1 bilaga. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-940-0.

Sammanfattning

Bytet av tågskyddssystem på bannätet från det nuvarande JKV-systemet till nivå 2 i ERTMS/ETCS-systemet ändrar sättet att överlämna lutningsdata till enheten och ställer bredare krav på datainnehållet jämfört med nuvarande system. En av de kritiska funktionerna i tåg-skyddssystemet på ERTMS/ETCS-nivå 2 är sändning av körtillstånd till enheten (Movement Authority) som ett dataradiomeddelande, vars datainnehåll utöver övrig data omfattar bland annat lutningarna på banan på hela körtillståndssträckan.

Genom att optimera och förenkla banlutningsvärdena kan kapacitetsfördelar i radionätet uppnås och den datadesign som krävs av ERTMS/ETCS-systemet kan effektiviseras. Optimeringen och förenklingen ska granskas ur säkerhetssynvinkel, som är beroende av broms- och accelerations-egenskaperna hos den materiel som används. På praktisk nivå kan optimering och förenkling av lutningsvärdena på banan utföras så att förändringarna kan konstateras vara säkra genom simulering och testning.

De framtida utvecklingsobjekten i användningen av lutningsdata utgörs av uppdatering av lutningsdata om banan för existerande banavsnitt och framtagande av ett banregistersystem som lämpar sig för sammanställning av data. Aktuell geometridata är fragmenterad till flera ställen, vilket gör det nödvändigt att i planeringsarbetet verifiera lutningsdata om banan från flera källor.

Lauri Aarnio, Lassi Hannikainen, Emma Riikonen, Jussi Nieminen, Jarno Auvinen: Preliminary study of ERTMS/ETCS gradient profiles - Use of gradient data at ERTMS/ETCS Level 2. Finnish Transport Infrastructure Agency Helsinki 2022. Publications of the FTIA 36 pages and 1 appendix. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-940-0.

Abstract

The change in the rail network's train control system from the current JKV system to ERTMS/ETCS Level 2 changes the method how gradient data is transmitted to the unit and imposes broader requirements for data content compared to the current system. As an individual critical function in the ERTMS/ETCS Level 2 train control system, movement authority is transmitted to the train as a data radio message with data content that includes, in addition to other information, the track gradient data from the entire length of the movement authority.

Optimisation and simplification of track gradient values can achieve benefits in radio network capacity and streamline the data design required by ERTMS/ETCS. Optimisation and simplification should be considered from a safety perspective, which depends on the braking and acceleration characteristics of the rolling stock to be used. On a practical level, optimisation and simplification of track gradient values can be performed so that changes can be established to be safe by using simulation and testing.

Future development targets in the use of gradient data include updating track gradient data from existing track sections and creating a track register system suited for collecting data. Current geometry data has been fragmented in several locations, which causes the need in design work to verify track gradient data from multiple sources.

Esipuhe

Tämän esiselvityksen tarkoituksena on esitellä eurooppalaisen rautatieliikenteen hallintajärjestelmän eli ERTMS/ETCS-järjestelmän kaltevuusprofiileita, kaltevuustietojen lähteitä, kaltevuustietojen tuottamista sekä simulointeja. Selvitys korostaa tarvetta entistäkin tarkemmille ja kattavemmille rataverkon kaltevuustiedoille. Suomeen valittu jatkuvatoiminen ERTMS/ETCS-tason 2 junakulunvalvontajärjestelmä voidaan optimoida ominaisuuksiltaan liikenteen kannalta parhaan kapasiteetin tuottavaksi, kun suunnittelussa voidaan käyttää mahdollisimman tarkasti rataverkon todellisuutta vastaavia kaltevuustietoja. Paremmilla tiedoilla järjestelmästä saadaan vähemmän liikennettä rajoittava, kun suunnittelussa ei jouduta liiaksi varautumaan rataverkon ominaisuuksia kuvaaviin lähtötietoihin liittyviä epävarmuuksiin.

Selvitystyön projektiorganisaatioon kuuluivat:

Aki Härkönen	Väylävirasto
Lauri Aarnio	Proxion Plan Oy
Lassi Hannikainen	Proxion Plan Oy
Emma Riikonen	Proxion Plan Oy
Jussi Nieminen	Proxion Plan Oy
Jarno Auvinen	Proxion Plan Oy

Helsingissä helmikuussa 2022

Väylävirasto
Kunnossapito-osasto / Radanpidon keskitetyt tehtävät

Sisältö

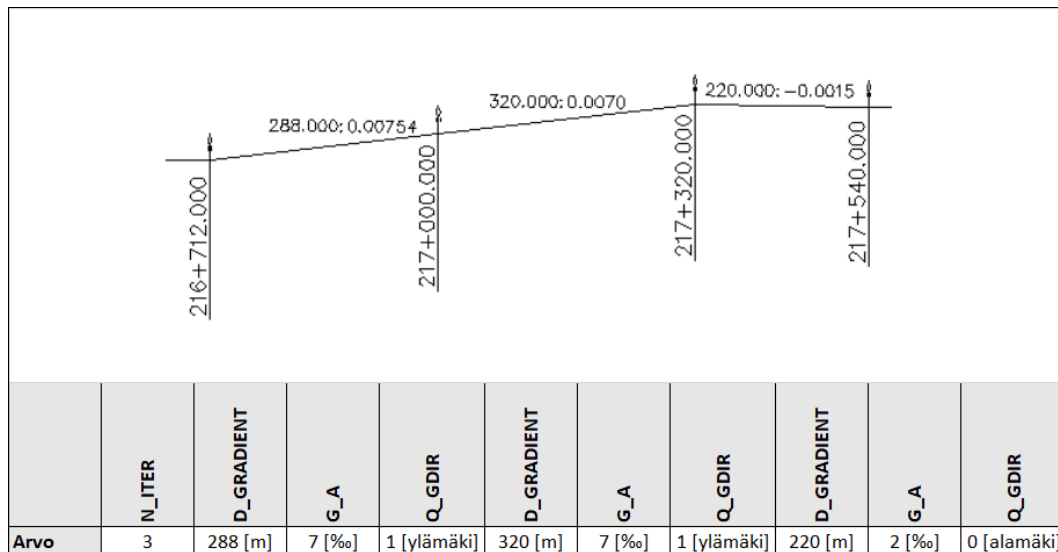
ESIPUHE	6
SISÄLTÖ	7
1 KALTEVUUSPROFIILIN KUVAUS.....	8
1.1 Tarvittavan kaltevuustiedon määrittely.....	10
1.1.1 Radan kaltevuuksien vaikutus jarrutusmatkaan	10
1.1.2 Kaltevuuksien vaikutus ERTMS/ETCS-radon varusteluun	10
1.1.3 Kaltevuusarvojen laskennallinen määrittely ja muuntaminen.....	12
2 KALTEVUUSTIEDOT REKISTEREISSÄ	15
2.1 Nykyinen geometriarekisteri	15
2.2 Geoviite.....	15
2.3 RINF-rekisteri	15
2.4 Lähtötietoformaatit ja niiden käytettävyys	16
3 KALTEVUUSPROFIILIN TUOTTAMISEN EDELLYTYKSET.....	17
3.1 Raja-arvot	20
3.2 Nykyisen geometriatiedon kehityskohteet.....	21
4 KALTEVUUSPROFIILIN SIMULOINTI.....	22
4.1 Ohjelmistot.....	22
4.2 Vaikutukset suunnitteluprosessiin	24
4.3 Parametrit	28
5 KALTEVUUSPROFIILIN LAADINTAMENETELMÄT.....	30
5.1 Kehittäminen ja kuvaaminen	30
5.2 Kaltevuusprofiilin suunnittelun yhdenmukaistaminen	32
5.3 Esimerkki kaltevuusprofiilin luomisesta	33
LÄHDELUETTELO.....	36
LIITTEET	
Liite 1 Yleiskaaviossa esitettyjä kaltevuuksia (kuva 24)	

1 Kaltevuusprofiilien kuvaus

Junan jarrutuskykyyn vaikuttaa merkittävästi tapahtuuko jarrutus ylä- vai alamäkeen. Rataverkon kaltevuusvaihteluiden huomioiminen on tärkeä osa vetoyksikön jarrutuskyvyn ennakkointia. ETCS-veturilaite tarkkailee reaaliaikaisesti vetoyksikön jarrutuskykyä rataverkon muuttuvissa kaltevuusolosuhteissa.

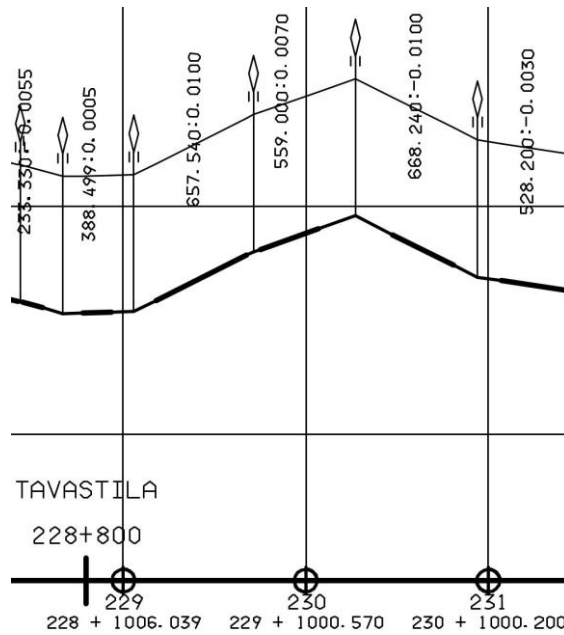
Uuden kulunvalvontajärjestelmän kaltevuusprofiilien suunnittelussa tulee pyrkiä selkeyteen ja yksinkertaisuuteen. ERTMS/ETCS-järjestelmän suunnittelussa tulee huomioida mahdollisuuksien mukaan ajotavan taloudelliset vaikutukset, sekä pystykaltevuusien asettamat rajoitukset liikenteen sujuvuudelle. Rajoittavina tekijöinä voidaan pitää esimerkiksi opastimien tai ajolupamerkkien sijoittamista jyrkkään mäkeen, jota pyritään välttämään yksikön mäkeen jäännin ehkäisemiseksi.

ERTMS/ETCS-järjestelmä käsittelee kaltevuustietoja ajolupaa mukailevana sarjana kaltevuuspisteitä, eli kaltevuusprofiileina. ETCS-veturilaite alkaa noudattamaan vastaanotettua kaltevuusprofiilia välittömästi siitä pisteestä, josta se on vastaanottanut kaltevuuspaketin 21. Kaltevuusprofiili voi sisältää enintään 32 kaltevuuspistettä, jotka määritetään kaltevuusprofiilipaketissa N_ITER-muuttujan avulla. Jokaiselle kaltevuuspisteelle syötetään kaltevuusjakson pituus (D_GRADIENT), kaltevuuden arvo (G_A) ja kulkusuunnan mukainen pystykoordinaattien muutos-suunta edelliseen kaltevuuspisteeseen nähden (ylä- tai alamäki, Q_GDIR). /1/



Kuva 1. Yksinkertaistettu esimerkki kaltevuusprofiilipaketin määrittelystä turvalliseen suuntaan pyöristetyillä kaltevuusarvoilla.

Turvalaitesuunnitelmissa kaltevuusprofiilien nykyisenä esitystapana nopeuskaaviossa (kuva 2) käytetään menetelmää, jossa taitepisteiden korkeus ja sijainti on ilmoitettu taitepisteiden välissä. Vastaavanlaista esitystapaa käytetään myös yleiskaavioissa.



Kuva 2. Kaltevuuden taitepisteitä nopeuskaaviossa.

ERTMS/ETCS-tasolla 1 kaltevuusprofiili toimitetaan baliisien välityksellä joko pää- tai esiopastinpisteellä, ja se on voimassa niin kauan kuin ETCS-veturilaitte vastaanottaa uuden kaltevuusprofiilin. ETCS-veturilaitteen tulee vastaanottaa uusi kaltevuusprofiili niin, että se on ETCS-veturilaitteen saatavilla vanhan loputtua ilman, että näiden välillä on epäjatkuvuuskohtia. Tasolla 2 kaltevuusprofiili toimitetaan radioverkon välityksellä, jolloin ETCS-veturilaitteen on mahdollista saada kaltevuustiedot jatkuvana tietona. Kaltevuuspaketti toimitetaan kuitenkin aina vähintään ajoluvan yhteydessä.

ERTMS/ETCS-tason 1 kulunvalvonnassa asetetaan poikkeustilanteissa tilapäisiä nopeusrajoituksia, jolloin paketilla 141 välitettävä oletuskaltevuusarvo voidaan lähettää ETCS-veturilaitteelle varsinaisen kaltevuusprofiilin puuttuessa. Pakettia 141 käytetään, kun pakettia 21 ei ole saatavilla. Toimintoa voidaan hyödyntää esimerkiksi niissä tilanteissa, kun ETCS-tason 1 radalla tulee asettaa kiireellisesti väliaikainen nopeusrajoitus. Baliisien tiedonsiirtokapasiteetin rajoitteista ja kiireellisestä muutostyöstä johtuen yksittäinenkin rajoitusalueen määräävin kaltevuusarvo riittää mahdollistamaan turvallisen liikennöinnin tilapäisen nopeusrajoitusalueen läpi. Paketti 141 sisältää kulkusuuntatiedon (Q_DIR), kaltevuuden suuntatiedon (Q_GDIR) sekä oletuskaltevuuden tilapäiselle nopeusrajoitusalueelle (G_TSR).

Sallitun jarrutusmatkan paketti 52 määrittelee kaluston jarrutusominaisuuksiin perustuvan hätä- ja käyttöjarrutusmatkan, joka vaikuttaa ETCS-veturilaitteen asettamaan nopeusrajoitukseen. Tässä paketissa kaltevuuden määrittämiseksi käytetään muuttujaa Q_GDIR(k), joka ilmoittaa kaltevuuden suunnan ja iteraatioiden määrän, sekä muuttujaa G_PBDSR(k), joka sisältää kaltevuuden suuruuden sekä iteraatioiden määrän.

1.1 Tarvittavan kaltevuustiedon määrittely

1.1.1 Radan kaltevuuksien vaikutus jarrutusmatkaan

Rataverkolla sijaitsevat kaltevuusvaihtelut vaikuttavat yksikön jarrutusmatkaan. Sujuvan liikenteen kannalta kaltevuusvaihtelut tulisi mahdollisuuksien mukaan mitoittaa pieniksi paikoissa, joissa pysähtyminen on mahdollista tai pakollista. Varsinkin jyrkät pystykaltevuudet saattavat aiheuttaa pysähtymistapauksissa ongelmia raskaalle yksikölle liikkeellelähdössä. Jyrkät alamäkilaltevuudet puolestaan saattavat lisätä huomattavasti yksikön jarrutusmatkaa, joka tulee huomioida määrittäessä alueen suurinta sallittua nopeutta.

Yksikön jarrutuksessa on huomioitava todellisen hidastuvuuden alkamiseen kuluva aika, joka muodostuu tarvittavan jarrupaineen kertymiseen kuluva ajasta. Yksiköiden jarrujärjestelmien eroina ovat käytettävät jarrulajit, jotka eroavat toisistaan teknisen rakenteensa johdosta. Jarrujärjestelmät ovat paineilma- tai sähköpneumaattisia järjestelmiä riippuen käytettävästä kalustosta.

Taulukko 1. Suomessa käytössä olevat junien jarrulajit.

Jarrulaji	Kuvaus	Käyttö
G	Hidas	Tavarajunille, joiden nopeus on 90 km/h tai alle
P	Nopea	Matkustajajunille, joiden suurin nopeus on 120 km/h tai alle Tavarajunat, joiden suurin nopeus on yli 90 km/h
R	Nopea ja tehokas	Matkustajajunat, joiden suurin nopeus yli on 120 km/h

Jarrupaineen muodostumiseen kuluva aika on junakokoonpanokohtainen. Erot jarrulajeissa ovat huomattavat ja ne konkretisoituvat jarrupaineen muodostumisaikoina: R-jarrulajin 3–6 sekunnista G-jarrulajin 18–30 sekuntiin. Tasaisempi jarrutustapahtuma pyritään pitkissä yksiköissä saavuttamaan hitaalla jarrusyylinterien täyttöajalla. Jarrujärjestelmien erojen lisäksi muita vaikuttavia elementtejä ovat mm. sääolosuhteet ja kaluston tekninen kunto. /2/

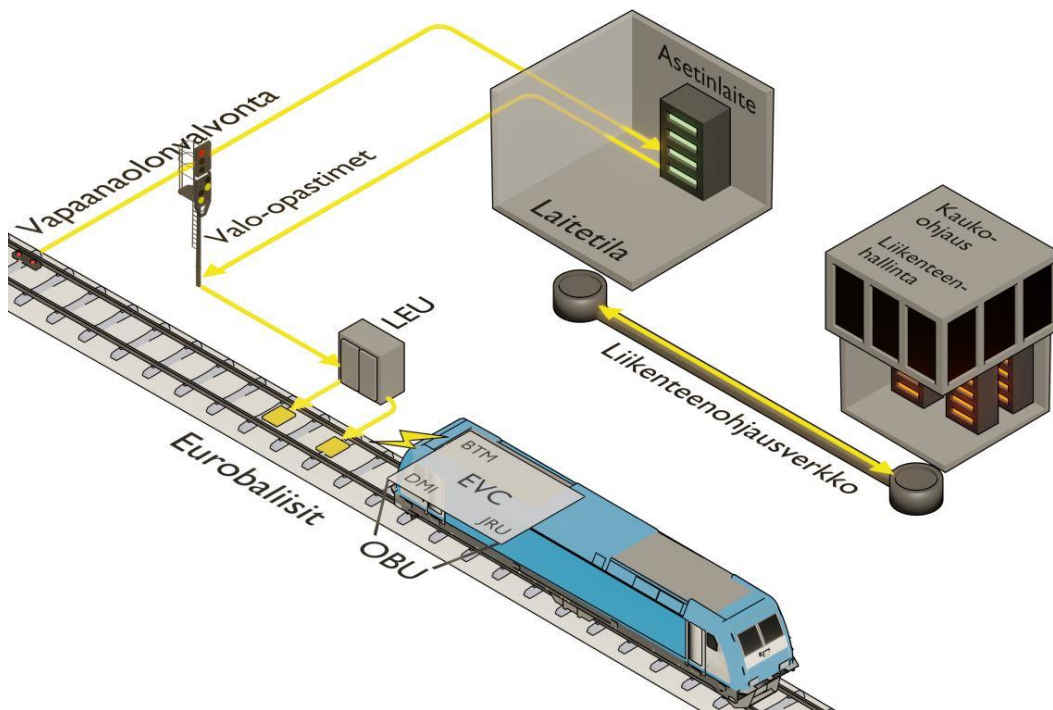
1.1.2 Kaltevuuksien vaikutus ERTMS/ETCS-radon varusteluun

Kaltevuuksien vaikutukset näkyvät myös ERTMS/ETCS-järjestelmällä varustetulla radalla ratalaitteiden sijoitusperusteissa. Sijoitusperusteissa on otettava huomioon jarrutusmatkat, jotka muuttuvat kaltevuusvaihteluiden sekä käytettävän junakaluston mukaisesti. ETCS-tasolla 2 muuttujana on lisäksi yksikön sijainnin korjaaminen baliisiryhmien ylityksissä, jolloin sijainninkorjaustarkkuus vaikuttaa jarrutusmatkojen laskemiseen veturilaitteella.

Yksinkertaisena esimerkkinä voidaan pitää tilannetta, jossa ajolupamerkki sijoitetaan jyrkän alamäkilaltevuuden loppuun, johon yksikön tulee pystyä pysähtymään. Tässä tapauksessa suunnitellaan ja sovitetaan kalustolle radan geometriaan ja pysähtymisvaatimukseen suhteutettu suurin sallittu linjanopeus, jolla pysähtyminen on mahdollista. Yksikön sijainninkorjaus on suunniteltava palvelemaan pysähtymisvaatimusta siten, että baliisiryhmiä on sijoitettava tarvittaville etäisyyksille ko. ajolupamerkistä.

ETCS-tasolla 1 yksikön kulunvalvonta toteutetaan pistemäisenä, jolloin yksikölle toimitetaan uusi ajolupa baliisien välityksellä yksikön ylittäessä ajolupaa välittävän baliisiryhmän. Pistemäisessä kulunvalvonnassa käytössä ovat näkyvät opastimet, jotka nykyisen JKV-kulunvalvonnan kaltaisesti antavat yksikön kuljettajalle visuaalisen tiedon yksikön kulkuluvasta.

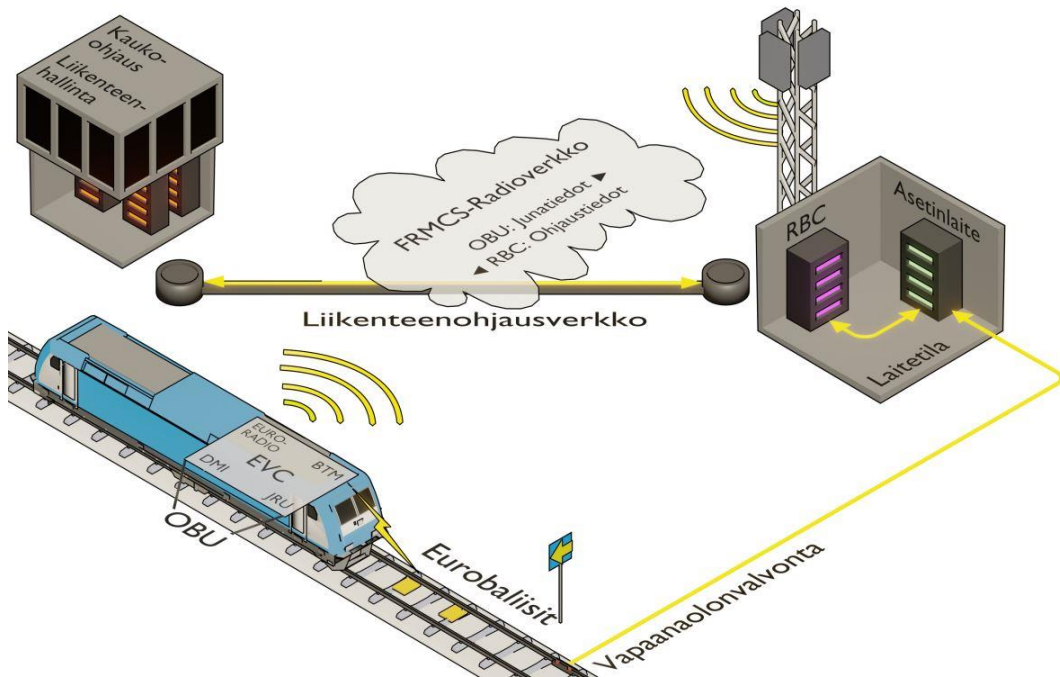
Kulkulupa voidaan normaalitilanteessa muodostaa silloin, kun alkavan suojavälin turvallisuusehdot ovat täyttyneet jokaisella osa-alueella, esimerkiksi vaihteet ovat lukittuneet oikeaan asentoon. Tämä varmistustoiminto suoritetaan asetinlaitteella, joka huomioi myös saadun tiedon radan vapaanaolon valvonnalla. Asetinlaite välittää ajon sallivan opasteen opastimelle kaikkien ehtojen täytyttyä. ETCS-tasolla 1 yksikön paikannus toteutetaan suojaväleihin jaetulla kulunvalvonnalla. Suomessa suunnitellaan siirryttävän suoraan vähintään ETCS-tasolle 2 nykyisen JKV-kulunvalvonnan tullessa elinkaarensa päähän.



Kuva 3. ETCS-tason 1 kulunvalvonta.

ETCS-tasolla 2 ei tarvitse käyttää näkyviä opastimia. Tasolla 2 kulkulupa yksikölle lähetetään radioverkon yli RBC:n (*engl. Radio Block Centre*) kautta yksikön sijainnin perusteella. Yksikön sijaintia päivitetään baliisien avulla yksikön sijainnin luottamusväli huomioiden. Luottamusväli on toleranssiväli, joka muodostuu yksikön nopeudesta ja radioverkon tiedonsiirtoviiveestä ja edellisestä sijainninkorjauksesta. Luottamusvälin laskenta on huomioitava ratalaitteiden sijoittelusuunnittelussa suhteessa radan geometriaan sekä käytettävään yksikkökohtaiseen nopeuteen.

ETCS-tasolla 2 on käytössä ETCS-tason 1 kaltaisesti vapaana olon valvonta, jolla turvataan yksiköille tarvittavat suojavälit. Käytännössä ajoluvan toimitus tapahtuu jatkuvatoimisesti yksikön sijainnin perusteella, jolloin huomioidaan radalla liikennöivät muut yksiköt ja liikennöintiin vaikuttavat tapahtumat, kuten rakennus- ja huoltotyöt. /5/

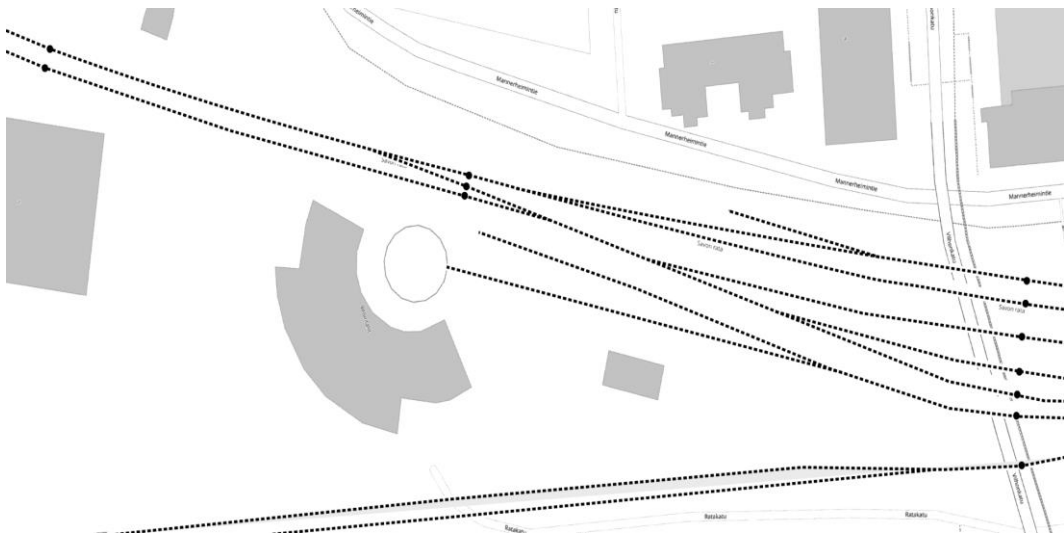


Kuva 4. ETCS-tason 2 kulunvalvonta.

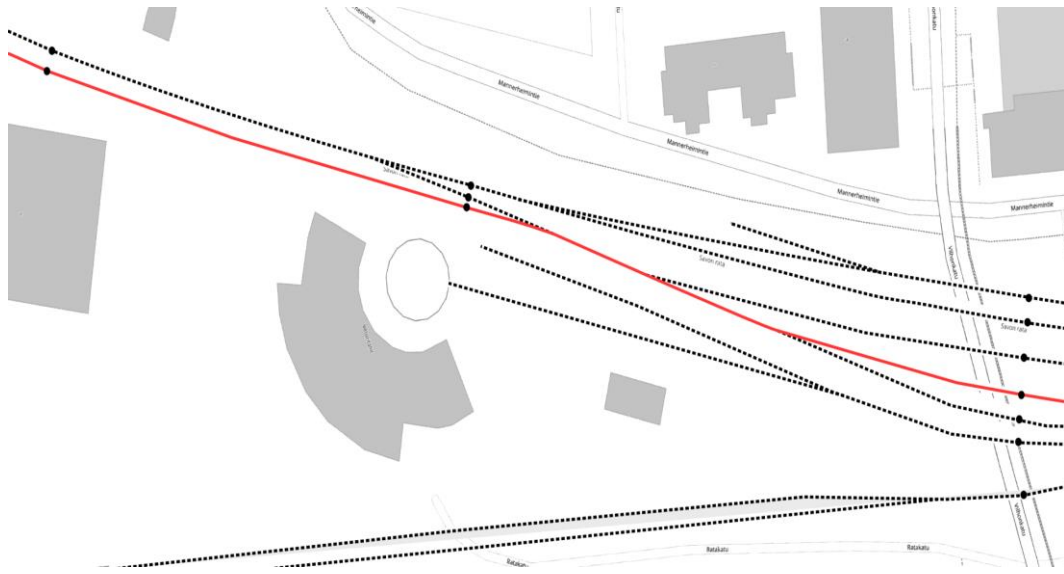
1.1.3 Kaltevuusarvojen laskennallinen määrittely ja muuntaminen

Kaltevuusprofiilien suunnitteluprosessia on esitetty kuvissa 1 ja 2. Ensimmäisessä vaiheessa tarvitaan kaltevuuksien mitatut tai laskennalliset taitepisteet koko suunnittelualueelta. Toisessa vaiheessa kulkuteiden ja ajolupien tietoja käytetään kaltevuusprofiilien muodostamiseen.

Ratageometrian kaltevuusarvo vaihtuu kaltevuuden taitepisteen kohdalla. Taitepisteet ja niiden merkintätapa yleiskaaviossa on havainnollistettu kappaleessa 4.2 Vaikutukset suunnitteluprosessiin.



Kuva 5. Kaltevuuksien taitepisteet suunnittelualueella.



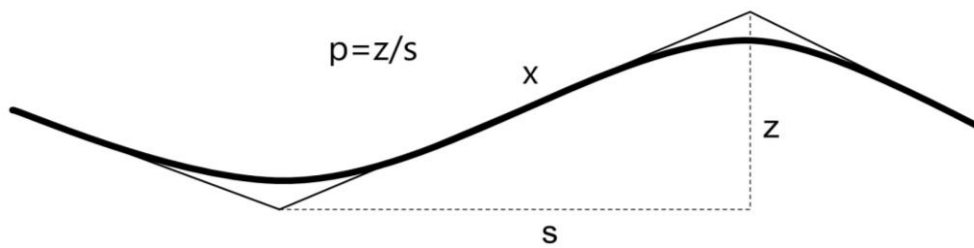
Kuva 6. Taitepisteet ajoluvan matkalla.

Kaltevuusjaksojen pituudet ovat kaltevuusprofiilissa olennaisia, joten suunnitelmassa esitetyt alkamis- ja päättymissijainnit helpottavat suunnitelmien tekemistä ja tarkastamista. Sijainnit voidaan esittää joko ratakilometrijärjestelmän mukaisesti tai koordinaattitietona.

Kaltevuusjaksot on suhteutettu toisiinsa ja ajolupiin vain kaltevuusjaksojen pituuksien perusteella. Jos kaltevuusjaksojen pituuksia ei ole lähtötiedoissa määritelty, tarvitaan taitepisteiden sijainnit, joiden perusteella saadaan laskettua kaltevuusjaksojen pituudet. Pituudet voidaan määrittää joko ratakilometrisijainneista tai koordinaattien ja ratageometrian perusteella. Ratakilometrisijainnit ovat yksinkertaisempia käyttää laskennassa, mutta niihin sisältyy epätarkkuutta. Ratakilometreistä laskettuja pituuksia varten tarvitaan myös ratakilometripaalujen tiedot ja ratakilometriin pituudet. Taitepisteiden koordinaattien ja ratageometrian raidekeskiviivan perusteella pituudet voidaan mitata, jolloin tulos on todennäköisesti tarkempi. Tämä voi aiheuttaa määrittelytyöhön ylimääräistä monimutkaisuutta, sillä ERTMS/ETCS-järjestelmä ei vaadi suurta tarkkuutta kaltevuusarvoille.

Hyvä ratkaisu olisi esimerkiksi sisällyttää taitepisteille vähintään koordinaattisijainnit, jolloin ne saadaan vietyä paikkatiedoksi. Tämä helpottaa sekä käsin tehtävää kaltevuusprofiilien luomista, että määrittelyautomaatiikan toteuttamista. Ratakilometrisijainneista voidaan tehdä koordinaattimuunnos, jolla mahdollistetaan myös näiden sijaintipisteiden visualisointi, jos koordinaatteja ei muuten ole käytettävissä.

Kaltevuusarvoa ei välttämättä ole ilmoitettu käytettävissä lähtötiedoissa. Kaltevuusarvo voidaan kuitenkin laskea, jos tiedossa on taitepisteiden korkeusero ja niiden välinen etäisyys.



Kuva 7. Raiteen pituuskaltevuus.

p = raiteen kaltevuusarvo
 z = taitepisteiden korkeusero [m]
 s = taitepisteiden välimatka vaakatasossa [m]
 x = kaltevuusjakson pituus [m]

Raiteen kaltevuusarvo p on korkeuseron z ja vastaavan vaakamatkan s välinen suhde. Kaltevuusarvo ilmaistaan joko tuhannesosalukuna, eli promillena (‰), tai desimaalilukuna. Kaltevuusarvo voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$p = \frac{z}{s}, \quad (1)$$

Mikäli taitepisteiden välinen vaakamatka s ei ole tiedossa, voidaan se laskea kaltevuusjakson pituudesta x ja taitepisteiden korkeuserosta z Pythagoraan lauseella, joka on esitetty yhtälössä 2.

$$z^2 + s^2 = x^2, \quad (2)$$

Ratkaisemalla yhtälö 2 muuttujan s suhteen saadaan taitepisteiden välinen vaakamatka laskettua.

$$s = \sqrt{x^2 - z^2}, \quad (3)$$

Suosittelavaa on, että mahdollisuuksien mukaan sekä kaltevuusvaihtelut, että pystykoordinaatit sisällytetään tietokantaan tallennettaviin taitepisteisiin.

Liikennepaikoilla kaltevuuksien voidaan usein lähtökohtaisesti ajatella olevan samat eri raiteilla, mutta kaltevuudet tulee varmistaa tapauskohtaisesti. Risteysasemilla ja esimerkiksi kolmioraiteissa on huomattava, että kaltevuudet voivat olla huomattavan erilaiset raiteiden lähtiessä eri suuntiin. Käytäntönä on hyvä pitää, että kaltevuudet tulee suunnitella aina kaikille raiteille. Jos viereisille raiteille ei ole käytettävissä kaltevuuksia erikseen, tulee käyttää pituusmittausraiteen mukaisia kaltevuuden taitepisteitä, jotka määritetään muille raiteille pituusmittausraiteen normaalin mukaisesti. /3/

2 Kaltevuustiedot rekistereissä

Kaltevuustiedot ovat nykyisin geometriarekisterissä. Tulevaisuudessa tilanne on kuitenkin muuttumassa, koska Geoviite-rekisteri tulee jatkossa sisältämään kaltevuustiedot ja näiden päivittäminen on jo suunnitteilla.

Geometriarekisteri sisältää pääasiassa suunnitelmatietoa, vaikka radan todellinen asema ja asento voi eri syistä poiketa suunnitellusta. Tietoa ei myöskään ole koko rataverkolta. Pystygeometriatiedot löytyvät osittain ainakin niiltä rataosuuksilta, joilta on olemassa nopeuskaavio ja joille on toteutettu JKV. Kannattaa kuitenkin huomata, että JKV ei tarvitse kaltevuustietoa koko rataosuudelta, pelkästään määrävän kaltevuuden matkalta.

2.1 Nykyinen geometriarekisteri

Nykytilanteessa usein vaaditaan pystykaltevuustiedot niille rataosille, joille JKV on rakennettu. Geometriatietojen varastointi on hajautunut hankalasti todennettavaksi suunnitelmatiedoksi eri paikkoihin. Ratatiedon extranet tarjoaa pääsyn esimerkiksi rautatiesuunnittelun yrityksille nopeus- ja kaltevuustietoihin, joista löytyvät linjakohtaiset kaltevuustiedot suunnitelmatasolla. Muokattavat lähtötietoveriot saa sähköisesti pyytämällä samasta arkistosta.

Usein olemassa oleva suunnitelmatieto ei ole todennettua, mitattua tietoa, ja tämä voi aiheuttaa suunnitteluun epävarmuutta. Tästä saattaa syntyä ongelmia varsinkin tulevassa ERTMS/ETCS-suunnittelussa, sillä veturilaite käyttää kaltevuustietoa jatkuvasti jarrutusten suunnitteluun. Tällä hetkellä joudutaan todentamaan ja vertailemaan kaltevuustietoa eri suunnitelmakuvista ja usein ainoa keino todentaa aineisto on maastomittaukset.

2.2 Geoviite

Tulevaisuudessa rataverkon geometriatiedot on tarkoitus viedä kootusti Geoviite-rekisterijärjestelmään, josta löytyy keskitetysti suunnittelussa tarvittavat vaihde-, rataelementti- ja geometriatiedot. Haasteena myös uudessa järjestelmässä on geometriatiedon tarkkuus, sillä kaikki Geoviite-rekisterijärjestelmän tiedot eivät ole todellista mittatietoa, vaan ne voivat olla suunniteltua geometriaa.

Geoviite-rekisterijärjestelmään olisi erityisen tärkeää saada tulevaisuuden ERTMS/ETCS-suunnittelun kannalta tallennettua mitattua ja todennettua rata-geometriatietoa. Myös suunnittelun ja toteutuksen kannalta tulisi Geoviite-rekisterijärjestelmään tallennettavan ratatiedon olla mahdollisimman ajantasaista. Geoviite-rekisteriin liittyvässä kehitystyössä tulee pyrkiä geometriatiedon oikeellisuuteen.

2.3 RINF-rekisteri

Register of Infrastructure (RINF) on Euroopan rautatieviraston (ERA) ylläpitämä jäsenmaiden ratarekisteri. RINF kokoaa laajan skaalan rekisteritietoa eri osa-alueilta, esimerkiksi ratageometriasta ja radan elementeistä, joiden tavoitteena on helpottaa suunnitelmallisuutta valtakunnan rajoja ylittävässä rautatieliikenteessä.

Suomen osalta RINF-rekisterin tietojen päivittämisen vastuutoimijana on Liikenne- ja viestintäministeriön alainen Traficom.

Koska tulevan ERTMS/ETCS-tason 2 kulunvalvonnan käytettävyys nojautuu osin todennettuun ratageometriatietoon, tulisi sen saatavuus olla Geoviite- ja RINF-rekistereistä jatkuva. Käytännössä kuitenkin Suomen sisäinen ratasuunnittelu nojautuisi todennäköisesti Geoviite-rekisteriin, ei niinkään RINF-rekisteriin. RINF-rekisterin tietoaineiston saatavuuden tilanne on ratkaistavissa kansallisen Geoviite-rekisterin myötä, jolloin sinne tuotettu ratasuunnittelun geometriadata olisi siirrettävissä myös RINF-rekisteriin.

2.4 Lähtötietoformaatit ja niiden käytettävyys

Kaltevuustietoja on geometriarekisterissä lukuisissa eri muodoissa johtuen siitä, että rekisteriä on ylläpidetty rautateiden eri aikakausilla hyödyntäen erilaisia dokumentointitapoja.

Vakiomuotoisille koneluettaville tiedostoille on mahdollista toteuttaa automaatio kaltevuusprofiilien luomiseksi. Näiden tiedostojen käsittely on helppoa, mutta jokaiselle tiedostotyyppille tulee kehittää oma menetelmänsä tietojen muuntamiseksi kaltevuusprofiiliin muotoon.

Näitä tietoja ovat mm. pääpistelaskenta eli PPL ja Inframodel-määrittely. PPL on tekstimuotoinen rekisteriseloste, joka sisältää raidegeometrian kuvailun välilyönneillä erotellussa tekstitiedostossa. Kuvailu sisältää ratakilometripaalut, geometriaelementit ja pituuskaltevuuden taitepisteet.

Inframodel on rakenteellinen XML-kuvailutiedosto, jossa on osin samaa asiasisältöä kuin PPL-tiedostossa, mutta Inframodel ei sisällä kaltevuuksien taitepisteitä. Määrittelyssä on usein myös korkeustiedot, joiden avulla kaltevuuspisteet saadaan laskettua. Inframodel-määrittelyt eivät kuitenkaan aina sisällä korkeustietoja, jolloin joudutaan joko turvautumaan toiseen lähtötietoaineistoon tai yhdistelemään korkeustiedot muista suunnitelmista.

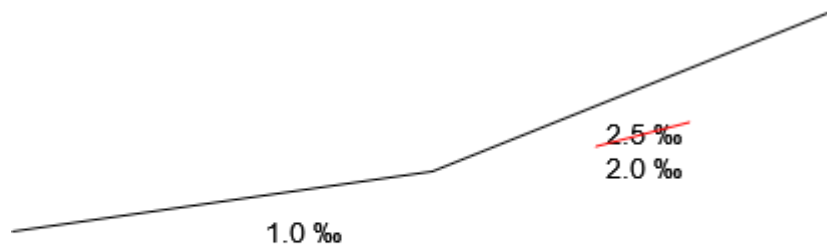
Kaltevuusprofiilin tuottaminen ei ole helposti automatisoitavissa niillä radoilla, joilla lähtötietoja ei ole saatavissa vakiomuotoisena tai lähtötiedot ovat esimerkiksi paperisuunnitelmista skannattuja kuvia. Nykyaikaisilla menetelmillä, esimerkiksi tekstintunnistustekniikalla ja koneoppimisella, olisi todennäköisesti mahdollista lukea myös näitä tiedostoja, mutta virhealttiuden ja suuren työmäärän vuoksi näissä tapauksissa ei ole järkevää lähteä kehittämään automatisoitua menetelmää.

Yksi ratkaistavista ongelmakohdista liittyy eri lähtötietoaineistojen yhdistelyyn. Yleensä radan suunnittelussa joudutaan muuttamaan radan geometrisia ominaisuuksia. Jos suunnitelmatietoa ei ole yhdistetty olemassa oleviin geometriatietoihin, on koordinaatti- ja paikkatietopohjaisten lähtötietoaineistojen yhdistäminen etäisyyksien määrittämistä varten haastavaa. Kuitenkin paikkatiedoksi vietyinä radan geometriaa kuvaavien tiedostojen käsittely helpottuisi, kun sijainteja ja geometriaelementtejä ei yhdisteltäisi tekstimuotoisen käsittelyn avulla.

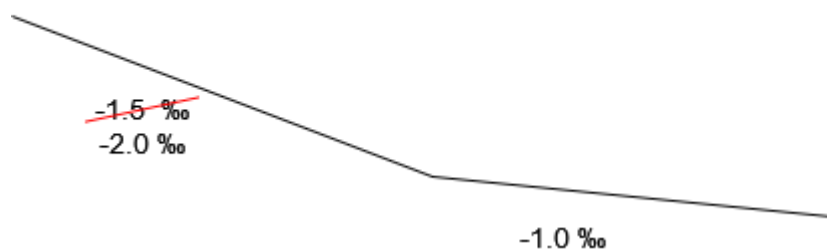
3 Kaltevuusprofiilien tuottamisen edellytykset

Kaltevuusprofiilien tuottamisen edellytyksenä on suunnitelma- tai tietomalliformaatti, joka sisältää suunnittelussa tarvittavat ratageometriatiedot. Kaltevuusprofiilin muodostamiseen lähtötiedoissa tarvittavia tietoja ovat kaltevuusjakson pituus sekä kulkusuunnan kaltevuusarvo, joka voidaan yksinkertaistaa turvallisempaan tasapromilleen. ERTMS/ETCS-suunnittelussa pituuskaltevuustieto ilmoitetaan yhden promillen (‰) tarkkuudella. Kaltevuusprofiileja tuotetaan rataosuuksille, jotka voivat olla hyvinkin eri pituisia. ERTMS/ETCS-suunnittelussa käytetään määriteltyjä RATO 2:ssa määriteltyjä raja-arvoja ratasuunnittelun enimmäiskaltevuuksista.

Kaltevuusprofiilin kaltevuusarvot tulee pyöristää aina turvalliseen suuntaan alaspäin tasapromilleen.



Kuva 8. Nousevan kaltevuuden pyöristäminen tasapromilleiksi.

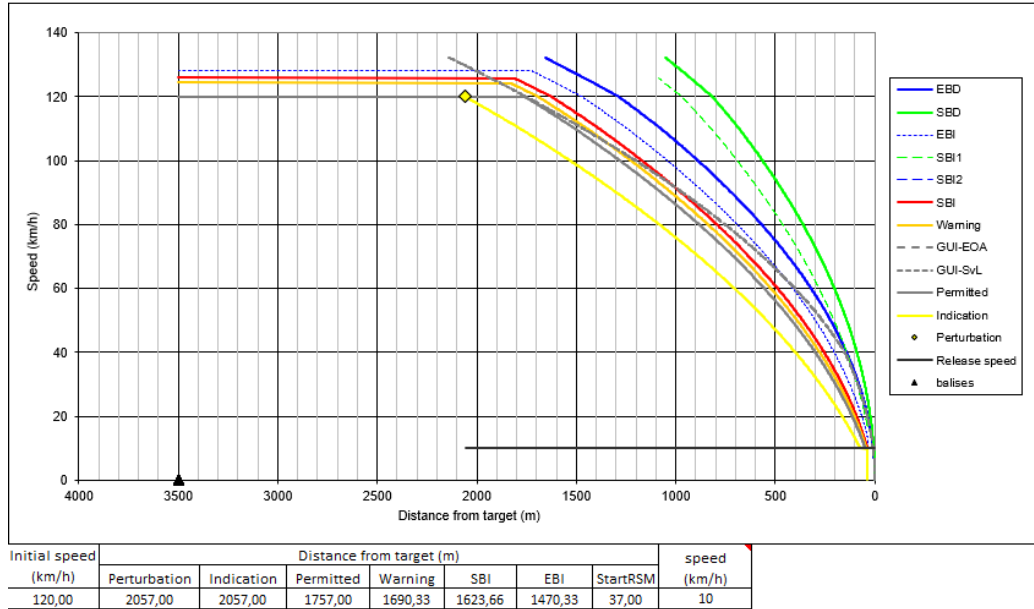


Kuva 9. Laskevan kaltevuuden pyöristäminen tasapromilleiksi.

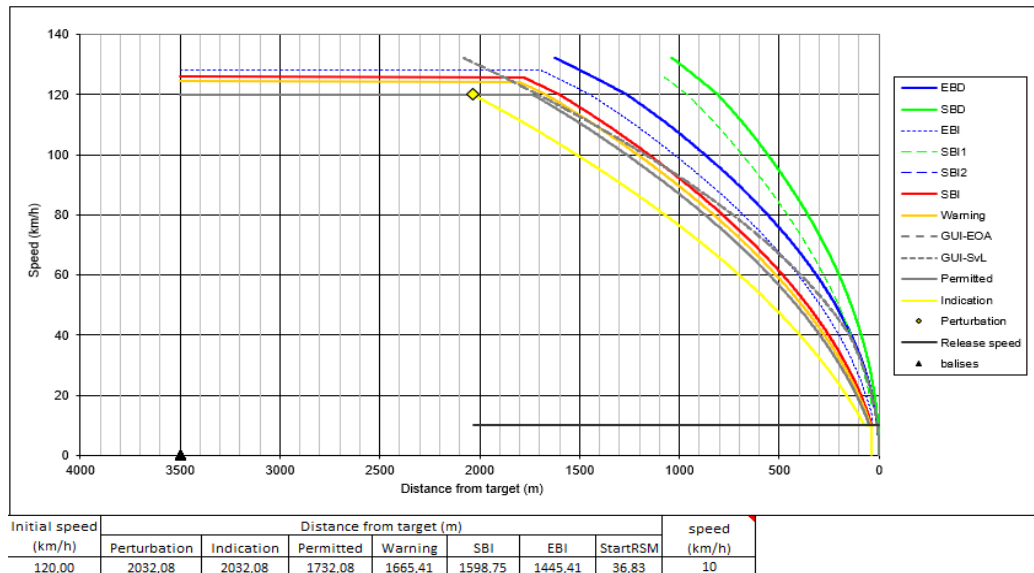
Ylämäkeen pysähdyttäessä yksikkö aloittaa jarrutuksen sitä aikaisemmin, mitä loivempi ylämäki on. Tämän takia ylämäkeen pysähdyttäessä turvallisempi suunta on pyöristää ylämäen kaltevuus alaspäin loivemmaksi. Jos kaltevuus pyöristetään ylöspäin, luulee ETCS-veturilaite mäkeä todellista jyrkemmäksi, jolloin se olettaa mäen jyrkkyyden hidastavan nopeutta enemmän kuin se todellisuudessa hidastaa, joka taas johtaa jarrutuksen myöhäisempään aloitukseen. Todellisuudessa alle yhden promillen erot kaltevuuksissa eivät kuitenkaan aiheuta merkittävää muutosta jarrutusmatkassa. Kuvissa 10 ja 11 on esitetty kuvitteellisen yksikön jarrutuskäyrät 1 ja 2 promillen ylämäissä. Kuvista voidaan huomata, että loivemmassa mäessä jarrutuskäyrät kohdataan noin 25 m aikaisemmin kuin jyrkemmässä mäessä.

Jarrukäyrien laskennassa käytettiin seuraavia parametrejä yksikölle:

- Pituus 100 m
- Jarrulaji P
- Jarrupainoprosentti 80 %
- Nopeus 120 km/h



Kuva 10. Jarrutuskäyrä pysähtymisestä 1 %o mäessä.



Kuva 11. Jarrutuskäyrä pysähtymisestä 2 %o mäessä.

Alamäkeen pysähdyttäessä turvallinen suunta pyöritykselle on alaspäin tasaprofilleen, eli jyrkemmäksi. Mikäli alamäki pyöristettäisiin ylöspäin, luulisi ETCS-veturilaitte mäkeä todellista loivemmaksi, jolloin se jarruttaisi vähemmän.

Kaltevuuden korjauskertoimina Gamma- ja Lambda-yksiköiden käyttöjarrutuksessa käytetään muuttujia Kn+(V) ylämäkeen ja Kn-(V) alamäkeen. Korjauskertoimen arvo vaihtelee välillä 0–10 m/s² ja se annetaan enintään viisiportaisena nopeudesta riippuvana arvona.

ERTMS/ETCS-tasolla 2 kaltevuuspaketti 21 lähetetään yksikölle sisällytettynä ajolupa-avun avulla radioverkon kautta, jolloin sen noudattaminen aloitetaan välittömästi. Rakenteeltaan paketti 21 sisältää useita parametrejä, joiden muuttujarvoja voi olla useita. ERTMS/ETCS-järjestelmässä kaltevuustieto välitetään alla olevien pakettien mukaisesti.

Taulukko 2. Kaltevuusprofiilin paketti 21.

Muuttuja	Kuvaus	Pituus [bittinä]	Arvo
NID_PACKET	Paketin tunniste	8	21
Q_DIR	Kulkusuunta, jota paketilla annettu informaatio koskee	2	00 = Vastakkaissuuntainen 01 = Nimellinen kulkusuunta 10 = Molemmat suunnat 11 = Varalla
L_PACKET	Paketin kokonaispituus bitteinä	13	0–8191
Q_SCALE	Etäisyyden tarkkuustaso paketin sisällä	2	0 = 10 cm asteikko 1 = 1 metrin asteikko 2 = 10 metrin asteikko 3 = Varalla
D_GRADIENT	Etäisyys kaltevuusarvon vaihtumiskohtaan	15	0 cm–327,670 km
Q_GDIR	Kaltevuuden suunta	1	0 = Alamäki 1 = Ylämäki
G_A	Kaltevuuden arvo kahden pisteen välillä	8	0–254‰
N_ITER	Iteraatiokierrosten lukumäärä	5	0–31
D_GRADIENT(k)	Etäisyys kaltevuusarvon vaihtumiskohtaan	15	0 cm–327,670 km
Q_GDIR(k)	Kaltevuuden suunta	1	0 = Alamäki 1 = Ylämäki
G_A(k)	Kaltevuuden arvo kahden pisteen välillä	8	0–254‰

Mikäli yksikölle joudutaan lähettämään paketti 141 esimerkiksi lähestyvän ERTMS/ETCS-rakennustyömaan takia, jossa on käytössä alennettu tilapäinen no-

peusrajoitus, voidaan tässä tapauksessa käyttää kyseisen kohdan suurinta oletuskaltevuutta tai ennalta määrättyä Suomessa käytettävää oletuskaltevuutta. Paketin 141 rakenne eroaa paketin 21 rakenteesta muuttujien määrässä. Paketti 141 voidaan välittää yksikölle vain baliisiryhmän kautta, toisin kuin paketti 21.

Taulukko 3. Kaltevuusprofiilin paketti 141.

Muuttuja	Kuvaus	Pituus [bittinä]	Arvo
NID_PACKET	Paketin tunniste	8	141
Q_DIR	Kulkusuunta, jota paketilla annettu informaatio koskee	2	00 = vastakkaisuuntainen 01 = nimellinen kulkusuunta 10 = molemmat suunnat 11 = varalla
L_PACKET	Paketin kokonaispituus bitteinä	13	0–8191
Q_GDIR	Kaltevuuden suunta	1	0 = alamäki 1 = ylämäki
G_TSR	Oletuskaltevuus tilapäiselle nopeusrajoitukselle	8	0–255‰, 1‰ välein

3.1 Raja-arvot

Uusien rataosien suunnitteluohjeissa noudatetaan seuraavia pituuskaltevuuden raja-arvoja:

Taulukko 4. Käytettävät pituuskaltevuuden raja-arvot.

Rata	Pituuskaltevuus (‰)		
	Suositteltava	Maksimiarvo	Lupa-arvo
Sekaliikenne- radat	≤ 10	12,5	25,0
Matkustajaliikenne- radat	≤ 10	15,0	35,0/40,0*
Tavaraliikenne- radat	≤ 10	12,5	25,0
Sivuraiteet		15,0	30,0

*40,0‰ kaltevuus on sallittu RATO 2 -dokumentin määrittämässä raja-arvoissa ja käytössä kehäradan suunnitteluperusteissa. Traficom määrää suurimmaksi pituuskaltevuudeksi 35,0‰.

ERTMS/ETCS-järjestelmän pituuskaltevuussuunnittelun perustana käytetään taulukossa 4 kuvailtuja pituuskaltevuusarvoja suorilla rataosilla, joita sovelletaan ERTMS/ETCS-tason 2 kulunvalvontaan. Pituuskaltevuuden muut raja-arvot on määritelty radan eri osille, jotka on kirjattu RATO 2 -julkaisuun ja ne tulee huomioida liikennesuunnittelussa. Raja-arvojen maksimi- ja minimiarvoja ei tule käyttää jatkuvana mitoitusperusteena suunnittelussa.

3.2 Nykyisen geometriatiedon kehityskohteet

Tällä hetkellä rataverkosta noin 70 % on varustettu JKV-kulunvalvonnalla. JKV-kulunvalvonnassa yksikölle toimitetaan tieto määräävästä kaltevuudesta baliisin välityksellä pääopastimelle asti. Tämän perusteella voidaan olettaa JKV-kulunvalvonnalla katetun rataverkon geometria- ja kaltevuustietojen olevan olemassa vähintään pääopastimien läheisyydessä. /4/

Vaativuutena toimivalle ERTMS/ETCS-tason 2 järjestelmän liikennöinnille on kaltevuustietojen toimitus ajolupa-ajon sisällytyksenä koko ajoluvan matkalta. Ajolupa lähetetään RBC:n kautta liikennöivälle yksikölle.

Tulevien radan muutos- ja korjaustöiden osalta on syytä kiinnittää huomiota geometria- ja kaltevuustietojen päivittämiseen ajantasaiseksi, jotta turvallinen ja energiatehokas liikennöinti on mahdollista. ERTMS/ETCS-tason 2 suunnittelussa kyetään ennakoimaan paremmin rataosuuksien ominaisuuksia ajantasaisella geometriatiedolla, jotta kulunvalvontajärjestelmän hyödyt voidaan optimoida. Rataosat, joilta JKV-varustelu puuttuu, tulisi tarkemmitata vaadittujen geometria- ja kaltevuustietojen osalta, kun niiden kulunvalvontavarustelu tulee ajankohtaiseksi rakentaa.

Yhtenä kehityskohteena työn aikana havaittiin rataosien kaltevuustietojen rikkonaisuus. Esimerkiksi liikennepaikoilla suoritettujen muutos- ja rakennustöiden dokumentointi on toteutettu siten, että töiden valmistuttua ei ole aina yhtenäistetty koko liikennepaikan geometria- ja kaltevuustietoja ajantasaiseksi. Ongelma on voinut muodostua muutos- tai korjaustöiden jälkeen, jolloin on mitattu vain radan muuttunut osa, jolloin tarkemmitattu geometria on hajautunut eri tiedostoihin ja yhtenäinen geometria puuttuu. Tilanne on usein heikompi liikennepaikoilla kuin linjaosuuksilla. Kun tulevaisuuden suunnitelmissa on viedä geometriatiedot kootusti Geoviite-järjestelmään, olisi syytä harkita mahdollisia tarkistusmittauksia rataosilla.

4 Kaltevuusprofiilien simulointi

Kaltevuusprofiilien simulointi on mahdollista eri simulaattoreilla. Simuloinnilla voidaan ohjelmistosta riippuen tarkastella suojävelimitoitusta sekä taitepistepeyörisyksiä suhteutettuna jarrutusmatkaan ja radan geometriaan. Tällä tavalla voidaan huomioida esimerkiksi muutos- tai suunnitteluvaiheessa ratageometriamuutokset kapasiteettisuunnitteluun. Olemassa olevan raiteiston simuloinnin edellytyksenä on ajantasainen lähtötieto, joka voi olla raidekohtainen, mittausvaunulla todennettu tieto. Tämän työn geometria- ja jarrutustarkasteluissa on käytetty ERA:n (*engl. European Union Agency for Railways*) jarrutuskykysimulaattoria sekä Clearsyn OPSIM ERTMS/ETCS-simulaattoria.

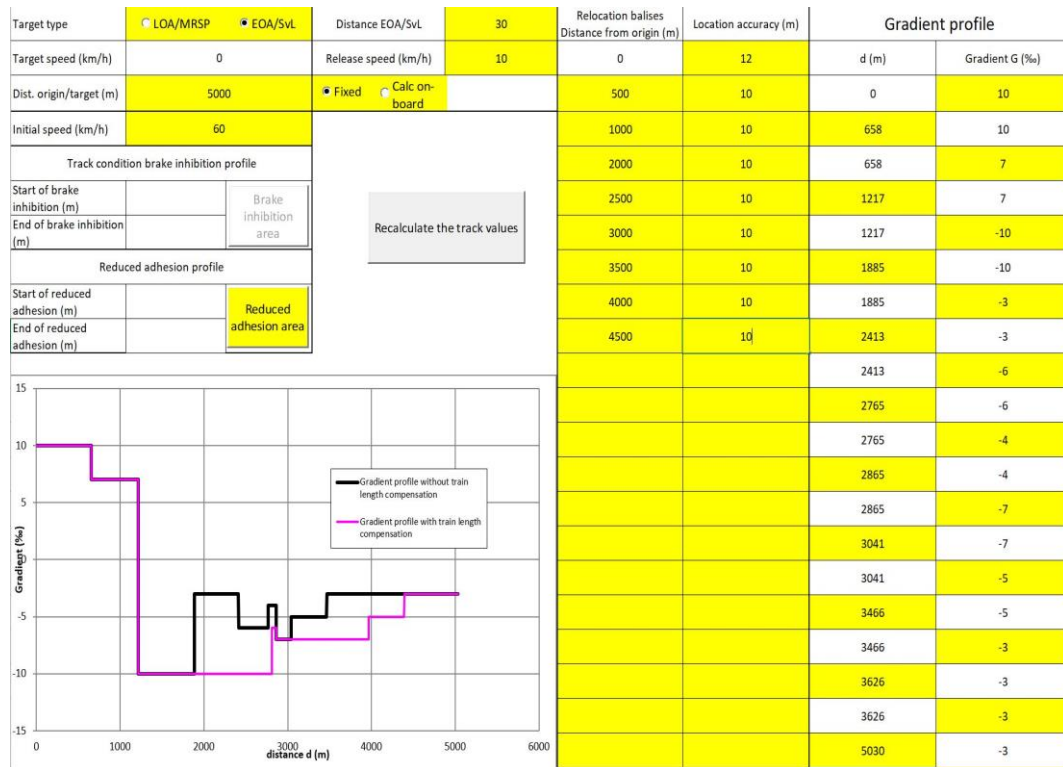
4.1 Ohjelmistot

Yhtenä simulaattorityökaluna on ERA:n tuottama Excel-pohjainen jarrutuskyky-simulaattori ERTMS/ETCS-kulunvalvonnalle, jossa voidaan tarkasti määrittää kalusto- ja ratakohtaisia parametrejä. Simulaattorilla on mahdollista tarkastella useita eri käyttäjän luomia skenaarioita, joista se tuottaa visuaalisen jarrutuskykäkuvan. Ohjelma on suunniteltu vain jarrutuskykytarkasteluun eri ratakaltevuuksilla ja kalustoparametreillä, joten sillä ei voi esimerkiksi luoda visuaalista kuvaa rataosasta.

Simuloitavalle rataosalle voidaan ennen simuloinnin suorituslaskentaa määrittää sekä haluttuja kaltevuuden taitepisteitä, että simuloitava junakalusto. Simulaattorissa on mahdollista myös luoda sijainninkorjauspisteitä halutuille sijainneille, sekä määrittää niiden sijainninkorjaustarkkuus metreinä.

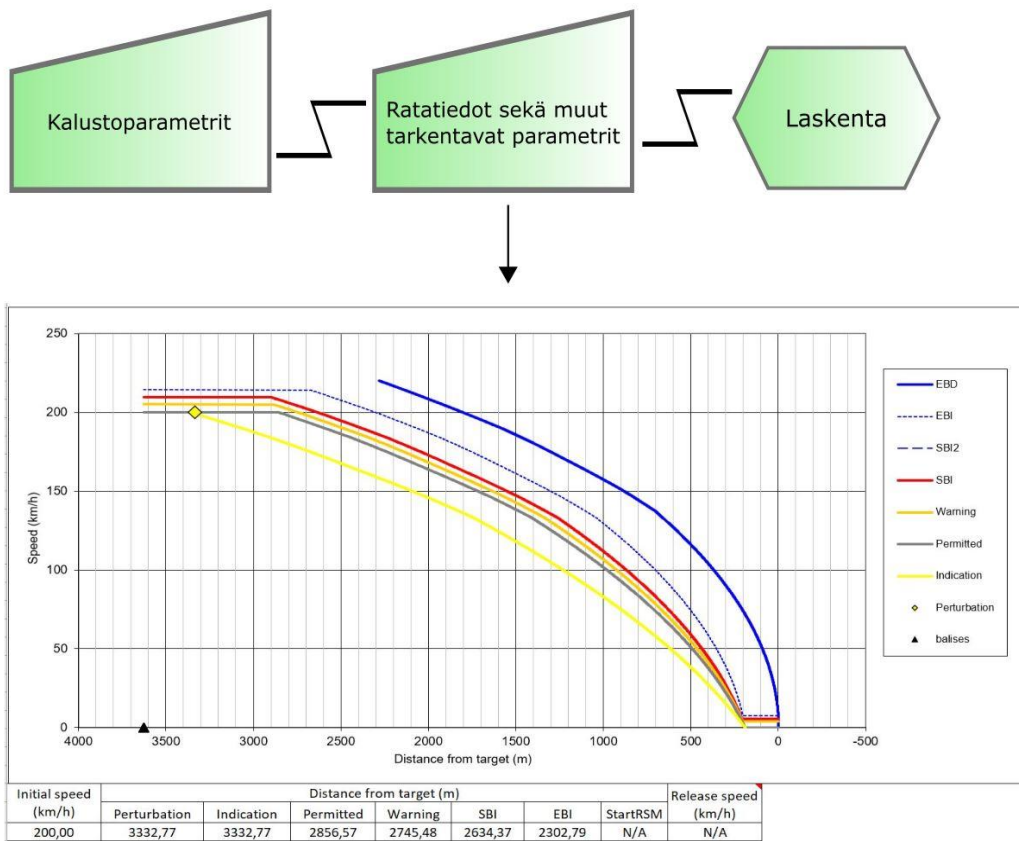
Train type	<input checked="" type="radio"/> Gamma train <input type="radio"/> Lambda train	
Brake position	<input type="radio"/> Passenger train in P <input type="radio"/> Freight train in P <input checked="" type="radio"/> Freight train in G	
Traction model: T_traction_cut_off (seconds)	2	
Service brake interface ?	<input type="radio"/> No <input checked="" type="radio"/> Yes	
Traction cut off interface ?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Special/additional brake independent from wheel/track adhesion?	<input checked="" type="radio"/> No <input type="radio"/> Yes	
Speed inaccuracy (%)		<input type="radio"/> Fixed (Enter) <input checked="" type="radio"/> Subset-041
Position inaccuracy (m + %)	5	<input type="radio"/> Abs. value <input checked="" type="radio"/> Rel. value
Train length (m)	925	
Nominal rotating mass (%)		<input type="radio"/> Fixed (Enter value) <input checked="" type="radio"/> Unknown
Distance antenna - train front (m)	10	
Acceleration (m/s ²)	0	

Kuva 12. Kalustoparametrien määrittäminen Excel-työkalussa.



Kuva 13. Radan kaltevuusprofiilin ja sijainninkorjauspisteiden muokkaus Excel-työkalussa.

Haluttujen parametrin määritysten jälkeen voidaan suorittaa laskenta, jossa työkalu huomioi käyttäjän määritykset ja luo niiden pohjalta jarrutuskäyräkuvauksen.



Kuva 14. Simulaattorin prosessikuvaus.

Simulointiohjelmistojen haasteena on niiden epävarmuus suhteessa todelliseen liikennöintiin. Monet ohjelmistoista tukevat ERTMS/ETCS-simulointia, jolloin simulointia suorittavalla henkilöllä pitää olla tiedossa tarkat kalustoparametrit sekä ratageometria, jotta tuloksesta saa mahdollisimman luotettavan. Ongelmat usein kohdataan juuri tässä tilanteessa. Simuloinnissa joudutaan usein tekemään yleistyksiä, jolloin todellisessa liikennöinnissä ratageometria- ja junakalustotiedot saattavat vaihdella teoreettisesta huomattavasti. Muuttujina tulee huomioida yksikön kokonaispaino, kokoonpano, jarrulaji ja muut vastaavat muuttujat sekä ratageometriatieto. Saatavilla oleva geometriatieto ei ole aina ajantasainen ja tästä syystä voi simulointituloksen vastaavuus todelliseen vaihdella oleellisesti.

4.2 Vaikutukset suunnitteluprosessiin

Simuloinnilla voidaan suunnitteluvaiheessa tarkastella rataosuuden kaltevuuksien vaikutuksia kapasiteettiin sekä hahmottaa käytettäviä linjanopeuksia. Simuloinnilla saatuja tuloksia kaltevuuksien vaikutuksista kaluston jarrutusmatkaan voidaan hyödyntää taloudellisen sekä sujuvan liikenteen suunnittelussa.

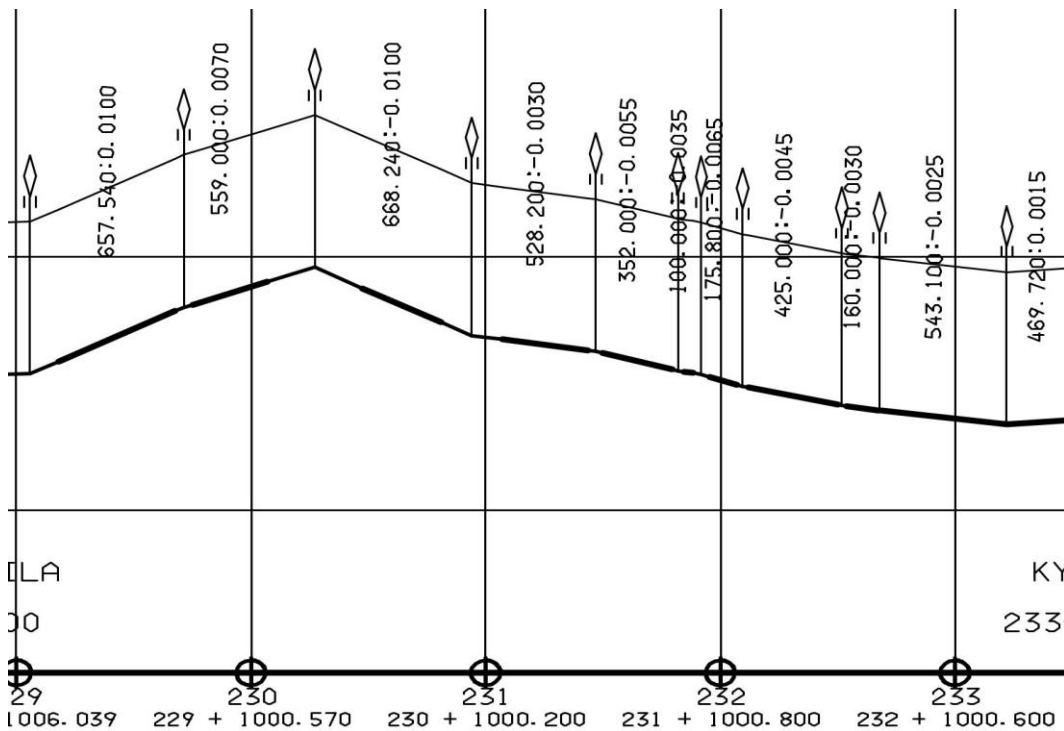
ERTMS/ETCS-simuloinnin avulla voidaan tarkastella esimerkiksi ajolupamerkin tai muun pysähtymispisteen sijoittamissuunnittelua jyrkässä alamäessä tietyn yksikön jarrutusominaisuuksiin perustuen. Simuloinnin avulla voidaan tarkastella sijoitus suunnittelua suhteessa suurimpaan sallittuun nopeuteen niin, että kyseinen yksikkö kykenee turvallisesti pysähtymään suunniteltuun pisteeseen. Radioverkon kautta ETCS-veturilaitteelle toimitetussa ajoluvassa on aina ratageometriian määräävä kaltevuus, jota ETCS-veturilaitte noudattaa laskennassaan.

Esimerkki 1:

Ensimmäinen esimerkki jarrutuskykysimuloinnista on suoritettu Digirata-hankkeen testiradalle (Kouvola–Kotka/Hamina) sijoittuvalla rataosalla Tavastila–Kymi, jossa on mallinnettu kuvitteellista veturivetoista tavarajunaa (Lambda). Testiyksikölle on määritetty seuraavat lähtötiedot:

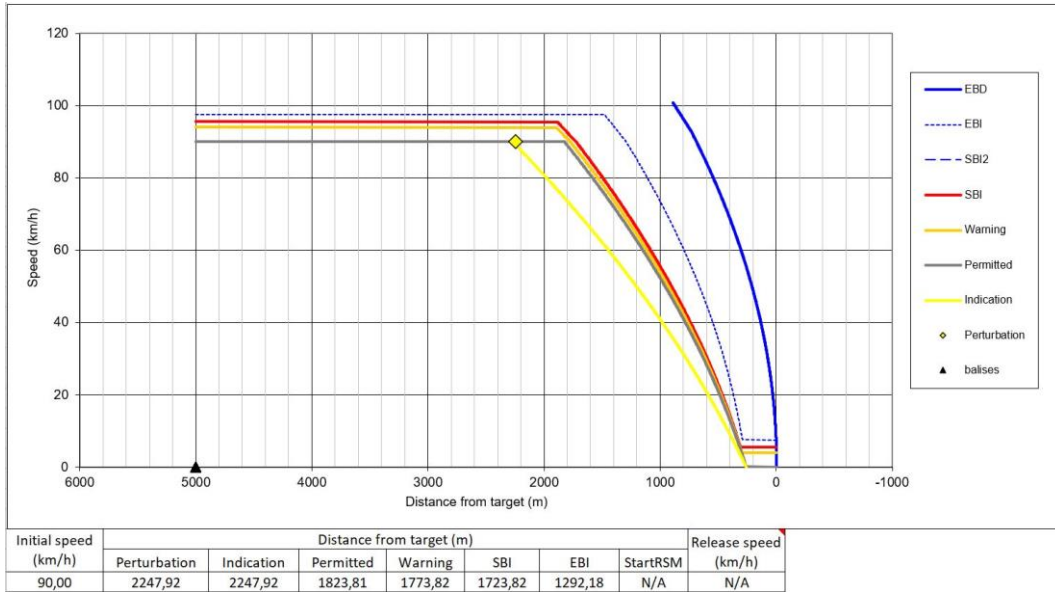
- Pituus 515 metriä
- Jarrulaji G
- Jarrupainoprosentti 54 %
- Nopeus 90 km/h

Simuloitavan rataosuuden pituus on noin 5 000 metriä ja se sisältää yhteensä 10 kaltevuuden taitepistemuutosta välillä 10‰ – (-10‰). Sijainninkorjausballiiseja tai valvontanopeutta ei ole käytössä.



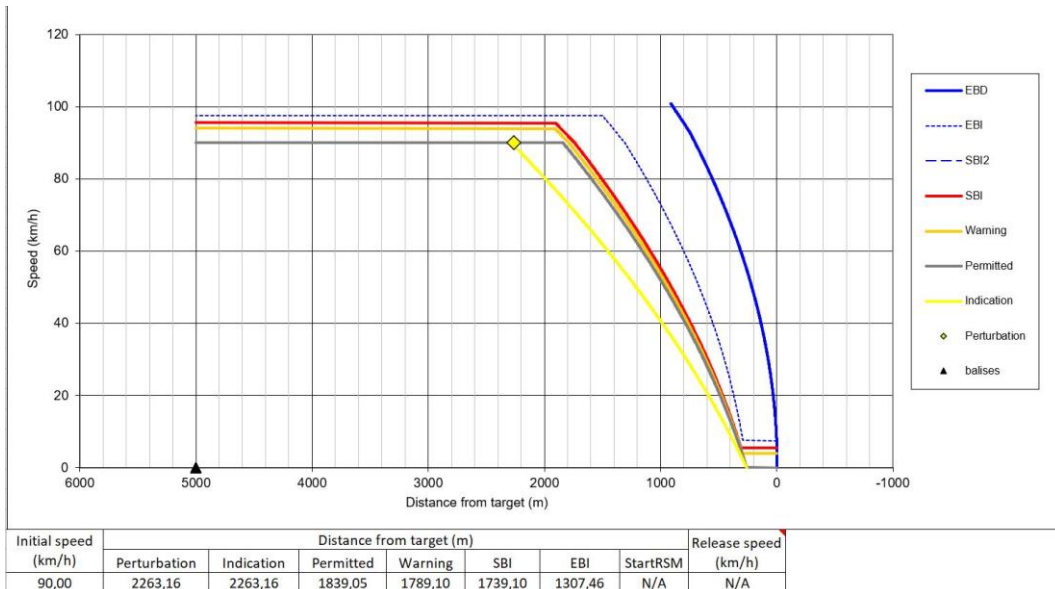
Kuva 15. Simuloitavan rataosan Tavastila–Kymi taitepisteet.

Simuloinnin jarrutuskäyräkuvauksesta (kuva 16) huomataan arvioitu jarrutusmatka käyttäjarrutuksella (SBI) ja hätäjarrutuksella (EBI). Käytetyillä lähtötiedoilla veturilaite suorittaa jarrutustarpeen ilmoituksen (Indication) kuljettajalle noin 2 247 metriä ja varoituksen (Warning) noin 1 773 metriä ennen ajoluvan päätekohtaa.



Kuva 16. Referenssikuva esimerkille 1 Lambda-yksiköllä. Testissä käytetty todellisia kaltevuusvaihteluja välillä Tavastila–Kymi.

Simulointia jatketaan samoilla kalustotiedoilla, mutta rataosan kaltevuuksia pyöristetään turvallisemmaksi:



Kuva 17. Vertailukuva. Testissä pyöristetty todellisia kaltevuusvaihteluja turvallisemmiksi välillä Tavastila–Kymi.

Jarrutusikäykuvauksen perusteella jarrutustapahtuman muutokset eivät ole testissä käytettävän junakaluston kannalta merkittäviä. Testissä käytetyt pyöristykset tehtiin tarkoituksella suuremmaksi niin, että jokainen taitepiste oli yhden promillen suurempi tai pienempi turvallisempaan suuntaan.

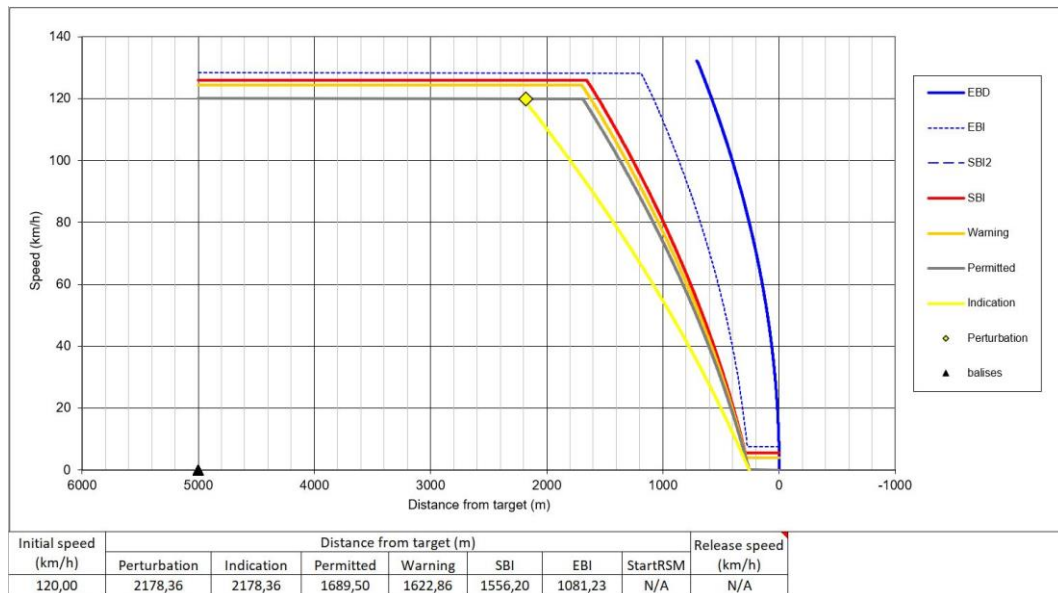
Simulointitestin perusteella kuljettajalle ilmoitetaan jarrutustarpeesta noin 16 metriä aikaisemmin. Jarrutustapahtuma tulee alkamaan myös noin 16 metriä aikaisemmin, joka vastaa 90 kilometrin tuntivauhdissa alle sekuntia.

Esimerkki 2:

Suoritetaan vertailu samalla rataosalla ensin todellisilla kaltevuuksilla. Tässä esimerkissä muutetaan simuloitavan junakaluston lähtötiedot:

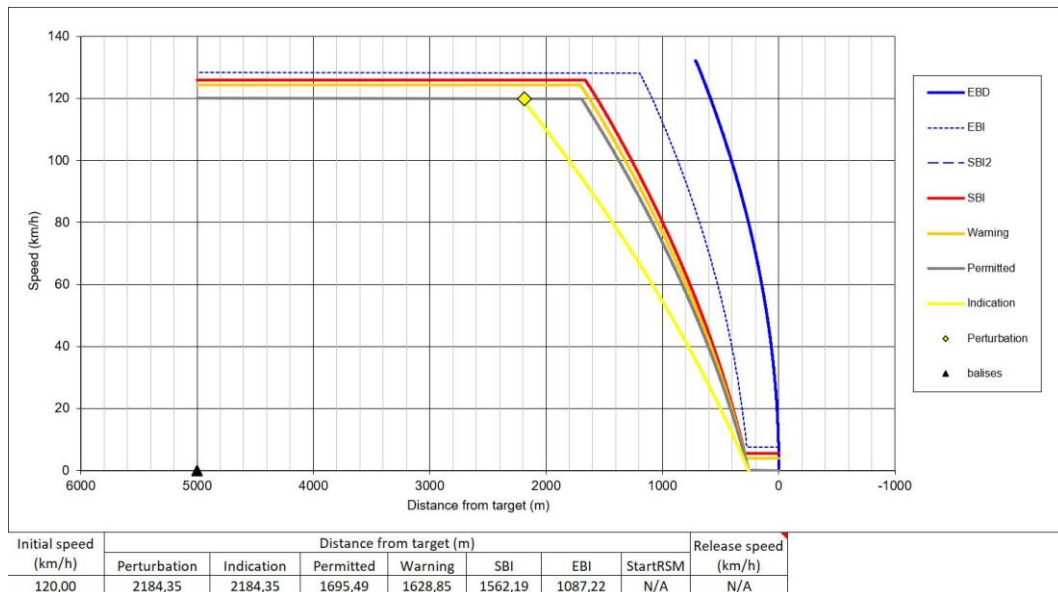
- Pituus 549 metriä
- Jarrulaji G
- Jarrupainoprosentti 121 %
- Nopeus 120 km/h

Todellisilla nopeuskaavion kaltevuuden taitepisteillä simuloinnin tuloksena käyttöjarrutus aloitetaan esimerkin skenaariossa noin 1 556 metriä ja hätäjarrutus noin 1 081 metriä ennen ajoluvan päätepistettä. Ilmoitus jarrutustarpeesta tulee 2 178 metriä ja varoitus 1 622 metriä ennen kuin jarrutustapahtuma aloitetaan (kuva 18).



Kuva 18. Referenssikuva esimerkille 2 Lambda-yksiköllä. Testissä käytetty todellisia kaltevuusvaihteluja rataosalla Tavastila–Kymi.

Pyöristettäessä kaltevuuksia yhdellä promillella turvallisempaan suuntaan, tarkasteltavalla rataosalla voidaan huomata sama ilmiö kuin esimerkissä 1. Esimerkissä 2 simuloitavan junakaluston lähtötiedot olivat enemmän turvallisempaan suuntaan, vaikka käytetty ajonopeus oli 30 km/h suurempi. Ilmoitus ja varoitus jarrutustarpeesta saavutetaan kuitenkin noin 6 metriä aikaisemmin, vaikka nopeus on suurempi. Myös käyttö- ja hätäjarrituksen muutos on 6 metriä alkuperäiseen verrattuna (kuva 19). Lopputuloksena huomataan, että kaltevuusvaihteluiden pyöristyksellä ei ole merkittävää vaikutusta liikennöinnin ajalliseen sujuvuuteen.



Kuva 19. Vertailukuva. Testissä pyörästetty todellisia kaltevuusvaihteluja turvallisemmiksi välillä Tavastila–Kymi.

Gamma-junilla (moottoriyksiköt) jarrukäyrävertailu ei ole mahdollista samassa laajuudessa kuin Lambda-junilla (veturivetoiset yksiköt). Gamma-junilla parametrimääritys on suppeampaa useassa kategoriassa niiden eroavan käyttökokoanon takia.

4.3 Parametrit

Parametritasolla, simulointiohjelmistosta riippuen, kalustolle voidaan määrittellä simuloinnissa eri parametrivaihtoehtoja tarkasteltavaksi sekä sovitettavaksi radan kaltevuuteen. Näin ollen voidaan tarkastella valmista ratainfrastruktuuria ja elementtien sijoittelua ja sovittaa niitä eri kalustotyypeille ja kokoonpanoille. Simuloinnissa voidaan näin tarkastella kaluston jarrutuskykyä suhteessa tekijöihin, jotka vaikuttavat pysähtymismatkaan. Tekijöitä ovat esimerkiksi radan kaltevuus, kaluston jarrulaji tai ratalaitteiden sijoittelu. Näin voidaan kartoittaa esimerkiksi keliolosuhteiden vaikutusta rataosalla. Parametrien käyttö ja muokkaus riippuu simuloidusta kalustomallista sekä ohjelmistosta.

Kalusto- ja rataparametreissa on muutettavissa seuraavia arvoja:

Gamma-yksiköt

- Hidastuvuuden luotettavuusarvo märällä kiskolla (K_wet)
- Hidastuvuuden luotettavuusarvo kuivalla kiskolla (K_dry)
- Painotuskerroin kitkan määritykseen (M_NVAVADH)
- Häätäjarrutuksen luotettavuusarvo kuivalla kiskolla (M_NVEBCL)

Lambda-yksiköt

- Junapituuden korjauskerroin (M_NVKRINT)
- Junapituudesta riippuvainen portaittainen korjauskerroin (L_NVKRINT)
- Nopeuden korjauskerroin tavarajunille (M_NVKVINT)

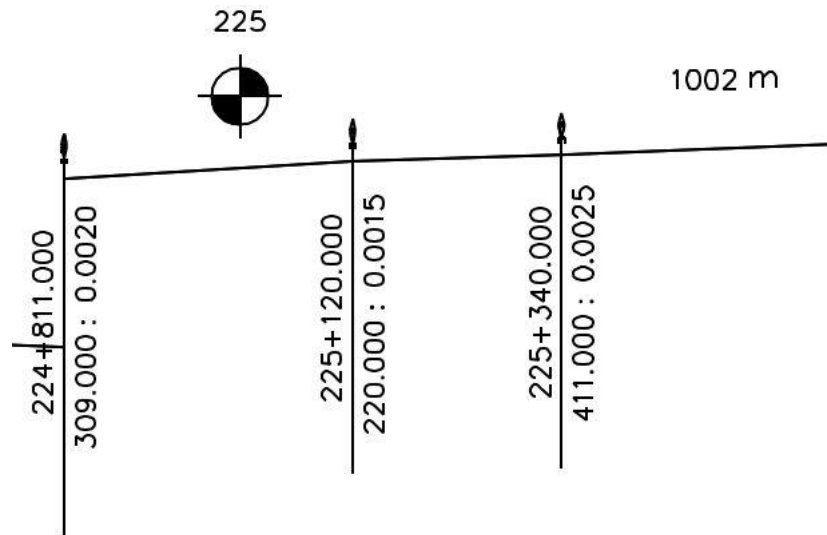
-
- Nopeudesta riippuvainen portaittainen korjauskerroin tavarajunille (V_NVKINT)
 - Nopeuden korjauskerroin henkilöjunille (M_NVKVINT)
 - Nopeudesta riippuvainen portaittainen korjauskerroin henkilöjunille (V_NVKVINT)
 - Jarruviiveen korjauskerroin (M_NVKTINT)

Kelitiedot

- Maksimi hidastuvuusarvo alentuneessa kitkassa 1 (matkustajayksikkö, jossa on kisko-/pyöräkontaktista riippumaton jarru) A_NVMAXREDADH1
- Maksimi hidastuvuusarvo alentuneessa kitkassa 2 (matkustajayksikkö, jossa ei ole kisko-/pyöräkontaktista riippumatonta jarrua) A_NVMAXREDADH2
- Maksimi hidastuvuusarvo alentuneessa kitkassa 3 (tavarajuna) A_NVMAXREDADH3

5 Kaltevuusprofiilien laadintamenetelmät

Nopeuskaavioiden lisäksi rataosakohtaiset kaltevuudet löytyvät usein myös yleiskaaviosta. Nopeus- ja yleiskaavioiden hankaluutena on hajautettu tieto, usein myös eri tavalla esitettynä, jolloin niiden tietoja tulee verrata keskenään. Usein niiden paikkansapitävyys tarkistetaan vertailemalla kaltevuuksia keskenään, mutta tarkemitattu geometria saattaa silti puuttua. Alla olevassa kuvassa on esimerkki yleiskaaviosta löytyvistä kaltevuusarvoista taitepisteineen.



Kuva 20. Kaltevuuden taitepisteet yleiskaaviossa.

5.1 Kehittäminen ja kuvaaminen

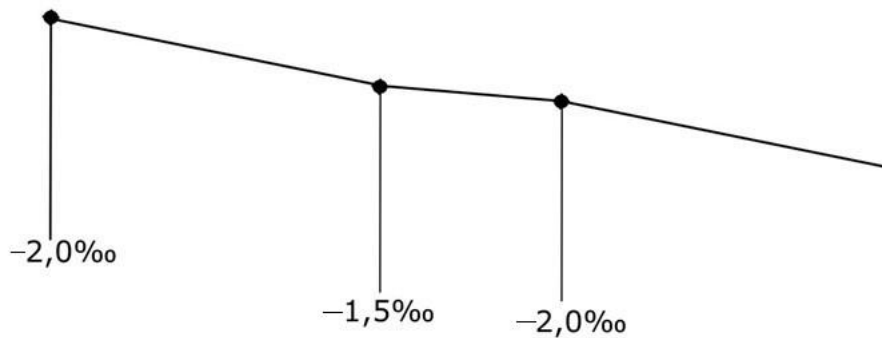
Taitepisteiden yksinkertaistamisella olisi mahdollista säästää datakapasiteettia baliiseissa ETCS-tasolla 1, mikäli yksinkertaistaminen suoritetaan tiheästi taitepisteitä sisältävällä rataosalla. Yksinkertaistaminen tulee aina tehdä turvallisempaan suuntaan. Yksinkertaistaminen vaatii yhteisen raja-arvon, joka määrittää, millä kaltevuusarvon alueella yksinkertaistamista voisi tehdä. Yksinkertaistamisen hyöty datakapasiteetin säästössä koskee vain ETCS-tasoa 1, jossa kaltevuustieto lähetetään baliiseilla esi- tai pääopastinpisteillä. ETCS-tasolla 2 merkittävää datasäästöä ei synny, koska ajolupa toimitetaan yksikölle dataradioverkon, eli RBC:n kautta. ETCS-tasolla 2 yksinkertaistaminen voidaan suorittaa tilanteissa, joissa pyöristysen jälkeen peräkkäisillä kaltevuusjaksoilla on pyöristettynä sama kaltevuusarvo.

ERTMS/ETCS-tasolla 2 heterogeenisessä liikenteessä hyöty yksinkertaistamisella on vähäistä, koska liikennöinnin turvallisuustason tulee säilyä ennallaan. Rataosuuksilla, jotka palvelevat pääosin vain homogeenistä liikennettä, voidaan säästää kaluston samankaltaisuuden perspektiivistä etuja kapasiteettiin. Kaluston kiihtyvyyden ja jarrutuskyvyn ollessa yhtäläisiä, voidaan teoriatasolla pienentää turvallisesti suojavälejä kaltevuusien yksinkertaistamisella.

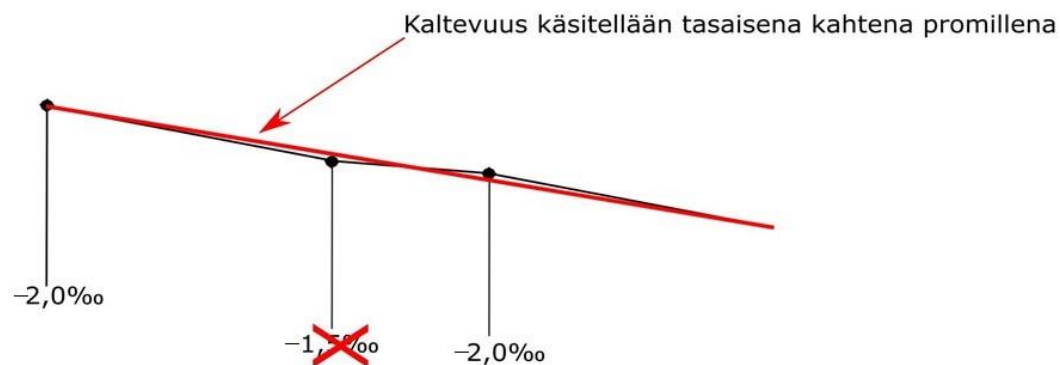
Myönteiset vaikutukset syntyvät pääasiassa suunnittelussa, jossa voidaan yksinkertaistamista hyödyntäen vähentää työmäärää kulunvalvonnan suunnittelu- ja toteutusvaiheessa.

Esimerkki:

Kuvitteellisen 500 metrin rataosan kaltevuusprofiili sisältää kolme eri pystykaltevuuden taitepistettä, mutta kahden ero on maksimissaan 0,5‰. Tässä tapauksessa taitepisteet voitaisiin yksinkertaistaa turvallisempaan tasalukuun, jolloin voidaan saada baliiseille lisää tiedonsiirtokapasiteettia ETCS-tasolla 1.



Kuva 21. Alkuperäiset taitepisteet.



Kuva 22. Yksinkertaistetut taitepisteet.

ERTMS/ETCS-tasolla 2 olisi mahdollista yksinkertaistaa kaltevuusarvoja, mikäli kytetään määrittämään raja-arvo, joka olisi yleisesti käytössä suunnitteluperusteissa. Saatava hyöty olisi huomattava ERTMS/ETCS-tason 2 nopeusprofiilisuunnittelussa, koska suuren osan taitepisteistä voisi jättää suunnitteluprosessissa pois ilman, että liikenteen turvallisuus kärsii. Taitepisteiden tiheyttä ja niiden merkintätarvetta on tarkasteltu kaluston turvallisuuskulmasta, ja huomattu vaikutusten olevan vähäisiä silloin, kun taitepisteiden korkeuserot ovat pienet ja välimatkat lyhyet.

Edellä mainitussa tapauksessa yksinkertaistamisen lähtökohtien tulisi olla kalustojen raidegeometriadata sekä rataosakohtainen suurin sallittu nopeus. Tarkastelujen perusteella on huomattu pienten kaltevuuksien yksinkertaistamisella olevan vain vähäisiä vaikutuksia tehokkaan ja nopean jarrulajin omaavan yksikön käyttöön radalla simulointitilanteessa. Suuremmat erot huomataan silloin, kun simulointikohteena on pitkä ja raskas junayksikkö, joka on varustettu hitaalla jarrulajilla. Näissä tapauksissa erot yksinkertaistetulla ja yksinkertaistamattomalla rataosalla

ovat alle sadasta metristä muutamiin satoihin metreihin, ennen kuin ETCS-veturilaite ilmoittaa kuljettajalle hidastamistarpeesta.

Kuten edellä on mainittu, simulointitulokset ovat riippuvaisia kalustokokoonpanosta, taitepisteiden sijainnista, kaltevuusjaksojen pituudesta sekä jyrkkyydestä. Suomessa suurin pituuskaltevuuden lupa-arvo tavaraliikenneradalla on 12,5‰ ja matkustajaliikenneradalla 15‰. Poikkeustapauksissa, esimerkiksi maaston haasteellisista olosuhteista johtuen, näistä lupa-arvoista voidaan joustaa. Tämän perusteella lyhyiden taitepistevälien pyöristäminen turvallisempaan suuntaan olisi perusteltua.

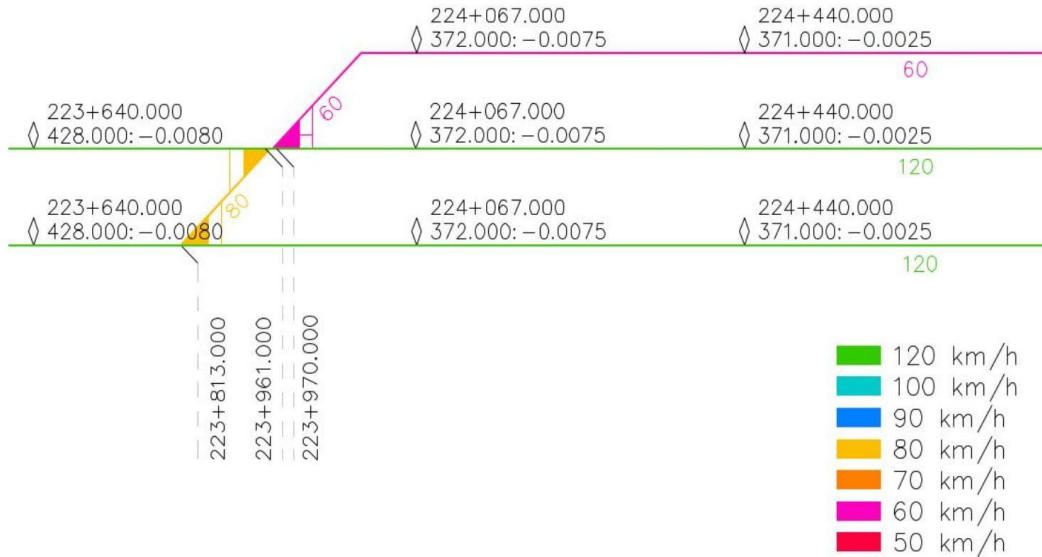
5.2 Kaltevuusprofiilin suunnittelun yhdenmukaistaminen

Suunnittelun perustana käytettävissä vanhoissa nopeus- ja kaltevuusprofiilin suunnitelmakuvissa on hankaluutena niiden ajantasaisuus päivityksen osalta sekä tiedon paikkansapitävyyden todennettavuustarve muista suunnitelmakuvista. Lisäksi ongelmana on tiedon eri formaatit sekä hajautuneisuus eri paikkoihin. Vanhoissa nopeus- ja kaltevuusprofiilikuvissa on tuotettu rataosalle kalustokohtaiset nopeusrajoitukset, jotka on mahdollista korvata uuden ehdotuksen mukaisesti (kuva 20) ETCS-suunnittelussa raidekohtaisilla nopeusrajoituksilla.

ETCS-suunnittelussa tulisi kehittää yhtenäinen suunnittelukonsepti, joka kattaa tehtävät suunnitelmaformaattit ja -mallit. Tällöin suunnittelussa tuotettava materiaali on yhtenäistä ja selkeää.

Yhtenäisellä suunnittelukonseptillä tuotetussa materiaalissa tulkintavirheen mahdollisuus olisi pienempi, ja tarkastaminen helpottuisi toimijoiden välillä. Nykyisin vaadittavien suunnitelma-aineistojen muoto on usein monimuotoista, koska se pohjautuu edelleen osaltaan manuaalisesti tehtyihin taulukoihin. Tästä esimerkkinä Kouvola–Kotka/Hamina-suunnittelussa tuotettavat listaukset nopeus- ja kaltevuusvaihteluista, baliiseista ja rataverkon mallinnuksesta.

Esimerkkinä uudesta suunnittelumallista nopeus- ja kaltevuusvaihteluihin voidaan pitää Kouvola–Kotka/Hamina-ETCS-testiradan suunnittelussa tuotettua visuaalista esimerkkiä raidekohtaisista nopeus- ja kaltevuusvaihteluista:



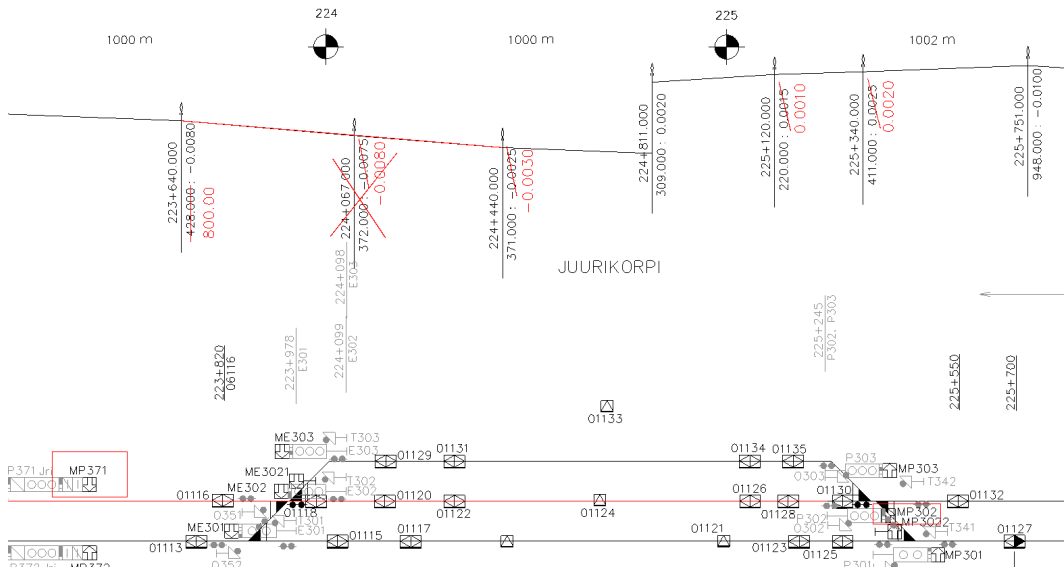
Kuva 23. Esimerkki nopeus- ja kaltevuustietojen esittämisestä suunnitelmassa.

Kuvassa 23 esitetään raidekohtainen nopeusprofiili värikoodattuna tietona, sekä kaltevuuspisteiden taitekohdat raidekohtaisina malleina desimaalilukuna. Mikäli taitepisteiden kaltevuudet esitetään suunnitelmakuvissa desimaaleina, tulee ne kääntää promilleluvuiksi yhden promillen tarkkuudella, kun käytetään pakettia 21. Lisäksi kuvassa voidaan esittää mahdolliset rajoittavat tekijät, esimerkiksi akselipainosta johtuvat nopeusrajoitukset listamuodossa, jolloin selkeys kuvassa säilytetään.

5.3 Esimerkki kaltevuusprofiilin luomisesta

Tasolla 2 kaltevuusprofiili välitetään RBC-viestillä ja se välitetään paketilla 21 viimeistään ajoluvan yhteydessä. Tässä kappaleessa on esitetty kaltevuusprofiilin muodostaminen paketilla 21 yleiskaavion tietojen pohjalta. /5/

Paketissa 21 kaltevuuden arvo (G_A) ilmoitetaan yhden promillen (1 ‰) tarkkuudella, joten yleiskaaviossa desimaaleina ilmoitetut kaltevuuksien arvot täytyy muuntaa promilleiksi ja pyöristää turvallisempaan suuntaan. Pyöristyksen jälkeen kaltevuusprofiilia voidaan yksinkertaistaa poistamalla peräkkäin olevista saman kaltevuusarvon omaavista kaltevuuspisteistä ylimääräiset. Kuvassa 24 on esitetty muutokset kaltevuusprofiiliin pyöristämisen ja yksinkertaistuksen jälkeen.



Kuva 24. Yleiskaaviossa esitettyjä kaltevuuksia (kuva suurempana liitteessä 1).

Kuvan 24 ajolupa alkaa ajolupamerkiltä MP371 ja päättyy merkillä MP302, jolloin ajoluvan pituudeksi tulee 2 100 m. Ajoluvan referenssipisteenä toimii baliisiryhmä 01114. Kyseisen ajoluvan kaltevuusprofiilin ensimmäisen D_GRADIENT-muuttujan arvo on asetettu nolllaksi, jotta ensimmäinen kaltevuus (-1‰) alkaisi heti ajoluvan alusta lähtien. Tämän jälkeen kaltevuuspisteitä on ajoluvan matkalla 5, joten pakettiin 21 tarvitaan 5 iteraatiota. Taulukossa 5 on esitetty viesti 3 ja sen mukana lähetettävä kuvan 24 ajoluvan mukainen paketti 21.

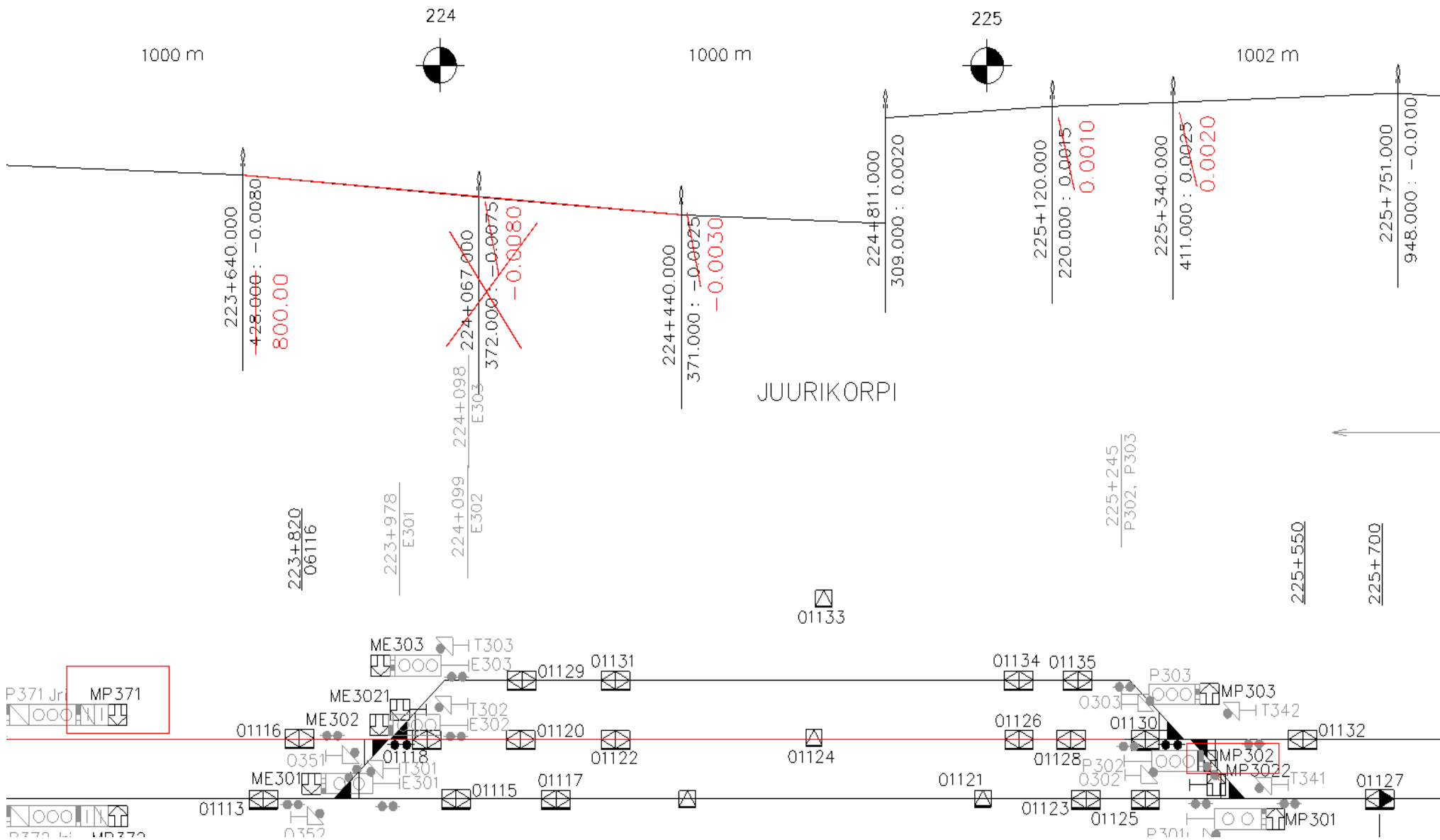
Taulukko 5. Ajoluvan kaltevuusprofiili.

Viesti 3		Paketti 21	
Muuttuja	Arvo	Muuttuja	Arvo
NID_MESSAGE	3	NID_PACKET	21
L_MESSAGE	83	Q_DIR	1
T_TRAIN	0	L_PACKET	174
M_ACK	0	Q_SCALE	1
NID_LRGB	1114	D_GRADIENT	0
		Q_GDIR	0
		G_A	1
		N_ITER	5
		D_GRADIENT	4
		Q_GDIR	0
		G_A	5
		D_GRADIENT	505
		Q_GDIR	0
		G_A	8
		D_GRADIENT	800
		Q_GDIR	0
		G_A	3
		D_GRADIENT	371
		Q_GDIR	1
		G_A	2
		D_GRADIENT	309
		Q_GDIR	1
		G_A	1

Lähdeluettelo

- /1/ EN1997-1. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 1: Yleiset säännöt.
- /2/ Mäntyjärvi, M. 2017. Kaukoliikenteen henkilöjunien jarrutuskykyvaatimusten tarkastelu
- /3/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2: Radan geometria
- /4/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 10: Junien kulunvalvonta JKV
- /5/ Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 22: ERTMS/ETCS
- /6/ SUBSET-026-7: System Requirements Specification. Chapter 7: ERTMS/ETCS language

Yleiskaaviossa esitetyjä kaltevuuksia (kuva 24)





Väylävirasto
Trafikledsverket

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-940-0

www.vayla.fi