

LAUSUNNOT



LIIKENNE- JA
VIESTINTÄMINISTERIÖ

2.4.2007

Dnro: 328/08)2007

Onnettomuustutkintakeskus
Kai Valonen
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 Helsinki

SAAPUNUT

04-04-2007

121/57

Viite Lausuntopyyntö 23.2.2007 (74/5Y)

Asia Liikenne- ja viestintäministeriön lausunto liikenneturvallisuussuosituksista

Liikenne- ja viestintäministeriö on tutustunut tutkintalautakunnan luonnokseen Tutkintaselostukseksi B1/2006Y Pyhtäällä tapahtuneesta liikenneonnettomuudesta. Onnettomuustutkinta on käsityksemme mukaan tehty huolellisesti ja näkökulma onnettomuuden syistä ja niiden ehkäisytöistä on ollut laaja. Myös liikenne- ja viestintäministeriössä on kannettu huolta rekkajonon aiheuttamasta turvallisuusongelmasta ja kaikkiaan valtatie 7:lle ja muille itärajan tulliasemille johtaville teille aiheutuvasta haitasta. Pääosin kannatettavista toimenpide-esityksistä esitämme seuraavia huomioita ja kommentteja.

Nukahtamisonnettomuuksien estäminen

Jonotusjärjestelmän kehittäminen ja ns. rekkaparkkien rakentaminen toisi merkittävän parannuksen kuljettajien lepomahtodollisuuteen ja valvonnan järjestämiseen. Suunnittelutyö on edennyt pitkälle ja asia on ollut myös paljon julkisuudessa. Kyseessä tulee kuitenkin olemaan kallis investointi, joka tärkeydessään kilpailee muiden tienrakennushankkeiden kanssa.

Valvonnan ja tiedottamisen osalta LVM on esittänyt UM:lle "Raskaan liikenteen turvallisuuden parantaminen E18 -tiellä Luoteis-Venäjän alueella" -lähialuehanketta. Hankkeella on Venäjän osapuolen mm. Leningradin alueen tie- ja liikennekomitean tuki. Hankkeessa ehdotetaan yhtenä toimenä erilaisen informaatiomateriaalin tuottamista ja jakelua turvallisuutta edistämään. Tässä yhteydessä informaatioon ja koulutukseen voisi myös kuulua väsymykseen ja nukahtamiseen liittyvät asiat. ASMAP - Venäjän SKAL - on asiassa mukana ja valmis osallistumaan niin koulutukseen kuin materiaalin tuottamiseen ja jakamiseen.

Rajalla tapahtuvan valvonnan tehostamiseen on monessa yhteydessä lähialueiden turvallisuutta koordinoivan ryhmän keskusteluissa kiinnitetty huomiota. Sellaiset toimet eivät kuitenkaan voi kuulua ym. hankkeeseen koska se katsotaan normaalksi virkistyöksi. Toisin sanoen valvonnan tehostaminen kuuluu siten poliisin, tullin ja rajavartiolaitoksen toimialueeseen. Kyseisten organisaatioiden ns. PTR-yhteistyö on avainasemassa toiminnan kehittämiseksi.

\\vmfs01\home\valtonen\ONNTAP\2006\PYHTAALaus_OM_070328_JVa_final.doc x

Postiosoite	Käyntiosoite	Puhelin	Telekopio
PL 31	Eteläesplanadi 16-18, Helsinki	(09) 160 02	(09) 160 28596
00023 Valtioneuvosto			(09) 160 28590 (tiedotus)
kirjaamo@mintc.fi			
info@mintc.fi			

Linja-autoliikenteen turvallisuustason parantaminen

Liikenneturvallisuuden huomiointi linja-autoliikenteen, kuten muunkin ammattimaisen liikenteen, turvallisuusjohtamisessa on tuotu esiin muun muassa Tieliikenteen turvallisuus 2006-2010 –ohjelmassa ja sitä seuranneessa valtioneuvoston periaatepäätöksessä tieliikenteen turvallisuuden parantamiseksi 9.3.2006. Tähän liittyen on muun muassa lainsäädäntöä kehitetty suuntaan, jossa valvontaseuraamuksia pystyttäisiin kohdentamaan kuljettajien lisäksi toiminnan turvallisuudesta tosiasiallisesti vastaaviin osapuoliin, kuten esimerkiksi aikataulun laadinnasta vastuussa oleviin. Myös turvavöiden käyttövaatimuksen tultua koskemaan myös linja-autoja, pyrittiin huomioimaan kuljettajan ja muun autohenkilökunnan vastuu matkustajaturvallisuudesta. Kuitenkin on todettava, että turvallisuuskulttuurissa on linja-autoliikenteellä opittavaa esimerkiksi lentoliikenteen toimintatavoista, kuten raportissa mainitaan. Kuitenkin turvallisuuskulttuurin muutos voi onnistua parhaiten alan omaehtoisesta toiminnasta; sitä ei juuri voi määrätä ulkopuolelta. Turvallisuuskulttuurin ja turvallisuusjohtamisen kehittämisen tukemiseksi ja aikaan saamiseksi liikenne- ja viestintäministeriö onkin tuottanut tietopohjaa mm. mainitussa LINTU-tutkimusohjelmassa, jossa mainitun Linja-autojen liikenneturvallisuus-raportin lisäksi on myös muita ammattiliikennettä koskevia tutkimuksia, kuten esimerkiksi ”Tavaraliikenteen kuljetusten liikenneturvallisuusvastuu – Liikenneturvallisuusjohtaminen tavarankuljetuksissa” (LINTU 2/2005).

Tien turvallisuuden parantaminen

Valtatie 7 on osa E18-tietä. Tavoitteena on, että E18 on kokonaisuudessaan moottoritietasoinen vuoteen 2015 mennessä. Läntisen Turku-Helsinki välin valmistuessa tulee vuoroon Helsingistä itään suuntautuva osuus. Ajosuuntien erottaminen on turvallisuuden kannalta olennainen tekijä, on ratkaisu sitten moottoritie tai ns. keskikaiteellinen 2+2- tai 2+1-ratkaisu. Keskikaideratkaisussa ei ehkä olemassa olevia ohituskaistoja tai leveäkaistateitä lukuun ottamatta ole kyse koskaan ”vain keskikaiteen asentamisesta”. Ratkaisu edellyttää aina tien leventämistä, ja sen myötä sen rakenteellista muuttamista sekä liittymä- ja rinnakkaistiejärjestelyjä. Itse keskikaiteen osuus on yleensä vain noin kymmenesosa ratkaisun kustannuksista.

Itä-liikenteen määrän hallitseminen

Kuljetusmarkkinoiden tulee toimia avoimesti ja tasapuolisesti kaikkia toimijoita kohtaan. Autokuljetuksille kohdistetut maksut eivät voi perustua esimerkiksi kansallisuuteen. Toki liikenteen verotuskäytäntöjä pohditaan, jotta toisaalta kuljetukset voidaan toteuttaa tehokkaasti ja edullisesti sekä pitää aiheutuneet haitat niin liikenneturvallisuudelle kuin esimerkiksi ympäristölle mahdollisimman vähäisinä. Verotuksellisten ohjaukeinojen kehittäminen kuuluu valtiovarainministeriön hallinnonalalle.

Valvonta rajalla

Liikenne- ja viestintäministeriö pitää PTR-yhteistyötä tärkeänä, ja sen edelleen tehostamista kannatettavana.

Autoja kuljettavien ajoneuvoyhdistelmien kuormaustapa ja suurin pituus

Auton ja keskiakseliperävaunun suurin sallittu pituus on 18,75 m, mikä perustuu EU-direktiiviin. Ajoneuvohallintokeskus voi kuitenkin tietyissä tapauksissa myöntää poikkeuslupia. LVM:n asetuksen 1252/2002 mukaan (liikenne- ja viestintäministeriön asetus muualla kuin Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa rekisteröidylle tai käyttöön otetulle ajoneuvolle myönnettävistä poikkeusluvista) voidaan autojenkuljetuksessa myöntää keskiakseliperävaunuyhdistelmälle myöntää poikkeuslupa aina 19,35 metrin pituuteen asti. Ajoneuvohallintokeskus on todennut oheisessa lausunnossa, että olisi syytä harkita poikkeuslupamahdollisuuden muuttamista koskemaan ainakin 19,80 metrin pituisia yhdistelmiä, jolloin oltaisiin perävaunun suunnitellussa pituudessa. Liikenne- ja viestintäministeriö yhtyy Ajoneuvohallintokeskuksen lausuntoon asiassa.

On kuitenkin huomattava, että ehdotetulla muutoksella olisi kahdenlaisia vaikutuksia. Lyhyellä tähtämellä vaikutus olisi esitetyn mukainen, autojenkuljetusrekkojen lukumäärä vähenisi kun yhden kuljetusauton kapasiteetti kasvaisi. Jonojen määrään sillä olisi hieman pienempi vaikutus, koska jonossa olevat kuljetusautot olisivat vastaavasti pidempiä. Toisaalta muutos alentaisi edelleen tiekuljetuksen kustannuksia ja lisäisi pitkänkin tiekuljetuksen houkuttelevuutta muihin kuljetusmuotoihin tai lyhyempään tiekuljetusvaihtoehtoon verrattuna, mikä on vastakkainen tiellä tapahtuvat transitoliikenteen määrän hallintaan liittyvän tavoitteen kanssa.


Linja-autojen nopeudet

Myös liikenne- ja viestintäministeriö on huolissaan linja-autojen ja muun raskaan liikenteen tavanomaisesta nopeusrajoitusten rikkomisesta ja yhtyy tutkintalautakunnan suositukseen alan omista puuttumiskeinoista.

Helsingissä 2.4.2007

Osastopäällikkö,
ylijohtaja

Liikenneneuvos



Harri Cavén



Matti Roine

Liite: Ajoneuvohallintokeskuksen lausunto 16.3.2007



328/08/2007

Ajoneuvohallintokeskus
Fabianinkatu 32
PL 120
00101 Helsinki
Puhelin: 0100 7800
Faksi: (09) 6185 3600
www.ake.fi

Liikenne- ja viestintäministeriö
PL 235
00131 HELSINKI

Päiväys 16.3.2007
Dnro 24/990/2007
Viite Lausuntopyyntönnö 328/08/2007 1.3.2007

Valvontaan MLR 20/13/07
↓
Sotkan Suunn.

LAUSUNTO ONNETTOMUUSTUTKINTAKESKUKSEN TEKEMÄSTÄ PYHTÄÄN ONNETTOMUUDEN TUTKINTASELOSTUKSESTA JA TOIMENPIDESUOSITUKSISTA

Ajoneuvohallintokeskus on tutustunut tutkintalautakunnan luonnokseen tutkintaselostukseksi 6.2.2006 Pyhtäällä tapahtuneesta autoja kuljettaneen ajoneuvoyhdistelmän ja linja-auton törmäyksestä ja erityisesti siinä oleviin toimenpidesuosituksiin. Ajoneuvohallintokeskus esittää seuraavia huomioita ja kommentteja.

6 Suositukset

Ajoneuvohallintokeskus kannattaa tutkintalautakunnan suosituksia raskaan itäliikenteen turvallisuuden parantamiseksi, linja-autojen turvallisuuskäytäntönormiston luomiseksi, valtatie 7:n muuttamiseksi ja transitoliikenteen määrän hallitsemiseksi.

6.1 Nukahtamisonnettomuuksien estäminen

Ajoneuvohallintokeskus toteaa että tutkintalautakunnan huomiot ja ehdotukset ovat aiheellisia ja kannatettavia. Valvonnan ja valvontaedellytysten parantaminen sekä erityisesti tulliviranomaisten osallistuminen valvontaan yhdessä poliisin ja mahdollisesti myös satamien kanssa olisi tarpeen. Tärkeää olisi myös ajoneuvon pysäyttäminen viranomaisten toimesta säädetyn vuorokausilevon pitämiseksi. Valvonta ja lepoon pakottaminen olisi hyvä toteuttaa heti rajan läheisyydessä tai satamassa, eli tässä tapauksessa Hangossa. Eräänä keinona voisi olla tarvittavien asiakirjojen luovuttaminen tullista vasta hyväksytyin ajo- ja lepoaikatarkastuksen tai vaaditun levon jälkeen. Ehdotettujen digitaalisten ajopiirtureiden pitäisi olla tulossa uusiin venäläisiin ajoneuvoihin AETR-sopimuksen perusteella vuodesta 2010 alkaen.

6.5 Muita ehdotuksia

Valvonta rajalla

Ajoneuvohallintokeskus kannattaa tutkintalautakunnan ehdotusta kuljettajien velvoittamisesta lepoon, jos valvontalaitteen eli ajopiirturin käyttämättömyyden tai jonkin väärinkäytön vuoksi lepoaikojen noudattamisesta ei ole tietoa. Ehdotettu Tullin ja poliisin yhteistyö mm. kuljettajien ajoajan valvonnassa toisi tehokkuutta.

Autoja kuljettavien ajoneuvoyhdistelmien kuormaustapa ja suurin pituus

Tutkintaselostusluonnoksessa ja sen liitteenä olevassa VTT:n tutkimusraportissa todetaan että suuressa osassa autoja kuljettavista ajoneuvoyhdistelmistä suurin sallittu aisapaino 1000 kg ylittyy. Syynä siihen todetaan Suomessa suurin sallittu keskiakseliperävaunuyhdistelmään pituus 18,75 metriä, joka pakottaa pitämään kyseisen yhdistelmän perävaunun takajatkoksen sisäänvedettynä. Tämä pitääkin paikkansa osittain. Edellä mainittu suurin sallittu pituus 18,75 metriä on säädetty Asetuksessa ajoneuvojen käytöstä tiellä (4.12.1992/1257), sen 4A luvussa ja 30 f §:ssä koskien muualla kuin ETA-valtiossa rekisteröidyn ajoneuvon käyttöä Suomessa ja yhdistelmien pituutta.

Tästä on kuitenkin mahdollisuus antaa poikkeuslupa, josta säädetään LVM asetuksella muualla kuin Euroopan talousalueeseen kuuluvassa valtiossa rekisteröidylle tai käyttöön otetulle ajoneuvolle myönnettävistä poikkeusluvista (19.12.2002/1252). Asetuksen 3 §:n mukaan Ajoneuvon ja ajoneuvoyhdistelmän pituudesta voidaan myöntää poikkeus mm. keskiakseliperävaunuyhdistelmälle, jonka pituus on enintään 18,75 metriä, keskiakseliperävaunuyhdistelmän autojenkuljetuksessa kuitenkin 19,35 metriä, ilman kuormaa kuitenkin enintään 18,75 metriä.

Näin ollen poikkeusluvalla olisi mahdollista hyödyntää myös takajatkkeen pidentäminen, jolloin massajakauma olisi lähempänä suunniteltua. Koska poikkeuslupa on maksullinen, lupien hakeminen ja takajatkkeen käyttö on viime aikoina vähentynyt. Olisikin syytä harkita poikkeuslupamahdollisuuden muuttamista koskemaan ainakin 19,80 metrin pituisia yhdistelmiä, jolloin oltaisiin tässä perävaunun suunnittelussa pituudessa ja mahdollisesti poikkeusluvalla houkuttelevuus paransi. Samoin tällä voisi olla vaikutusta myös ajoneuvojen määrään, kuten tutkintaselostusluonnoksessakin todetaan. Mahdollinen vaikutus suomalaisten ja venäläisten väliseen kilpailutilanteeseen tuntuu pieneltä, koska suomalaisten osuus jota nyt on niin pieni.

Linja-autojen nopeudet

Ajoneuvohallintokeskus yhtyy tutkintaselostusluonnoksen näkemyksiin linja-auton ylinopeuden vaikutuksista onnettomuuden seurauksiin sekä jarrutusmatkan pituuteen ja onnettomuuden välttämiseksi käytävissä olevaan aikaan. Nämä vaikutukset ja niiden merkitys on muistettava huomioida tulossa olevassa kuorma- ja linja-autojen kuljettajien ammattipätevyysvaatimusten mukaisessa perustason koulutuksessa samoin kuin vastaavassa jatkokoulutuksessa. Lisäksi on syytä kiinnittää huomiota linja-autojen linjaliikenteeseen hyväksyttäviin aikatauluihin, erityisesti siihen että talvinopeusrajoitusten aikana aikataulujen on syytä olla väljemmät kuin kesällä.

Ylijohtajan sijainen, toimialajohtaja



Kari Wihlman

Yksikönpäällikkö



Ari Herrala



Onnettomuustutkintakeskus
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 HELSINKI

SAAPUNUT

23-03-2007

116/SY

**AUTOJA KULJETTANEEN AJONEUVOYHDISTELMÄN JA LINJA-AUTON
TÖRMÄYS PYHTÄÄLLÄ 6.2.2006 JA KATSAUS ITÄLIIKENTEeseen**

Onnettomuustutkintakeskus on pyytänyt sisäasiainministeriön lausuntoa ot-
sikossa mainitusta tutkintaselostuksesta B1/2006Y. Sisäasiainministeriö to-
teaa lausuntonaan seuraavaa:

Hätäkeskuksen osalta tutkintaselostuksessa on analyysiosassa painotettu
mm. sitä, että Kaakkois-Suomen hätäkeskus antoi ensimmäisen hälytyksen
pelastuslaitokselle yli kahden minuutin kuluttua ensimmäisen hätäpuhelun
alkamisesta. Onnettomuustutkintakeskus tutkii tavanomaista vakavampia ti-
lanteita ja on hyvin luonnollista, että juuri niissä tilanteissa hälytysten anta-
minen saattaa viivästyä, koska olennaisinta on selvittää tarvittavan avun laa-
tu ja määrä mahdollisimman tarkasti.

Tutkintaselostuksessa mainitaan, että hälytystiedoissa olisi tullut ilmetä tieto
useista loukkaantuneista. Tämä maininta on paikallaan ja todellakin hätä-
keskuspäivystäjien koulutuksessa tällaisia asioita painotetaan. Se, miksi tie-
to tässä tapauksessa on jäänyt ilmenemättä, ei selviä tutkintaselostuksesta.

Pronto-tietojärjestelmän onnettomuusselosteiden tietojen täyttämisen puut-
teisiin on tutkintaselostuksessa kiinnitetty huomiota. Onnettomuusseloste-
iden tietojen oikeellisuudesta ja laadusta vastaa niiden täyttäjät eli käytännös-
sä pelastustoiminnan johtaja. Asiaa on koulutuksen, ohjeistuksen ja tiedo-
tuksen avulla yritetty parantaa niin kauan kuin Pronto ja sitä edeltävä Onti
ovat olleet käytössä.

Tutkintaselostuksessa mainittuun viranomaisradioverkon radioliikenteen tal-
lentamisen kehittämiseen liittyy taloudellisia ja lainsäädännöllisiä kysymyk-
siä. Lain mukaan tallenteita saa hyödyntää vain viestinnän osapuolet tai hei-
dän suostumuksellaan joku muu. Tästä syystä hätäkeskus tallentaa kaiken
sen liikenteen, jossa se itse on osapuolena mutta ei tallenna viranomaisten
sisäistä tai välistä radioliikennettä. Teknisesti hätäkeskukseen olisi mahdol-
lista rakentaa laitteisto, joka mahdollistaisi eri viranomaisten radioliikenteen
tallentamisen heidän suostumuksellaan. Tämä kuitenkin edellyttää sitä, että
viranomaiset antaisivat luvan hätäkeskukselle tallentaa heidän liikennettään
ja että kyseisen järjestelmän kustannuksista sovittaisiin. Taloudellisessa

mielessä em. järjestelyä on pidetty epätarkoituksenmukaisena toteuttaa ottaen huomioon siitä saatavan hyödyn.

Hälytysvasteiden kehittämisen suhteen sisäasiainministeriö yhtyy tutkimustaselostuksessa esitettyyn suositukseen ja korostaa, että pelastuslain 11 §:n mukaisesti alueen pelastustoimen tulee yhteistyössä naapurialueiden, muiden pelastustoimintaan osallistuvien viranomaisten ja virka-apua antavien viranomaisten sekä hätäkeskuksen kanssa laatia hälytysohje pelastustoiminnassa tarvittavien voimavarojen hälyttämisestä ja avun antamisesta.

Hälytysohje on laadittava siten, että hätäkeskus voi hälyttää lähimmät tarkoituksenmukaiset yksiköt riippumatta siitä, minkä alueen yksiköitä ne ovat. Hälytysohjeiden tekemiseen liittyy olennaisena osana vastemäärittely erilaisia onnettomuuksia varten.

Valmiusjohtaja



Janne Koivukoski

Pelastusylitarkastaja



Taito Vainio



SOSIAALI- JA
TERVEYSMINISTERIÖ
Työsuojeluosasto

22.3.2007

Dnro
STM/781/2007
SAAPUNUT

02-04-2007

118/54

Onnettomuustutkintakeskus
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 HELSINKI

Viite Kirjeenne 23.2.2007, 74/5Y

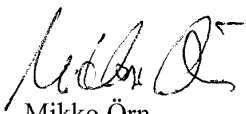
Asia **LAUSUNTO**

Sosiaali- ja terveysministeriö on tutustunut Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntöön koskien tutkintaselostusta *B1/2006Y Autoja kuljettaneen ajoneuvoyhdistelmän ja linja-auton törmäys Pyhtäällä 6.2.2006 ja katsaus itäliikenteeseen*. Sosiaali- ja terveysministeriö toteaa, ettei selostusluonnoksen sisällöstä ole huomautettavaa.

Osastopäällikkö, ylijohtaja


Mikko Hurmalainen

Ylitarkastaja


Mikko Örn



P:\Tuva\MIO\Onnettomuustutkintakeskus_lausunto.doc

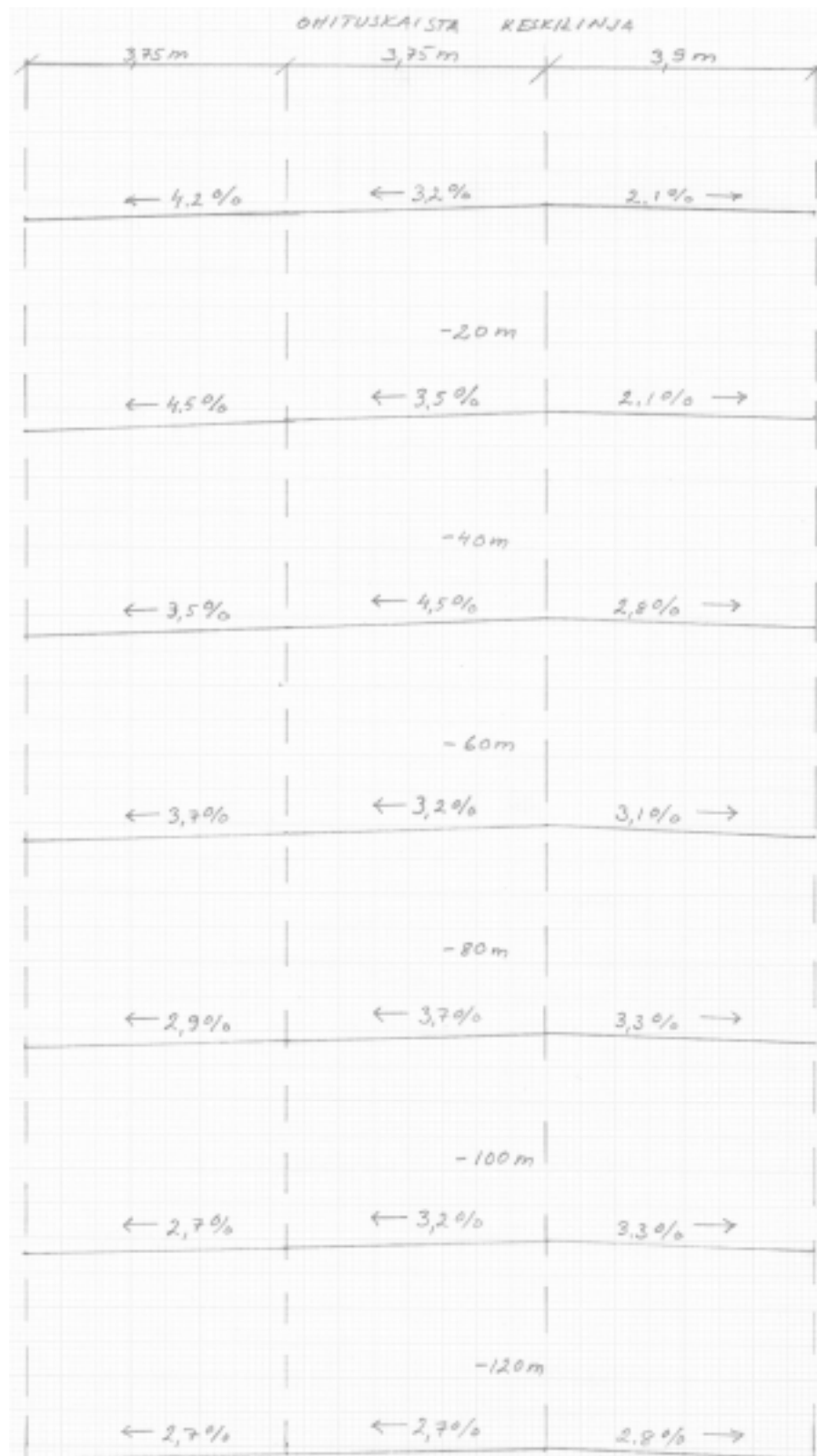
Postiosoite: PL 536, 33101 Tampere
Käyntiosoite: Uimalankatu 1, Tampere

Puhelin: (09) 16001
Telekopio: (09) 160 72511
(Kirjaamo)

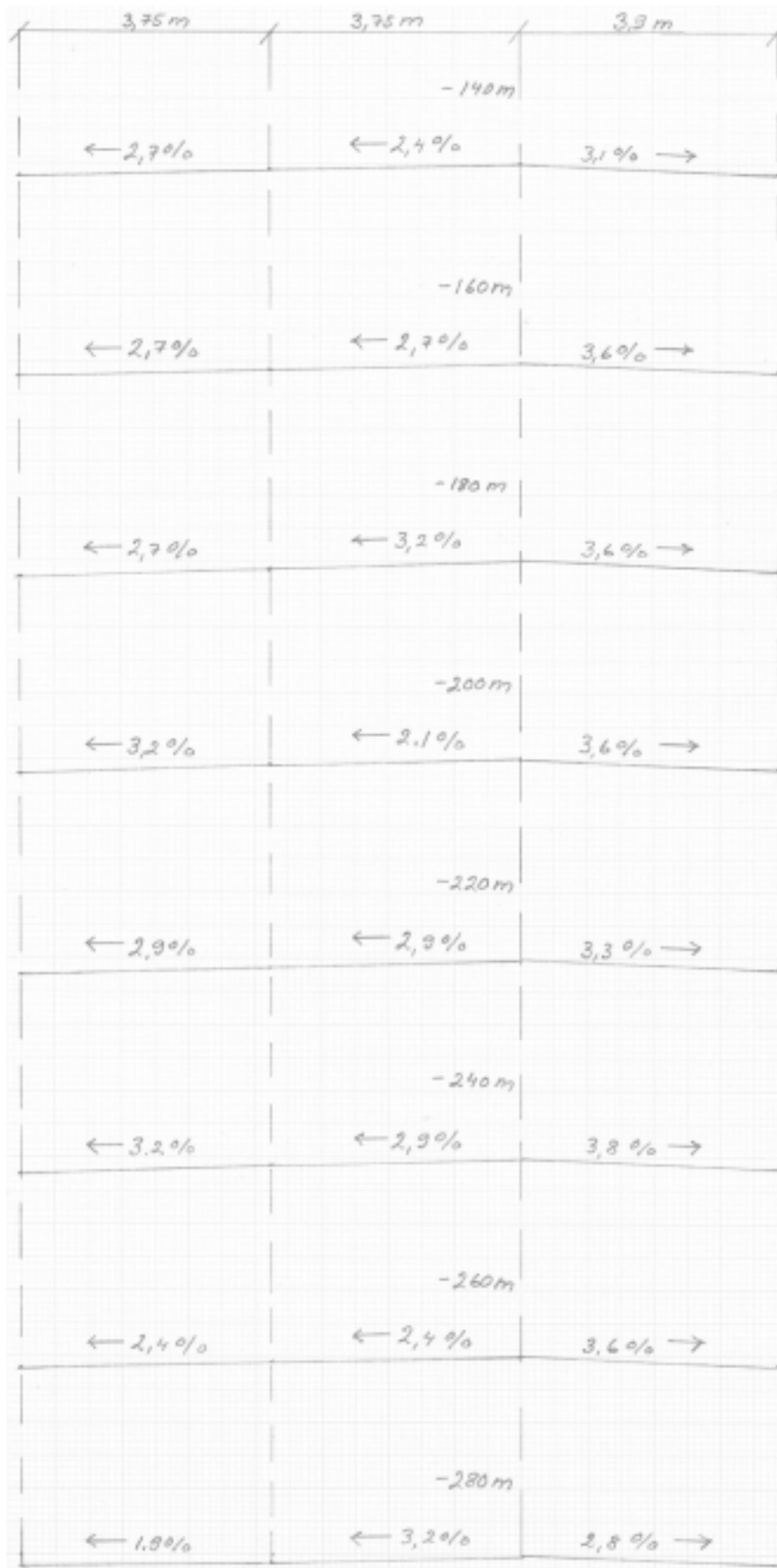
Sähköposti:
Email: etu.suku@stm.fi

Liite 2. Ajoradan poikittais- ja pituuskaltevuudet

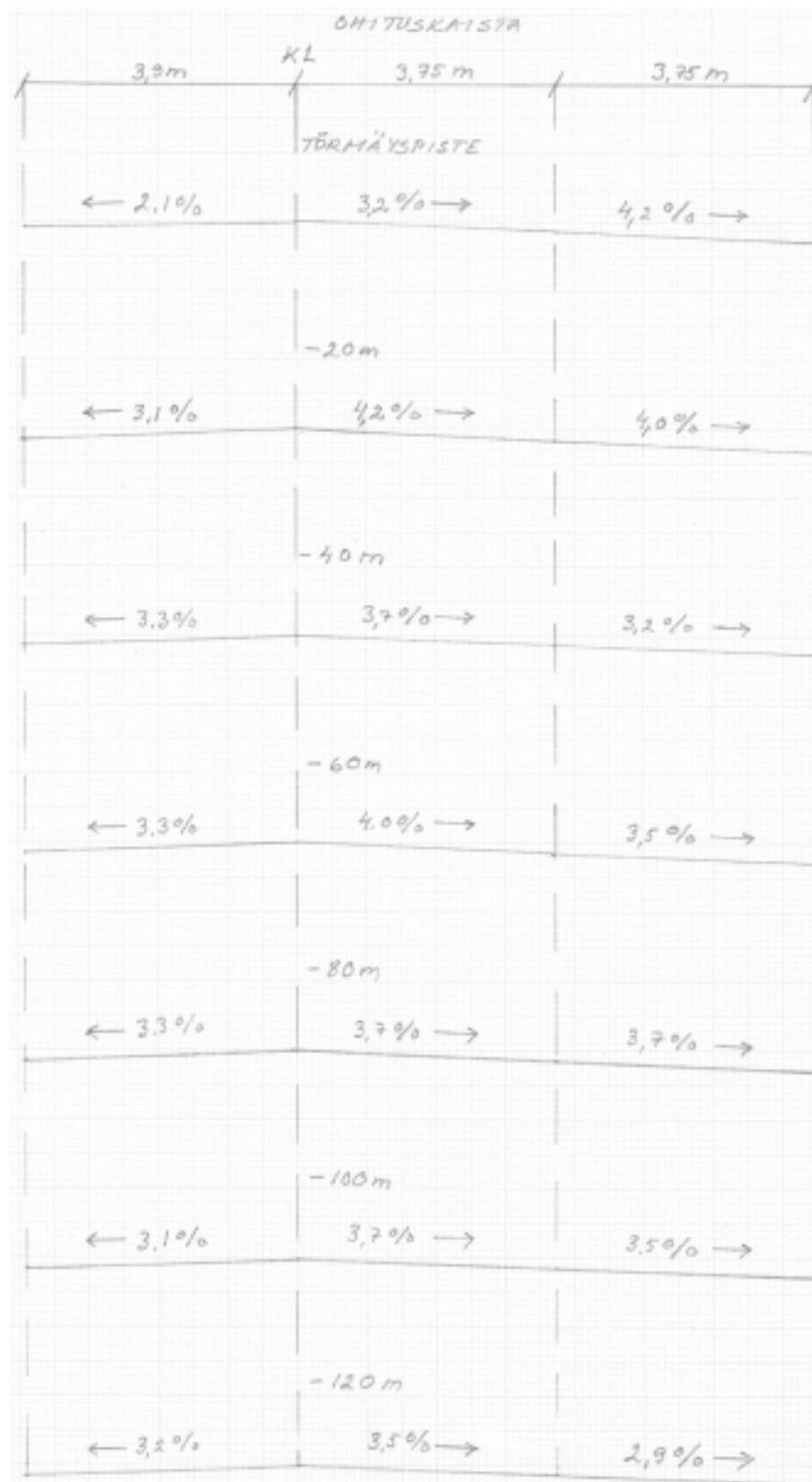
Poikittaiskaltevuudet 20 metrin välein ajoneuvoyhdistelmän tulosuunnasta, ylimpänä törmäyskohta, mittakaava 1:100



Liite 2 / 2(4)

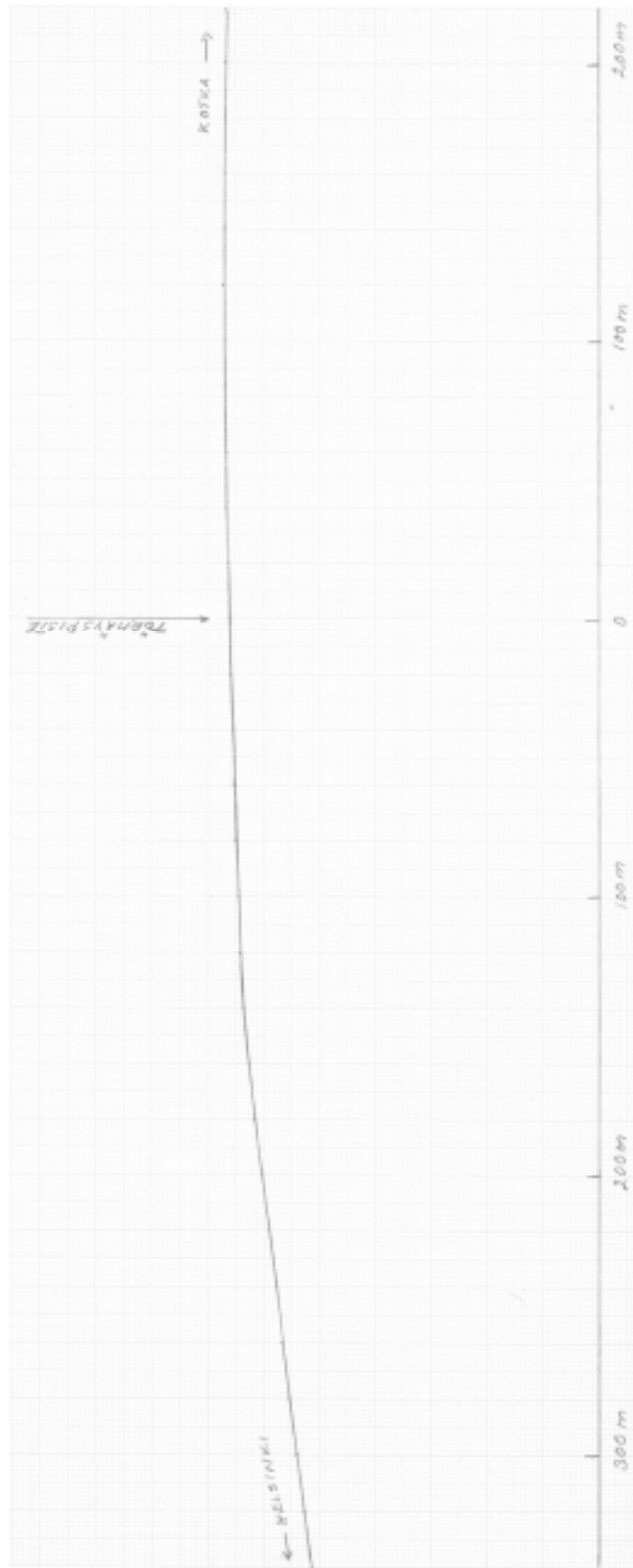


Poikittaiskaltevuudet 20 metrin välein linja-auton tulosuunnasta, ylimpänä törmäyskohta, mittakaava 1:100



Liite 2 / 4(4)

Tien pituuskaltevuudet, mittakaava 1:250





ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

DRNO 10/410/2006

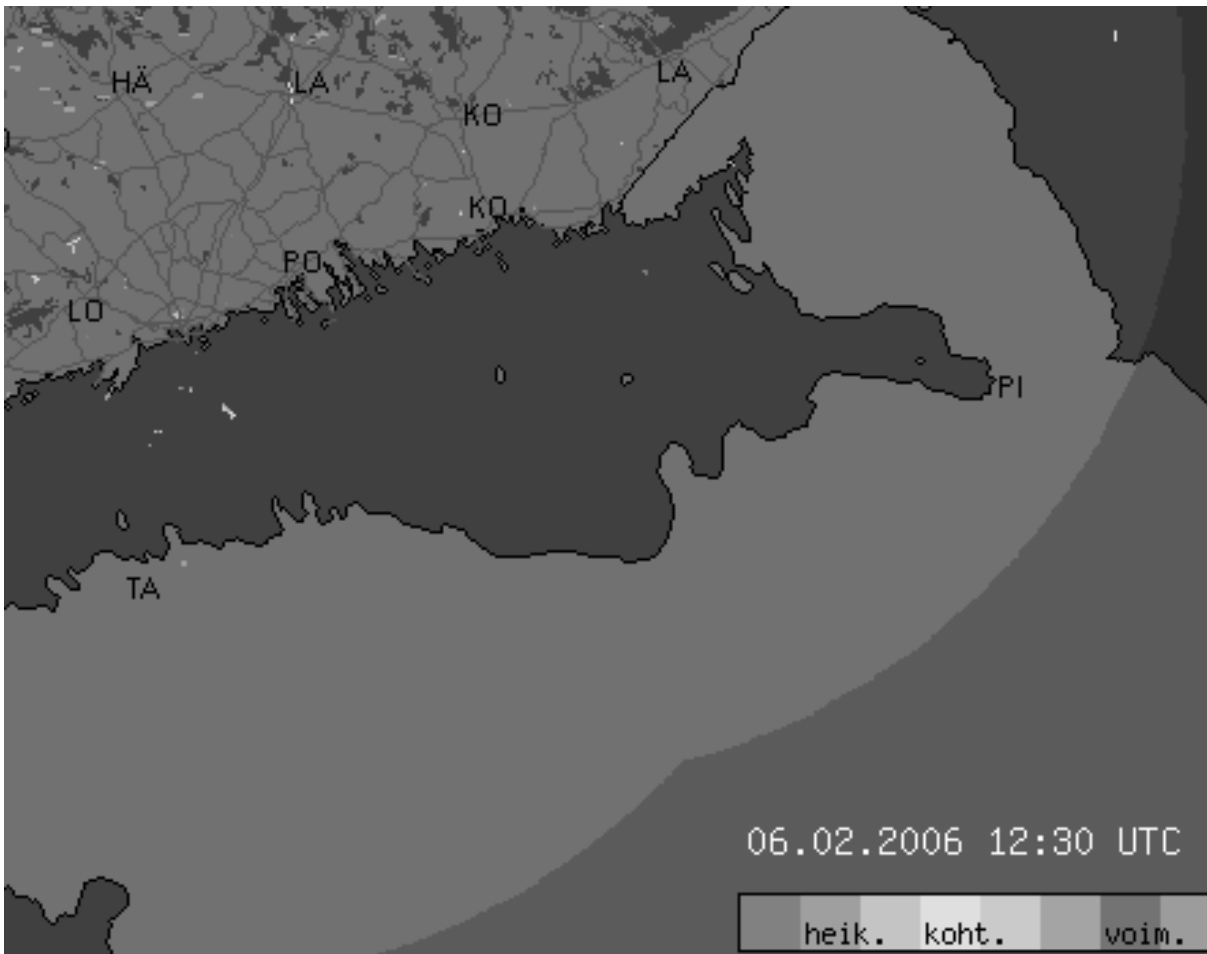
Tutkija, DI
Kai Valonen
Onnettomuustutkintakeskus
Sörnäisten rantatie 33C
00580 HKI

VIITE:

Pyhtäällä on 6.2.2006 kello 14:45 sattunut linja-auton ja autonkuljetusauton törmäys. Tarvitaan lausunto säästä, onko ollut liukasta ja mitä varoituksia on ollut voimassa.

LAUSUNTO

Ennusteista selviää, että sään yleiskuva on ollut aurinkoinen ja kylmä. Ajokeli on ollut valtakunnallisesti normaali talvinen ajokeli. Säätä on 6.2.2006 aamulla kello 8 ennustettu seuraavasti: Kylmä, mutta monin paikoin aurinkoinen sää jatkuu. Illalla länsirannikkoa ja Länsi-Lappia lähestyy lumisadealue. Maan itäosaan on ennustettu 6.2.2006 kello 8: Heikkoa tuulta, melko selkeää ja paikoin heikkoa lumisadetta, ylin lämpötila -18..-23 astetta. Liikennesääennusteet ovat olleet välillä 5.2.2006 kello 15 ja 6.2.2006 kello 9:30: Koko maassa vallitsee normaali talvikeli. Iltapäivällä 6.2.2006 kello 15 liikennesää tiedotetta on muutettu ja se on kuulunut: Ajokeli muuttuu huonoksi illasta alkaen Varsinais-Suomen, Satakunnan, Etelä-Pohjanmaan ja Pohjanmaan maakunnissa sekä Lapin länsiosassa lumisateen sekä sään lauhtumisen vuoksi. Pyhtään läheisyydessä Kotkassa on säähavaintojen mukaan tuullut pohjoisesta 1-5 m/s. Tuuli on kääntynyt kello 14 ja 17 välillä ensin itäkoilliseen ja sen jälkeen kaakkoon, ts. lopuksi on tuullut kaakosta. Pakkanen on hellittänyt kello 11 ja 14 välillä 21 asteesta noin 17 asteeseen ja jälleen kello 14 ja 17 välillä sää on kylmennyt asteella. Sää on ollut poutainen, selkeä ja näkyvyys erinomainen. Ilman suhteellinen kosteus on ollut 80 %. Merellä Kalbådagrundissa pakkasta on ollut koko ajan 15–16 astetta. Tuuli on ollut aluksi 6 m/s pohjoisesta, mutta heikentynyt ja kääntynyt puhaltamaan luoteesta noin 2-3 sekuntimetrin voimalla iltapäivällä kl 14. Kolmen tuntia myöhemmin on jo tuullut 1 -2 m/s kaakosta. Ilman suhteellinen kosteus on ollut 87 %. Sähavainnot tukevat sääennustetta, jonka mukaan on Itä-Suomessa Pyhtää mukaan lukien on vallinnut normaali talvikeli ja sää on ollut kylmää ja aurinkoista. Tutkatietojen valossa Pyhtään tai sen lähitienoon on korkeintaan voinut ohittaa erittäin lyhytaikainen ja heikko lumikuuro, joka olisi ollut peräisin yhdestä yksittäisestä pilvestä (kuva 1).



Kuva 1. Sää on ollut poutainen ja aurinkoinen. Yksittäisiä lumikuuroja on liikkunut Suomessa, Pyhtään on saattanut ylittää heikko lumikuuro kello 14:00-14:30 välisenä aikana (katso piste Kotkan länsipuolella).

Meteorologi, FM
Hilppa Mylly
Ilmastopalvelu
09-19293510

VTT

Lausunto ajopiirturikiekosta

Onnettomuustutkintakeskus
Kai Valonen
Sörnäisten rantatie 33 C
00580 Helsinki

Viite: Onnettomuustutkintakeskuksen lausuntopyyntö, Kai Valosen sähköposti 17.3.2006

Asia: **LAUSUNTO AJOPIIRTURIKIEKOISTA**

1. Tausta ja tavoite

Lausunto koskee Pyhtäällä 6.2.2006 tapahtuneessa liikenneonnettomuudessa osallisena olleiden linja-auton, puoliperävaunullisen kuorma-auton ja täysperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturikiekoja. Onnettomuudessa puoliperävaunullista kuorma-autoa ohituskaistaa käyttäen ohittamassa ollut linja-auto törmäsi vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton kanssa. Lausuntoa pyydettiin autojen nopeudesta.

2. Tutkitut ajopiirturikiekot

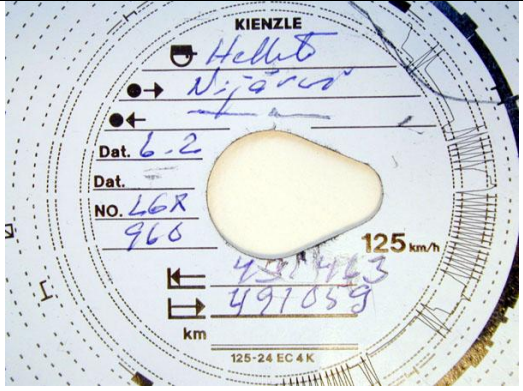
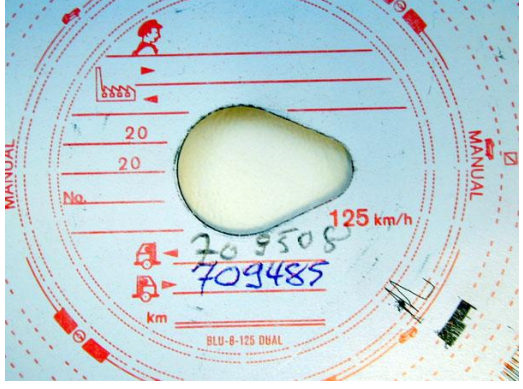
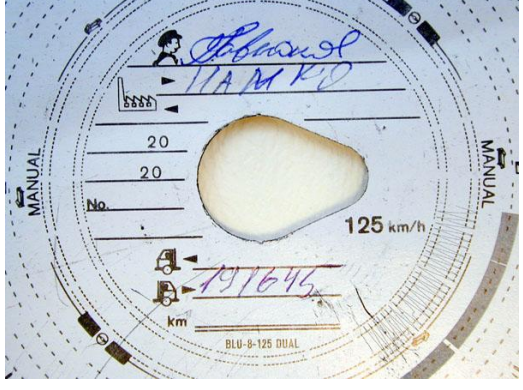
Tutkittujen ajopiirturikiekkojen tunnistustiedot näkyvät kuvasta 1.

3. Menetelmä

Kiekoja luettiin Zeiss 475052-9901 -tutkimusmikroskoopilla.

Nopeustietoja selvittäessä piirturin piirtojälgestä määritettiin nopeus-aika-koordinaatistossa yksittäisiä pisteitä. Pisteitä määritettiin sitä tiheämmin, mitä suurempaa tarkkuutta tutkittavalta asialta edellytettiin. Lähellä tutkinnan kannalta kriittisiä kohtia pisteitä määritettiin niin tiheään, että piirturin piirtojälki voitiin jäljentää mahdollisimman täydellisenä.

Kiekolta luetut nopeus-aika-koordinaatiston pisteet tallennettiin taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Excel). Sieltä tulostettiin kuvaaja, jossa ajoneuvon nopeus näkyy ajan funktiona.

<p>Ohitettavana ollut puoliperävaunullinen kuorma-auto</p>	
<p>Ohittamassa ollut linja-auto</p>	
<p>Vastaan tullut täysperävaunullinen kuorma-auto</p>	

Kuva 1. Tutkittujen ajopiirturikiellojen tunnistustiedot.

4. Yhteenveto onnettomuutta edeltäneistä ajoista

Yleiskuvaus autojen piirturikielloilla näkyvistä ajoista on taulukossa 1. Kellonajat ovat ajopiirturin aikoja ja ne esitetään noin minuutin tarkkuudella.

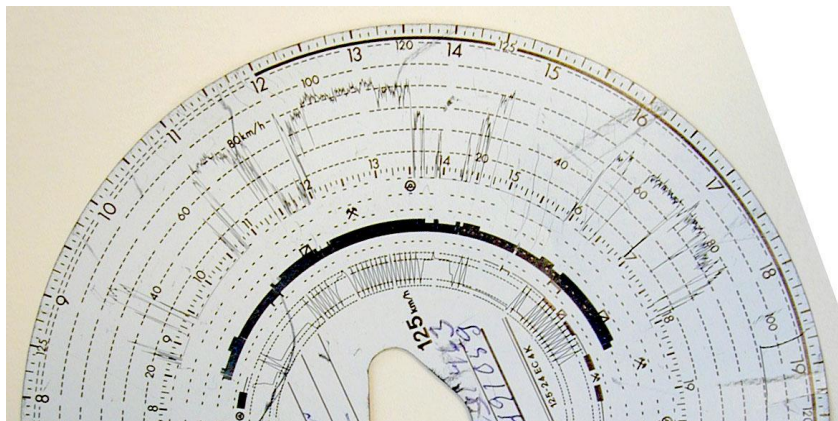
Taulukko 1. Ajoneuvojen piirturikiekoilla näkyvät onnettomuutta edeltäneet ajot.

Klo	Tapahtuma
OHITETTAVANA OLLUT PUOLIPERÄVAUNULLINEN KUORMA-AUTO	
08:38	Kiekko asennettu piirturiin
08:42	Lähdetty liikkeelle
08:42–08:50	Ajettu enimmillään noin 60km/h
08:50–09:09	Pysähdyksissä
09:09–09:27	Ajettu enimmillään noin 90km/h
09:27–10:35	Pysähdyksissä
10:35–10:38	Ajettu enimmillään noin 50km/h
10:38–10:45	Pysähdyksissä
10:45–11:39	Ajettu enimmillään noin 90km/h
11:39–11:52	Pysähdyksissä, 11:44 autoa siirretty
11:52–13:43	Ajettu enimmillään noin 95km/h
13:43–13:52	Pysähdyksissä
13:52–13:58	Ajettu enimmillään noin 50km/h
13:58–14:16	Pysähdyksissä
14:16–14:21	Ajettu enimmillään noin 50km/h
14:21–14:24	Pysähdyksissä
14:24–14:43	Ajettu enimmillään noin 90km/h
14:43	Todennäköinen onnettomuuden tapahtumisaika
14:43–15:57	Pysähdyksissä
15:57–16:13	Ajettu enimmillään noin 90km/h
16:13–16:24	Pysähdyksissä
16:24–17:56	Ajettu pääasiassa enimmillään noin 90km/h, kerran nopeus noussut yli 100 km/h
17:56	Pysähdytty
18:02	Kiekko poistettu piirturista
OHITTAMASSA OLLUT LINJA-AUTO	
14:07	Kiekko asennettu piirturiin ja lähdetty liikkeelle
14:09	Pysähdytty
14:16–14:17	Siirretty autoa 150–200 metriä
14:23–14:37	Ajettu nopeimmillaan noin 90 km/h ja pysähdytty 6 kertaa
14:37–14:45	Nopeus enimmäkseen 77–105 km/h
14:45	Törmäys, piirto päättyy
LINJA-AUTOA VASTAAN TULLUT TÄYSPERÄVAUNULLINEN KUORMA-AUTO	
12:35	Kiekko asennettu piirturiin ja lähdetty liikkeelle
12:35–12:45	Nopeus noussut vähitellen noin 80 km/h:iin
12:45–13:20	Ajettu noin 80–90 km/h nopeuksilla mahdollisesti tasanopeussäädintä käyttäen
13:20–13:22	Pysähdyksissä
13:22–14:46	Ajettu suurimman osan aikaa noin 90 km/h, kolmesti nopeus laskenut alle 60 km/h
14:46–14:50	Pysähdyksissä
14:50–15:29	Ajettu noin 90km/h nopeudella
15:29–15:46	Ajettu vaihtelevilla nopeuksilla 62–91 km/h
15:46	Törmäys, piirto päättyy

5. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus

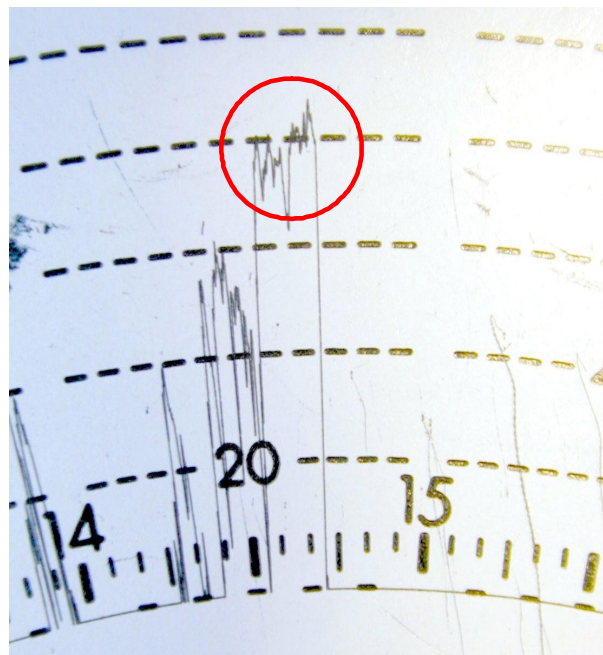
Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirron nollassa oli -4,6 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Tämän vuoksi nopeuspiirturi näyttää 10,6 km/h todellista pienempiä nopeuksia, mikä on otettava huomioon kiekosta otettuja valokuvia tarkasteltaessa. Taulukkolaskentaohjelmalla tehtyihin kuviin, joissa nopeus näkyy ajan ja matkan funktiona, on tehty em. piirturin virheestä aiheutuva korjaus.

Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturin koko nopeuspiirtojälki on esitetty kuvissa 2.

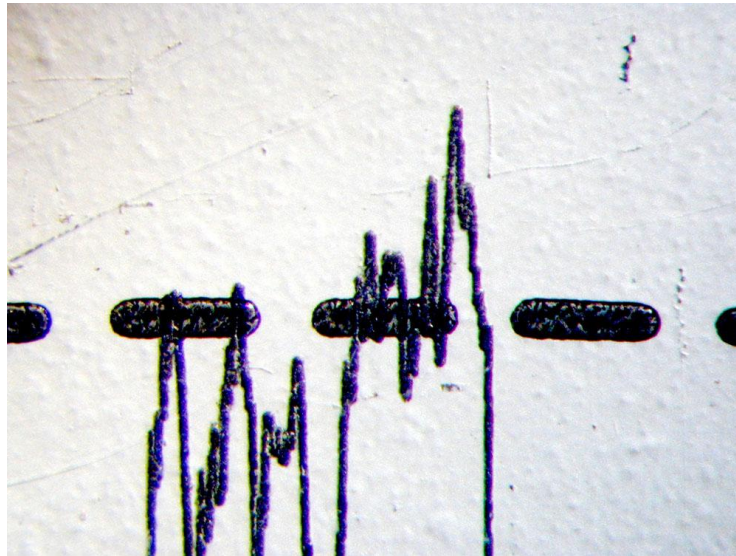


Kuva 2. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturiekon koko nopeuspiirtojälki.

Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturin nopeuspiirtojälki onnettomuuden tapahtuessa on esitetty kuvissa 3 ja 4.

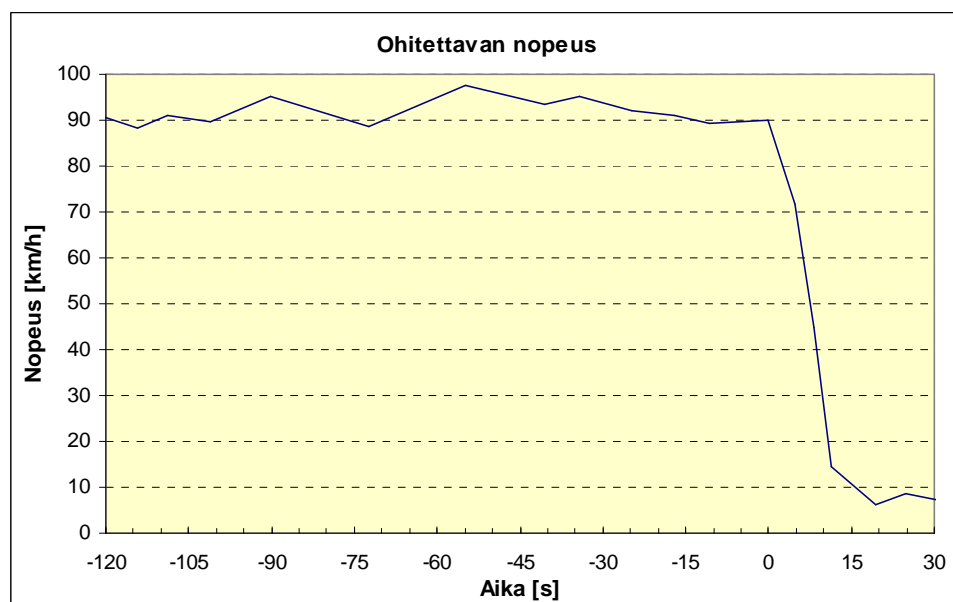


Kuva 3. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirtojälki vähän ennen onnettomuutta, jonka tapahtuma-aika kiekolla on noin klo 14:43 (punainen ympyrä).



Kuva 4. Suurennos kuvassa 2 punaisella ympyrällä merkitystä ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirtojaljen kohdasta.

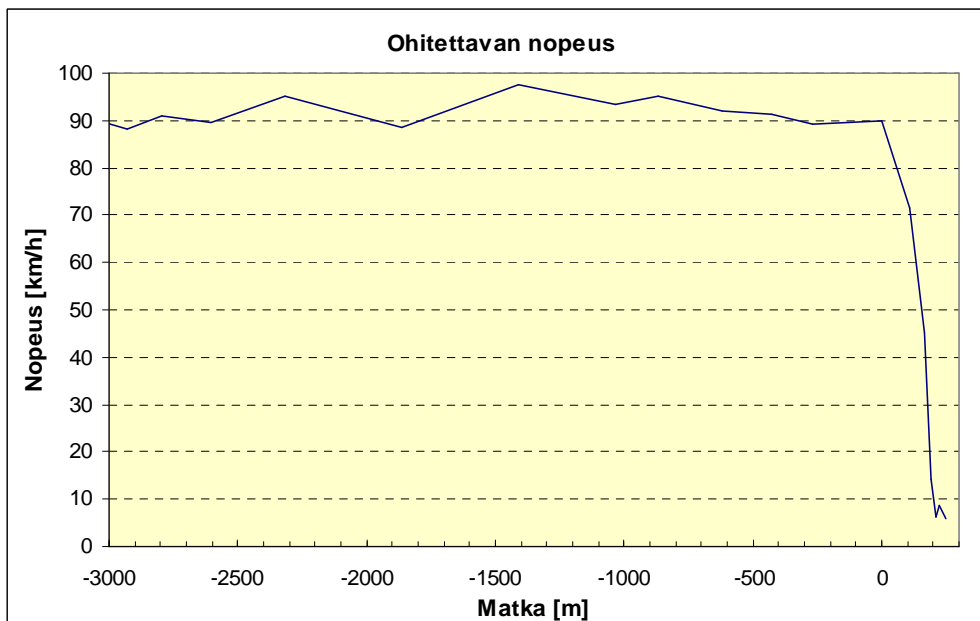
Kuvissa 5–8 on esitetty ajopiirturikiekolta määritetty nopeus ajan ja matkan funktiona viimeisen 11 minuutin aikana ja 14 kilometrin matkalla ennen onnettomuutta. Tätä ennen saman ajorupeaman aikana 11–32 minuuttia ennen onnettomuutta nopeuspiirroksessa oli jaksoja, jolloin nopeus oli tyypillisesti 90–95 km/h. Suurimmillaan nopeus oli hetkellisesti 106 km/h.



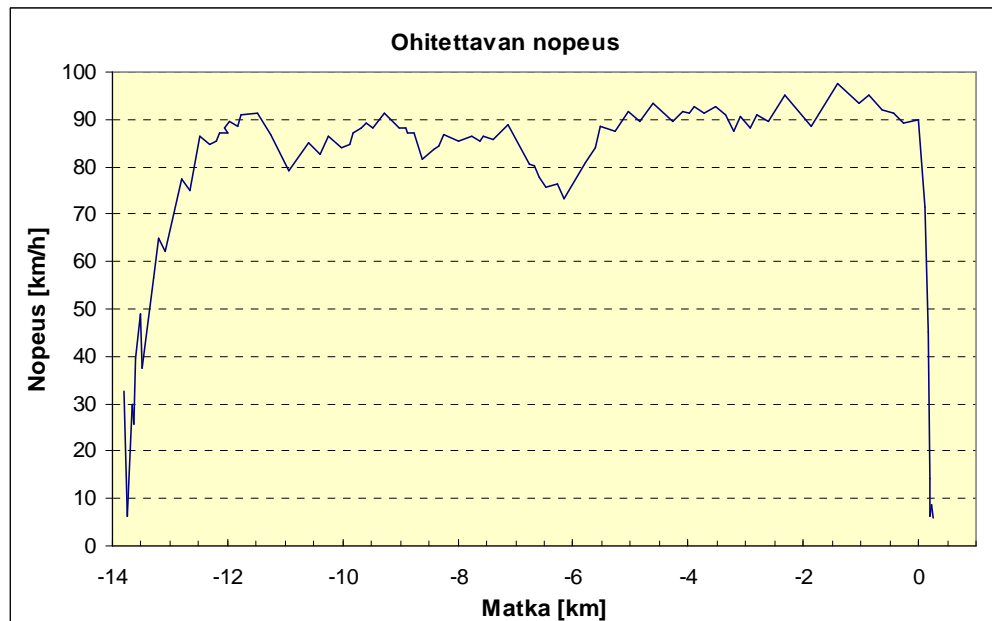
Kuva 5. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 2 minuuttia ennen onnettomuuspaikkaa).



Kuva 6. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 11 minuuttia ennen onnettomuuspaikkaa).



Kuva 7. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 3 kilometriä ennen onnettomuuspaikkaa).



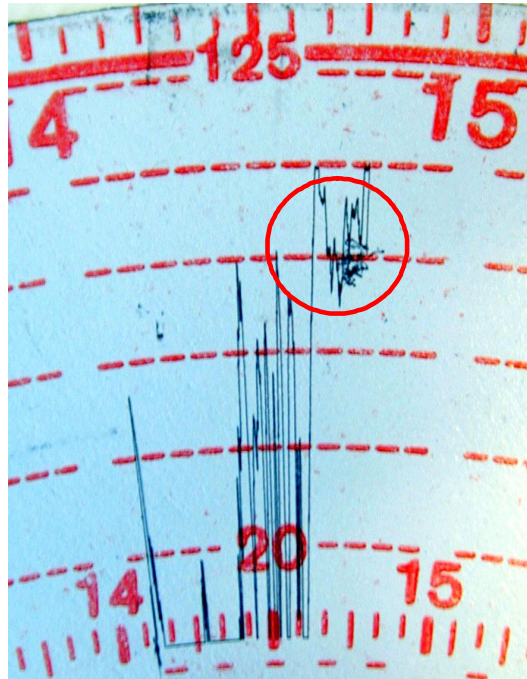
Kuva 8. Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 14 kilometriä ennen onnettomuuspaikkaa).

Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeus oli onnettomuuden tapahtuessa todennäköisesti noin 90 km/h. Ajopiirturikiekolla ei näy törmäysjälkeä, eikä auton nopeutta onnettomuuden tapahtuessa voi tämän tarkemmin määrittää.

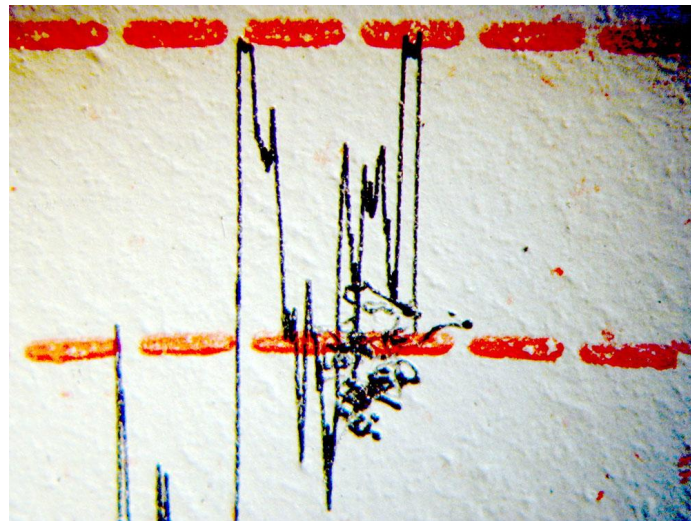
6. Ohittamassa olleen linja-auton nopeus

Ohittamassa olleen linja-auton nopeuspiirron nollassa oli 1,3 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Tämän vuoksi nopeuspiirturi näyttää 4,7 km/h todellista pienempiä nopeuksia, mikä on otettava huomioon kiekosta otettuja valokuvia tarkasteltaessa. Taulukkolaskentaohjelmalla tehtyihin kuviin, joissa nopeus näkyy ajan ja matkan funktiona, on tehty em. piirturin virheestä aiheutuva korjaus.

Ohittamassa olleen linja-auton ajopiirturin nopeuspiirtojalkei onnettomuuden tapahtuessa on esitetty kuvissa 9–11.



Kuva 9. Ohittamassa olleen linja-auton auton nopeuspiirtojätki vähän ennen törmäystä, jonka tapahtuma-aika kiekolla on noin klo 14:45 (punainen ympyrä).



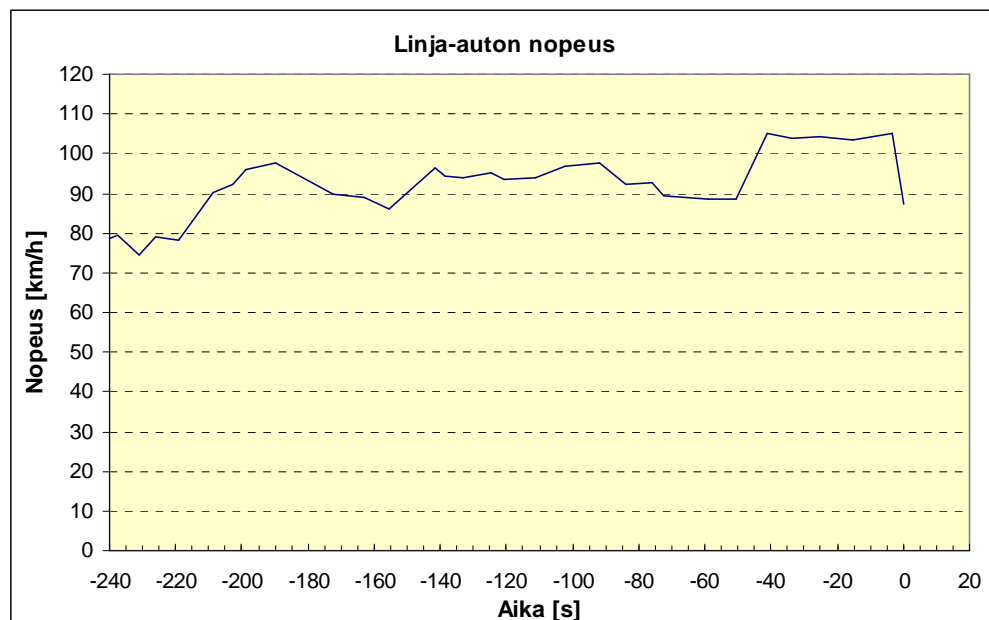
Kuva 10. Suurennos kuvassa 8 punaisella ympyrällä merkitystä ohittamassa olleen linja-auton nopeuspiirtojäljen kohdasta.



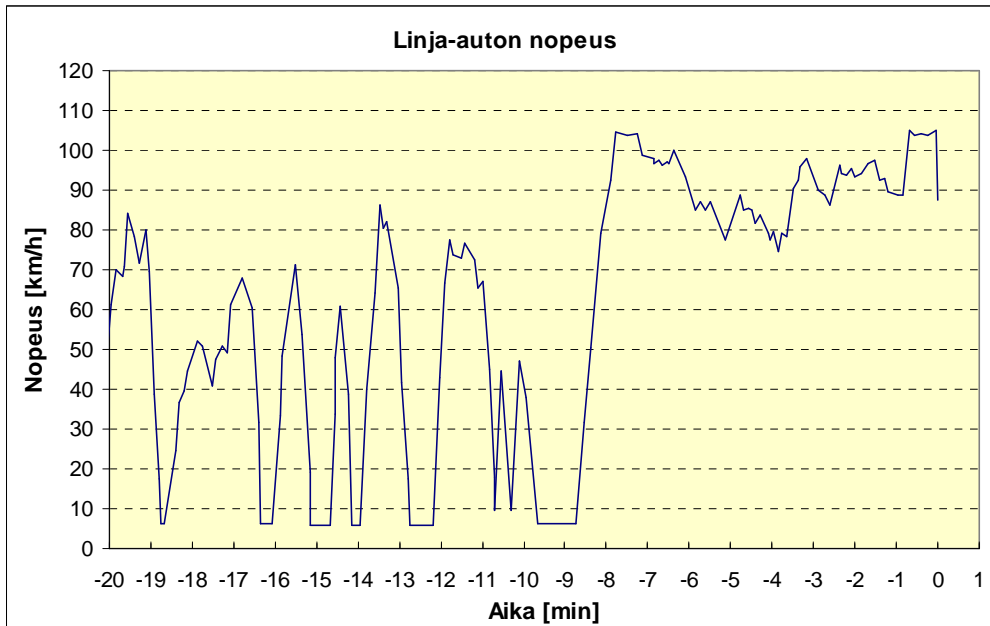
Kuva 11. Lähikuva ohittamassa olleen linja-auton ajopiirturikiekon nopeuspiirrosta törmäyshetkellä.

Linja-auton nopeuspiirrosta näkyy jälki törmäyksestä, joka on tapahtunut nopeudella 87 km/h.

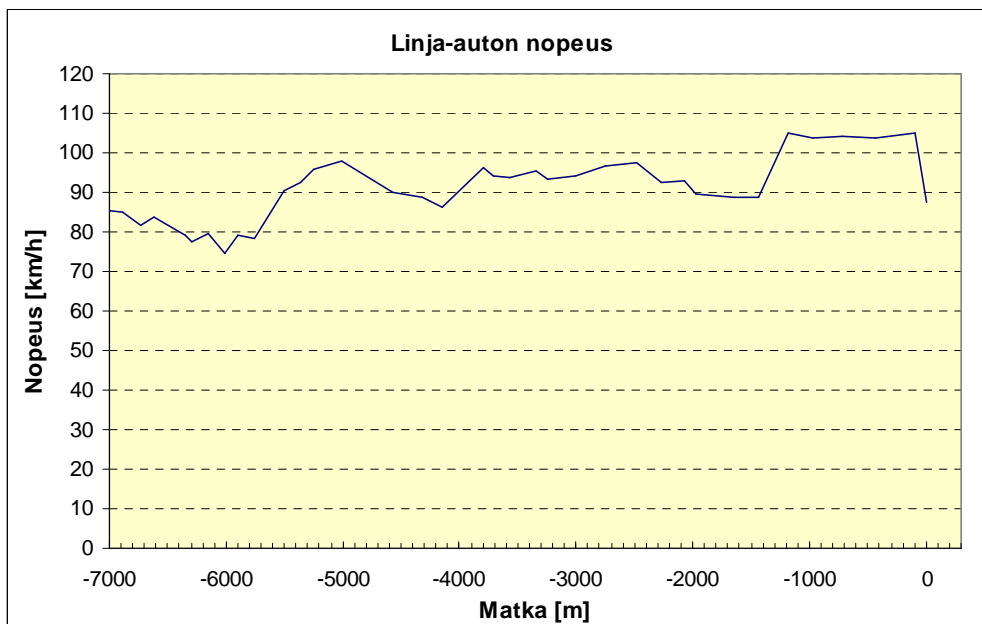
Kuvissa 12–15 on esitetty ajopiirturikiekolta määritetty nopeus ajan ja matkan funktiona 20 minuutin ajalta ja 20 kilometrin matkalta ennen törmäystä. Linja-auton nopeus noin 100 metriä ja noin 4 sekuntia ennen törmäystä oli 105 km/h, mistä se aleni niin, että törmäysnopeus oli 87 km/h.



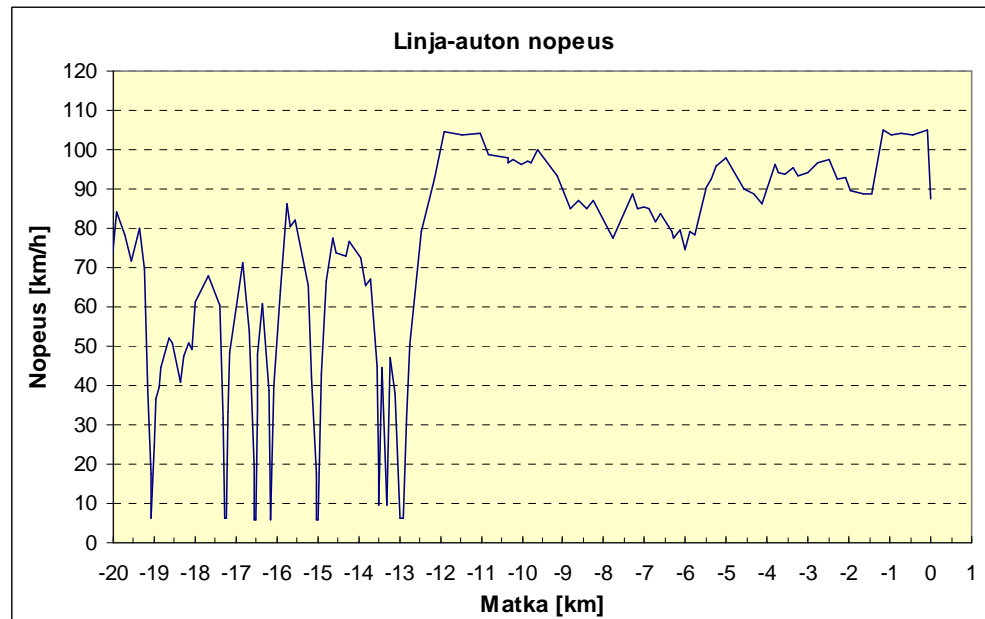
Kuva 12. Ohittamassa olleen linja-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 4 minuuttia ennen törmäystä).



Kuva 13. Ohittamassa olleen linja-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 20 minuuttia ennen törmäystä).



Kuva 14. Ohittamassa olleen linja-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 7 kilometriä ennen törmäystä).

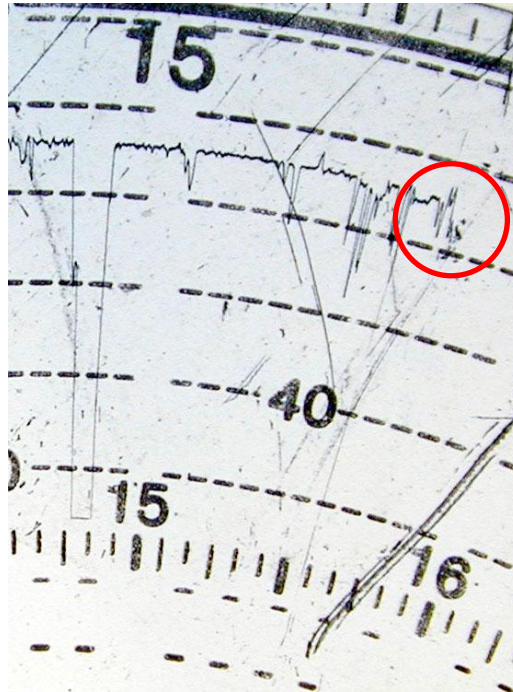


Kuva 15. Ohittamassa olleen linja-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 20 kilometriä ennen törmäystä).

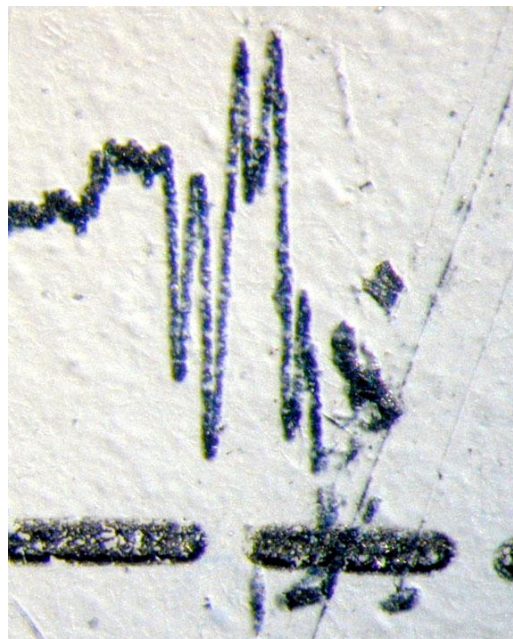
7. Vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton nopeus

Ohittamassa ollutta linja-autoa vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirron nollassa oli 9,1 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Tämän vuoksi nopeuspiirturi näyttää 3,1 km/h todellista suurempia nopeuksia, mikä on otettava huomioon kiekosta otettuja valokuvia tarkasteltaessa. Taulukkolaskentaohjelmalla tehtyihin kuviin, joissa nopeus näkyy ajan ja matkan funktiona, on tehty em. piirturin virheestä aiheutuva korjaus.

Linja-autoa vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturin nopeuspiirto-
jälki onnettomuuden tapahtuessa on esitetty kuvissa 16 ja 17.



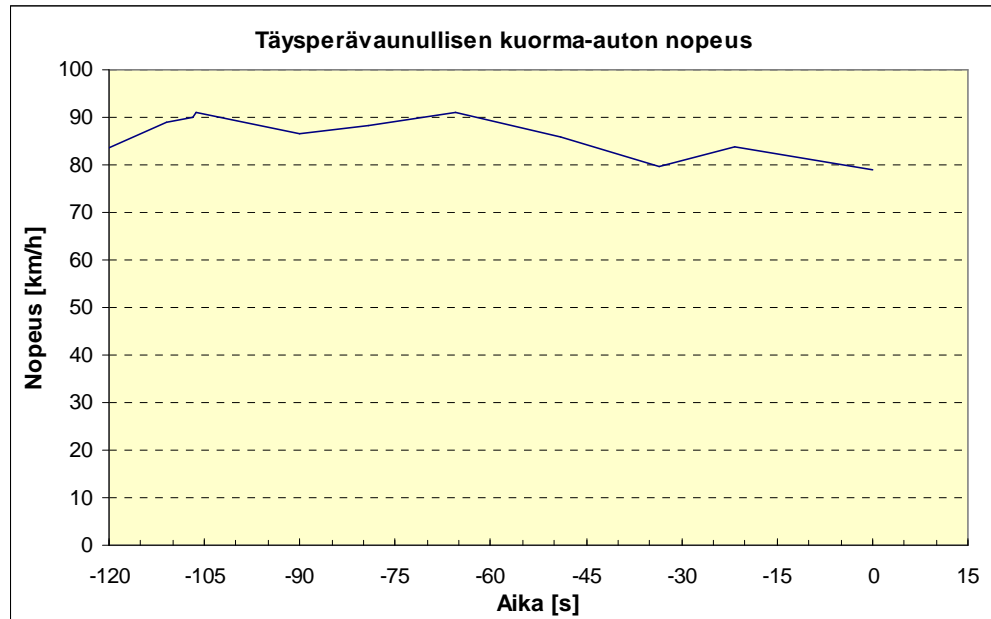
Kuva 16. Linja-autoa vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton viimeisen ajorupeaman nopeuspiirtojätki, jonka lopussa tapahtui törmäys noin kello klo 14:46 (punainen ympyrä).



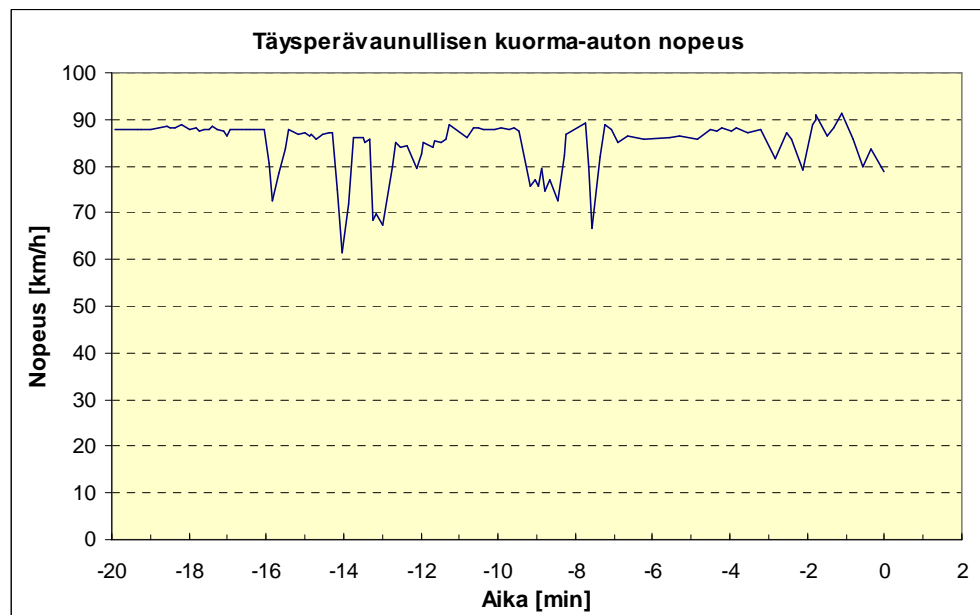
Kuva 17. Lähikuva kuvassa 15 punaisella ympyrällä merkitystä linja-autoa vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirtojäljen päättymiskohdasta.

Perävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirroksessa näkyy jälki törmäyksestä, joka on tapahtunut nopeudella 79 km/h.

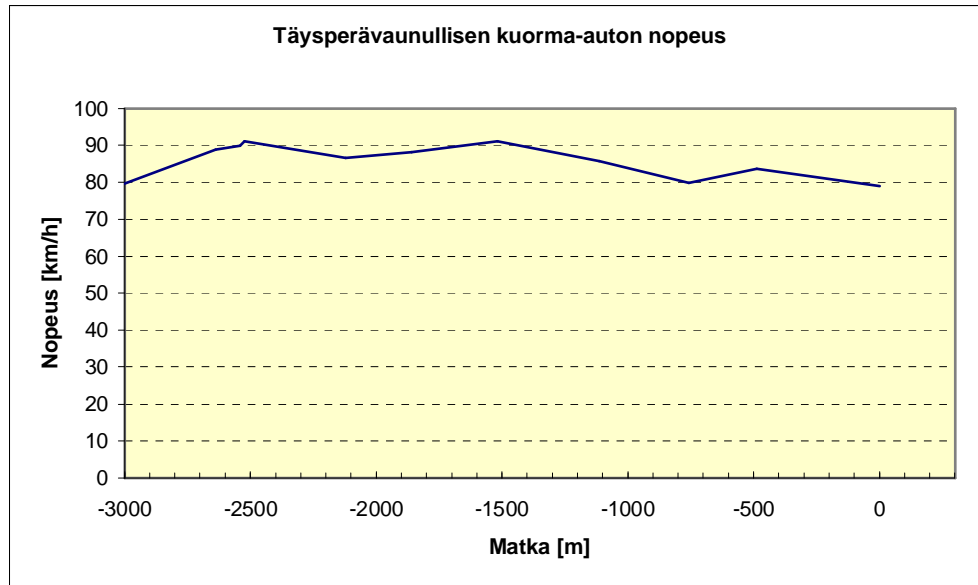
Kuvissa 18–21 on esitetty ajopiirturikiekolta määritetty nopeus ajan ja matkan funktiona.



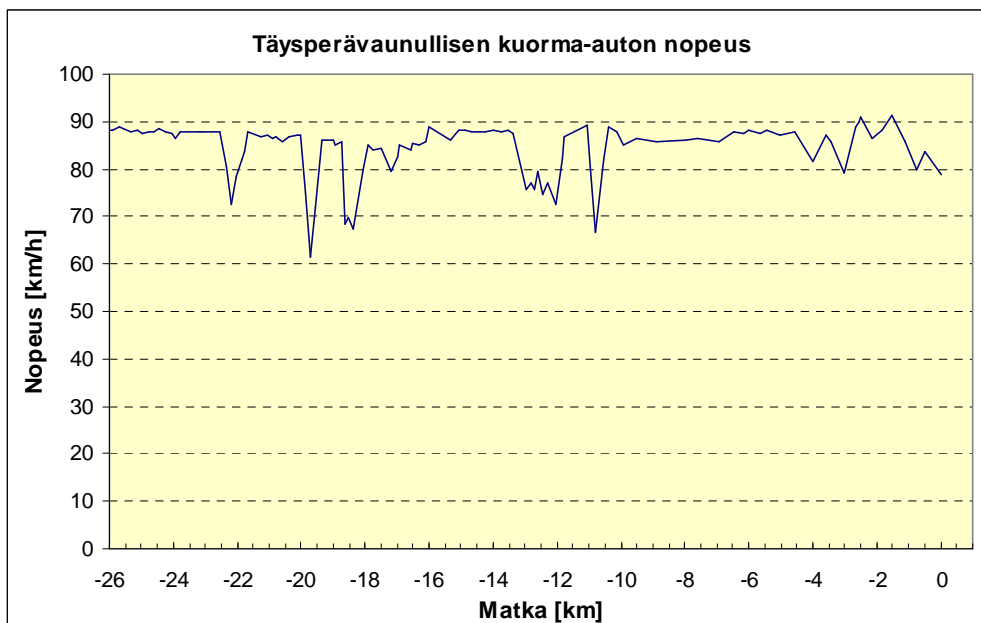
Kuva 18. Linja-autoa vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 2 minuuttia ennen törmäystä).



Kuva 19. Linja-autoa vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton nopeus ajan funktiona (viimeiset 20 minuuttia ennen törmäystä).



Kuva 20. Linja-autoa vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 3 kilometriä ennen törmäystä).



Kuva 21. Linja-autoa vastaan tulleen perävaunullisen kuorma-auton nopeus matkan funktiona (viimeiset 26 kilometroa ennen törmäystä).

8. Esitettyjen tietojen tarkkuus

Kellonajat ovat piirturin kellon aikoja. Piirturit oletetaan toimivan säädösten mukaisesti siinä mielessä, että nopeuspiirron ja todellisen nopeuden välinen suhde on lineaarinen ja oikeassa mittakaavassa. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kiekolta havaittu nopeuden muutos 20 km/h oletetaan myös todelliseksi nopeuden muutokseksi, eikä asiaan vaikuta se, koskeeko havainto nopeuden kasvua esimerkiksi 18 km/h:sta 38 km/h:iin vai 77 km/h:sta 97 km/h:iin. Tiettävästi ajopiirturin manipulointi niin, ettei tämä oletus pitäisi paikkaansa, on huomattavan vaikeaa ja siksi ilmeisesti hyvin harvinaista.

Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirron nollassa oli -4,6 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Ko. kuorma-auton nopeuspiirturi näyttää siksi nopeudet 10,6 km/h todellista pienempinä. Virhe on korjattu kaikissa esitetyissä arvoissa kiekkoista otettuja valokuvia lukuun ottamatta.

Ohittamassa olleen linja-auton nopeuspiirron nollassa oli 1,3 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Linja-auton nopeuspiirturi näyttää siksi nopeudet 4,7 km/h todellista pienempinä. Virhe on korjattu kaikissa esitetyissä arvoissa kiekkoista otettuja valokuvia lukuun ottamatta.

Ohittamassa ollutta linja-autoa vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton nopeuspiirron nollassa oli 9,1 km/h, kun sen pitäisi olla 6 km/h. Ko. kuorma-auton nopeuspiirturi näyttää siksi nopeudet 3,1 km/h todellista suurempina. Virhe on korjattu kaikissa esitetyissä arvoissa kiekkoista otettuja valokuvia lukuun ottamatta.

Nopeuskäyrän minimi- ja maksimikohdissa sekä likimain tasaisen ajonopeuden kohdalla nopeustiedot pystytään yleensä lukemaan varsin tarkasti niin, että virhe on enintään ± 1 km/h.

9. Yhteenveto

Ohitettavana olleen puoliperävaunullisen kuorma-auton ajopiirturiekolla ei erotu törmäysjälkeä, eikä auton nopeutta onnettomuuden tapahtumishetkellä voi tarkasti määrittää. Todennäköisesti se oli noin 90 km/h. Onnettomuuteen päättyneen ajorupeaman aikana nopeuspiirroksessa oli jaksoja, jolloin nopeus oli tyypillisesti 90–95 km/h. Suurimmillaan nopeus oli hetkellisesti 106 km/h.

Ohittamassa olleen linja-auton nopeus oli 105 km/h noin 100 metriä ja noin 4 sekuntia ennen törmäystä. Sen jälkeen nopeus aleni niin, että törmäyshetkellä nopeus oli 87 km/h.

Ohittamassa ollutta linja-autoa vastaan tulleen täysperävaunullisen kuorma-auton nopeus oli viimeisen törmäystä edeltäneen kilometrin matkalla 80–85 km/h. Törmäyshetkellä nopeus oli 79 km/h.

Esitettyjen nopeustietojen virhe on enintään ± 1 km/h.

Palvelupäällikkö
tekn.tri

Leena Sarvaranta

Erikoistutkija
dipl.ins.

Veli-Pekka Kallberg

VTT

Autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ajovakauden tutkimus simuloimalla



Autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ajovakauden tutkimus simuloimalla

Kirjoittajat Pekka Rahkola

Luottamuksellisuus Julkinen

Raportin nimi Autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ajovakauden tutkimus simuloimalla		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Onnettomuustutkintakeskus Kai Valonen	Asiakkaan viite	
Projektin nimi Autonkuljetusajoneuvon ajovakauden mallinnus ja simulointi	Projektin numero/lyhytnimi 7393/AUTOTRAILER	
Raportin laatija(t) Pekka Rahkola	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 21/-	
Avainsanat raskas ajoneuvoyhdistelmä, stabiilisuus, kiertoheilahtelujen vaimennuskerroin, RA-arvo, ohjautuvuus	Raportin numero VTT-R-08015-06	
Tiivistelmä		
<p>Helmikuussa 2006 tapahtui Pyhtäällä autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ja linja-auton yhteen-törmäys. Kyseinen raskas ajoneuvoyhdistelmä muodostuu kuorma-autosta ja keskiakseliperä-vaunusta. Ajoneuvoyhdistelmän mitoitus perustuu Keski-Euroopassa hyväksytyihin kansalli-siin erivapauksiin, joissa ajoneuvoyhdistelmän pituus ylittää Suomen lainsäädännön salliman keskiakseliperävaunuyhdistelmän maksimipituuden 18,75 metriä. Perävaunun takaosa voidaan kuitenkin lyhentää, jolloin se on Suomen lainsäädännön mukainen. Ongelmana on, että tällöin perävaunun kuormaus muuttuu helposti etupainoiseksi, jolloin vetoaisan pystykuormitus ylit-tää lain sekä valmistajan salliman arvon.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena on mallinnuksen ja simulointien avulla määrittää kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen sekä ohjautuvuuteen. Tutkittavana on kolme kuormaustapaa: edellä mainittu onnettomuustilanteen mukainen kuormaaminen (vetoaisan pystykuormitus ylittää lain salliman arvon), Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaaminen sekä Keski-Euroopassa sallittu kuormaaminen.</p> <p>Ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta mitataan kiertoheilahtelujen vaimennuskertoimen ja toi-saalta sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon avulla. Tutkitun autonkuljetusyhdistelmän tapauksessa tutkituista kuormaustavoista etupainoisin kuormaustapa (onnettomuustilanteen mukainen kuormaustapa) on stabiilein vaimennuskertoimella mitattuna. Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon kohdalla erot kuormaustapojen välillä eivät ole merkittäviä. Kuormauksen vaikutus vetoauton ohjautuvuuteen määritetään vetoauton aliohjautuvuusindeksin avulla. Kuormaustavan vaikutus vetoauton ohjautuvuuteen ei ole merkittävä. Kaikilla kuormaustavoilla vetoauto on voimak-kaasti aliohjaava.</p>		
Luottamuksellisuus	Luottamuksellinen	
Espoo 6.9.2006 Allekirjoitukset		
Pekka Koskinen Tutkimuspäällikkö	Pekka Rahkola Tutkija	Tero Kiviniemi Asiakaspäällikkö
VTT:n yhteystiedot VTT, PL 1000, 02044 VTT		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Onnettomuustutkintakeskus VTT		
<i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saa-dun kirjallisen luvan perusteella.</i>		

Sisällysluettelo

1	Johdanto	3
2	Tavoite	3
3	Simulointimalli	3
3.1	Ajoneuvoyhdistelmän perustiedot	3
3.2	Ajoneuvoyhdistelmän simulointimalli	4
3.3	Mallin yksinkertaistukset	5
4	Simuloitavat kuormaustavat	6
4.1	Kuormaustapa 1: onnettomuustilanteen mukainen kuormaus	6
4.2	Kuormaustapa 2: Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaus	7
4.3	Kuormaustapa 3: Keski-Euroopassa sallittu kuormaus	7
5	Ajoneuvoyhdistelmän ajodynamiikka	8
5.1	Stabiilisuus	8
5.1.1	Kiertoheilahtelun vaimennuskerroin	8
5.1.2	Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo	9
5.2	Ohjautuvuus	10
6	Simuloitavat tapaukset	11
6.1	Pulssiheräte	11
6.2	Kaksoiskaistanvaihtokoe	12
6.3	Askelheräte	12
7	Tulokset ja niiden tarkastelu	13
7.1	Kiertoheilahtelun vaimennuskerroin	13
7.2	Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo	15
7.3	Vetoauton ohjautuvuus	17
8	Johtopäätökset	18
8.1	Kuormaustavan vaikutus stabiilisuuteen	18
8.2	Kuormaustavan vaikutus ohjautuvuuteen	19
9	Yhteenveto	20
	Lähdeviitteet	21

1 Johdanto

Helmikuussa 2006 tapahtui Pyhtäällä autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ja linja-auton yhteentörmäys. Onnettomuudessa oli osallisena EUROLOHR-merkkinen autonkuljetusyhdistelmä, joka muodostuu rakenteellisesti kuorma-autosta ja keskiakseliperävaunusta.

Ajoneuvoyhdistelmän mitoitus perustuu Keski-Euroopassa hyväksytyihin kansallisiin erivapauksiin, joissa ajoneuvoyhdistelmän pituus ylittää Suomen lainsäädännön salliman keskiakseliperävaunuyhdistelmän maksimipituuden 18,75 metriä. Perävaunun takaosa voidaan kuitenkin lyhentää, jolloin se on Suomen lainsäädännön mukainen. Ongelmana on, että tällöin perävaunun kuormaus muuttuu helposti etupainoiseksi, jolloin vetoaisan pystykuormitus ylittää lain ja valmistajan salliman arvon 1000 kg.

Onnettomuutta tutkii tutkintalautakunta, jota johtaa Kai Valonen Onnettomuustutkintakeskuksesta. Tutkintalautakunta haluaa selvittää mallinnuksen ja simuloinnin avulla kuormaustavan vaikutusta ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen ja ajokäyttäytymiseen.

Tässä raportissa esitetään perustiedot ajoneuvoyhdistelmästä tehdystä simulointimallista, simulointitulokset sekä niiden analysointi.

2 Tavoite

Tutkimuksessa selvitetään kyseisen autonkuljetukseen tarkoitettun ajoneuvoyhdistelmän sivuttaisdynaamista käyttäytymistä sekä yhdistelmän stabiilisuutta. Tavoitteena on mallinnuksen ja simulointien avulla määrittää ajoneuvoyhdistelmän kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen sekä ohjautuvuuteen.

Tutkittavana on kolme kuormaustapaa: (1) onnettomuustilanteen mukainen kuormaaminen (vetoaisan pystykuormitus ylittää lain salliman arvon), (2) Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaaminen sekä (3) Keski-Euroopassa sallittu kuormaaminen.

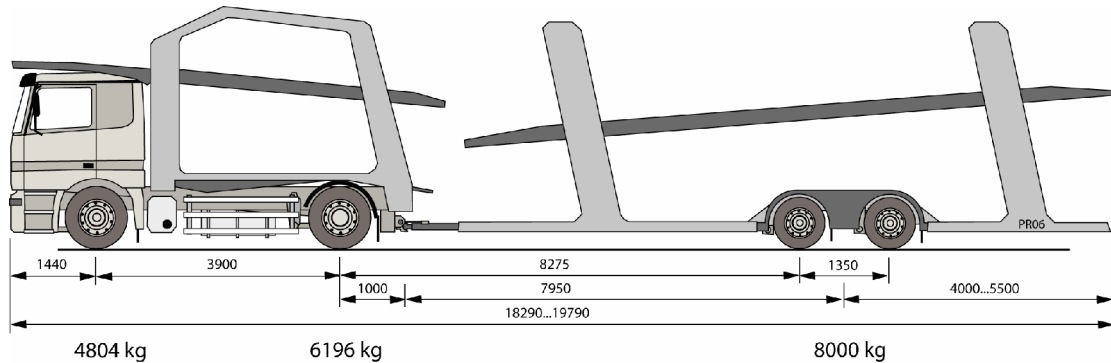
Tutkintalautakunta haluaa selvittää, heikentääkö määräysten vastainen kuormaustapa ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta tai ohjautuvuutta.

3 Simulointimalli

3.1 Ajoneuvoyhdistelmän perustiedot

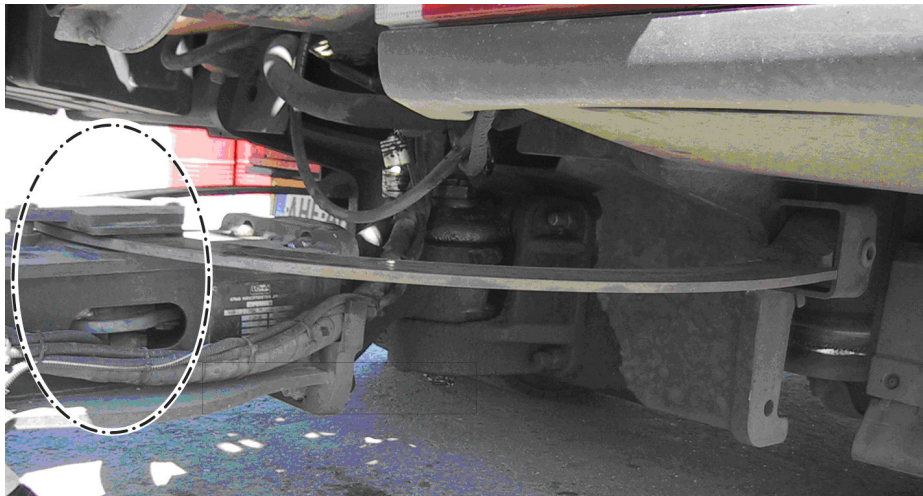
Ajoneuvoyhdistelmän vetoauto on Mercedes-Benz Actros 1832LS 4x2, jonka akseliväli on 3900 mm. Vetoautoon on kytketty EUROLOHR 1.00 E -tyyppinen irroitettava korirakenne, johon on kiinteästi nivelöity kaksiakselinen keskiakseliperävaunu. Kuvassa 1 on esitetty ajoneuvoyhdistelmän päämitat, jotka perustuvat onnettomuusyhdistelmästä tehtyihin mittauksiin [1].

Vetoauto ja perävaunu ovat ilmajousitettuja. Vetoauton rengaskoko sekä edessä että takana on 295/60R22.5. Vetoauton taka-akselilla on paripyöräasennus. Perävaunun rengaskoko on 245/70R17.5 paripyöräasennuksella [2].



Kuva 1. Ajoneuvoyhdistelmän mitoituspiirros ja akselikuormitukset kuormaamattomana. Perävaunu on lyhyessä muodossa.

Vetoauton kuormatila ja perävaunu muodostavat kokonaisuuden, joka on irrotettavissa vetoautosta. Perävaunun vetokytkin kiinnittyy vetoauton kuormatilan runkorakenteeseen. Vetokytkin on suunniteltu 1000 kg:n pystykuormitukselle. Rakenne on esitetty kuvassa 2.



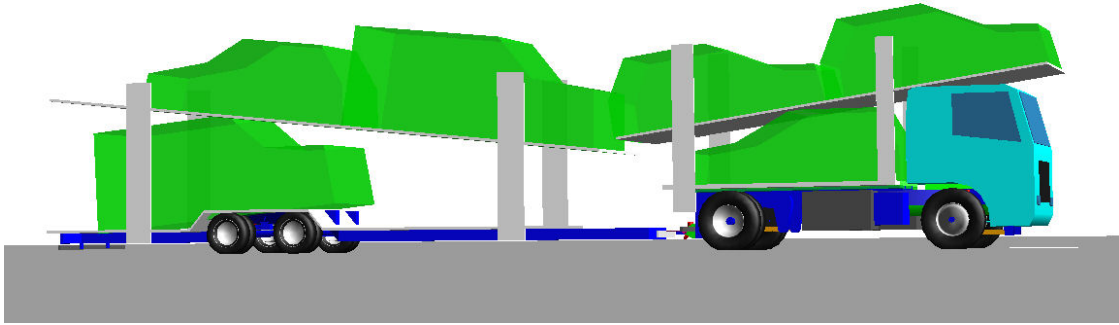
Kuva 2. Vetokytkin ja kitkavaimenninmekanismi, joka on ympyröity.

Vetokyttimeen liittyy kitkavaimenninmekanismi, joka on esitetty kuvassa 2. Vaimentimen muodostavat vetoautoon nivelöity kaari, johon vaimennusvoima vaikuttaa, sekä perävaunun vetoaisassa oleva kitkavoiman muodostava jarrusatularakenne. Kitkapaloja puristava voima saadaan aikaan vetoaisan sisään sijoitetulla ilmapalkeella, joka saa ohjauksen perävaunun ilmajousitusjärjestelmästä. Vaimennusvoima on suuruusluokaltaan 1 – 2 kN riippuen perävaunun kuormauksesta.

3.2 Ajoneuvoyhdistelmän simulointimalli

Ajoneuvoyhdistelmästä muodostettiin MSC.ADAMS-ohjelmistolla simulointimalli, joka on esitetty kuvassa 3. Vetoauto ja perävaunu on mallinnettu niiltä osin, kuin se on tutkimuksen

kannalta katsottu tarpeelliseksi. Mallinnuksessa on resurssien säästämiseksi käytetty mahdollisimman paljon hyödyksi VTT:llä jo olemassa olevia raskaiden ajoneuvojen mallikomponentteja.



Kuva 3. Simulointimalli onnettomuustilanteen mukaisella kuormaustavalla.

Vetoauton akselistojen tuennan ja jousituksen mallinnuksessa lähtötietoina käytettiin vastaavanlaisesta Mercedes-Benz-vetoautosta mitattuja arvoja. Vetoauton kaikkien osien (esimerkiksi runko, korirakenne) tarkkoja massoja ja hitausmomenteja ei ollut saatavilla, jolloin on täytynyt käyttää arvioita. Näillä ei kuitenkaan ole aiemman kokemuksen perusteella tutkimuksen tulosten kannalta oleellista merkitystä.

Perävaunun akseli- ja jousitustietojen pohjana on käytetty BPW:n www-sivujen [3] ja H.Kraatz Oy:n komponenttiluettelon tietoja [4]. Perävaunun vetokytkimen kitkavaimentimen toiminnalliset mitat on mitattu vastaavanlaisesta ajoneuvoyhdistelmästä. Kitkapalojen kitkeroin on arvioitu ja vaimentimen ilmapalkeen paineen oletetaan olevan suoraan perävaunun ilmajousien paine.

Iskunvaimentimille ei ollut saatavilla tarkkoja komponenttiarvoja. Vetoauton ja perävaunun iskunvaimentimien vaimennusvoimatietoina käytetään aiemmissa tutkimuksissa saatuja lähtötietoja.

Rengasmalli perustuu Pacejkan Magic Formula 87:n. Tienpinnan kitkataso on 0,53. Tämä saavutetaan märällä asfalttipinnalla tai hyvällä talvikelillä.

Tutkimuksen tarkoitus on verrata eri kuormaustapojen vaikutusta ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen ja ohjautuvuuteen. Simulointimallin ominaisuuksien saaminen vastaamaan täysin juuri onnettomuudessa olleen ajoneuvoyhdistelmän ominaisuuksia ei tällöin ole käytettävissä oleviin resursseihin nähden tarkoituksenmukaista. Eri kuormaustapojen simulointitulokset ovat vertailukelpoisia ja mahdolliset erot tulevat esille, vaikka joidenkin komponenttien ominaisuuden poikkeaisivatkin hieman todellisista arvoista.

3.3 Mallin yksinkertaistukset

Tutkimuksessa käytettävä mallinnus perustuu jäykän kappaleen dynamiikkaan. Vetoauton ja perävaunun rungot, ohjaamo ja korirakenteet mallinnetaan jäykkinä kappaleina, jotka ovat jäykästi runkoon kiinnitettyjä. Todellisessa tilanteessa rakenteet ovat jossain määrin joustavia, mutta tällä yksinkertaistuksella ei eri kuormaustapojen vertailussa oleteta olevan tulosten

kannalta oleellista merkitystä. Lisäksi kuormana olevat ajoneuvot on mallinnettu jäykkinä kappaleina, vaikka todellisuudessa ne ovat joustettuja ja siten vaikuttavat ajoneuvoyhdistelmän käyttäytymiseen.

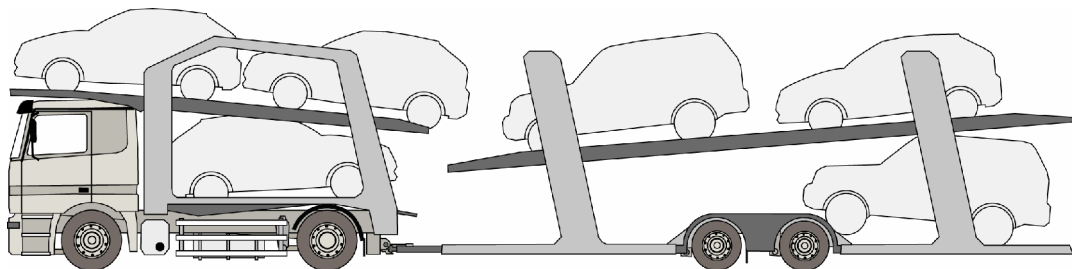
Mallinnuksessa tärkeimpänä lähtökohtana on akselistojen tuennan riittävän todenmukainen mallintaminen. Akselistojen tuenta runkoon on toteutettu idealisoiduilla, joustavilla ja välyksettömillä elementeillä. Ilmajousen toiminta on mallinnettu adiabaattisella tilayhtälöllä, jolloin lämmön vaihtoa ympäristön kanssa jouston aikana ei tapahdu. Ilmajousituksen tasonsäätöjärjestelmän ei oleteta ehtivän vaikuttaa dynaamisessa tilanteessa.

Ajoneuvoyhdistelmän osien tarkkaa geometriaa ei ole mallinnettu, koska sen vaikutus tuloksiin ei ole merkittävä.

4 Simuloitavat kuormaustavat

4.1 Kuormaustapa 1: onnettomuustilanteen mukainen kuormaus

Ajoneuvoyhdistelmän pituus 18,30 metriä. Vetoautossa kuormana on kolme 1200 kg:n massaista henkilöautoa. Perävaunussa kuormana on yksi henkilöauto, jonka massa on 1200 kg sekä kaksi maastoautoa, joiden massat ovat 2585 kg ja 2100 kg. Kuormana olevien autojen sijoittelu on esitetty kuvassa 4. Ajoneuvoyhdistelmän akselimassat ja vetoaisan pystykuormitus on esitetty taulukossa 1. Perävaunun akselimassoja määrittämisessä on käytetty mitattuja perävaunun vetoaisan pystykuormituksen ja akselikuormitusten arvoja sekä kuvista arvioituja autojen sijainteja kuormatilassa [2], [5]. Vetoauton osalta akselikuormitustietoja ei ollut saatavilla, joten ne ovat laskettu simulointimallilla. Vetoautossa kuormana olevien henkilöautojen sijainnit on arvioitu onnettomuusajoneuvosta otettujen kuvien perusteella [5].



Kuva 4. Onnettomuustilanteen mukainen kuormaus.

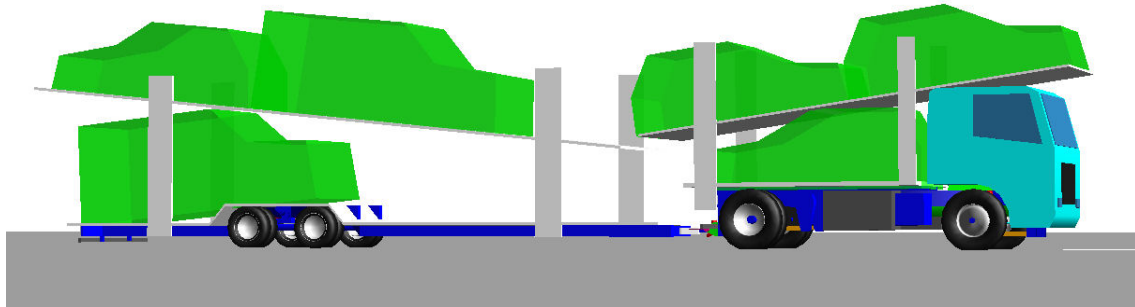
Taulukko 1. Akselikuormitukset ja vetoaisan pystykuormitus kuormaustavalla 1.

Kuorma-auto	15039 kg
Etuakseli	5829 kg
Vetävä akseli	9210 kg
Vetoaisan pystykuormitus	1434 kg
Perävaunu	13346 kg
Akseli 1	6671 kg
Akseli 2	6675 kg
Yhteensä	28385 kg

4.2 Kuormaustapa 2: Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaus

Ajoneuvoyhdistelmän pituus 18,30 metriä. Vetoautossa kuormana on kolme 1200 kg:n massaista henkilöautoa. Perävaunussa kuormana on yksi henkilöauto, jonka massa on 1200 kg sekä kaksi maastoautoa, joiden massa ovat 2585 kg ja 2100 kg. Kuormana olevien autojen sijoittelu on esitetty kuvassa 5. Ajoneuvoyhdistelmän akselimassat ja vetoaisan pystykuormitus on esitetty taulukossa 2.

Kuorman massa on samansuuruinen kuin edellisen kohdan (4.1) onnettomuustilanteen mukaisessa kuormauksessa. Poikkeavuus edelliseen tilanteeseen verrattuna on, että perävaunun osalta kuorman painopistettä on siirretty taaksepäin. Tämä on tehty siirtämällä kaikkia perävaunun kuormana olleita autoja taaksepäin niin paljon, että vetoaisan pystykuormitus on alle lainsäädännön salliman maksimiarvon 1000 kg.



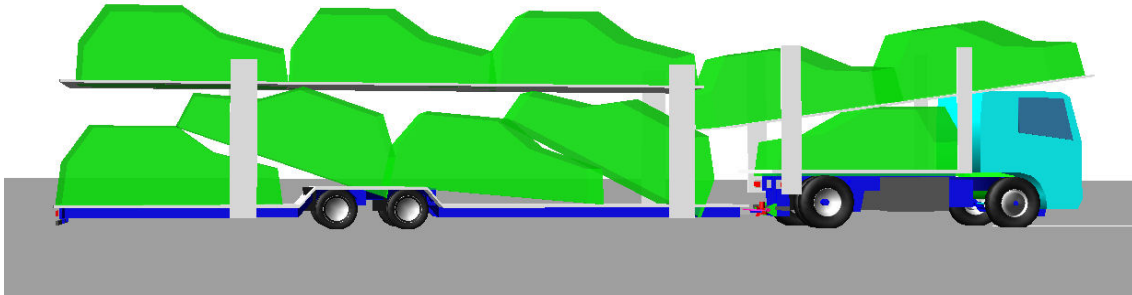
Kuva 5. Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaustapa.

Taulukko 2. Akselikuormitukset ja vetoaisan pystykuormitus kuormaustavalla 2.

Kuorma-auto	14475 kg
Etuakseli	5987 kg
Vetävä akseli	8488 kg
Vetoaisan pystykuormitus	870 kg
Perävaunu	13910 kg
Akseli 1	6943 kg
Akseli 2	6967 kg
Yhteensä	28385 kg

4.3 Kuormaustapa 3: Keski-Euroopassa sallittu kuormaus

Ajoneuvoyhdistelmän pituus 19,80 metriä. Perävaunun kuormaamisessa on käytetty esimerkkinä EUROLOHR-esitteessä olleita kuvia [6]. Vetoautossa kuormana on kolme 1200 kg:n massaista henkilöautoa. Perävaunussa kuormana on alatasolla neljä 1200 kg:n massaista henkilöautoa ja ylätasolla kolme 1100 kg:n massaista henkilöautoa. Kuormana olevien autojen sijoittelu on esitetty kuvassa 6. Ajoneuvoyhdistelmän akselimassat ja vetoaisan pystykuormitus on esitetty taulukossa 3.



Kuva 6. Keski-Euroopassa sallittu kuormaustapa.

Taulukko 3. Akselikuormitukset ja vetoaisan pystykuormitus kuormaustavalla 3.

Kuorma-auto	14461 kg
Etuakseli	6022 kg
Vetävä akseli	8439 kg
Vetoaisan pystykuormitus	856 kg
Perävaunu	16227 kg
Akseli 1	8086 kg
Akseli 2	8141 kg
Yhteensä	30688 kg

5 Ajoneuvoyhdistelmän ajodynamiikka

5.1 Stabiilisuus

Ajoneuvoyhdistelmien sivuttaisdynamiikkaa voidaan tarkastella värähtelyjärjestelmänä. Tässä tutkimuksessa ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuudella tarkoitetaan ajoneuvoyhdistelmän sivusuuntaisen värähtelyn stabiilisuutta. Tämä käsittää ajoneuvoyksiköiden sivusuuntaisen liikkeen sekä pystyakselin suhteen tapahtuvan kiertymisen.

Tärkeimmät sivuttaisstabiilisuuteen vaikuttavat tekijät ovat ajoneuvon ominaisuudet (mitoitus, painonjakauma, rengastus) sekä kuljettajan toiminta (ajonopeus, ohjausliikkeiden nopeus). Tutkittavien ajoneuvoyhdistelmien dynaamista stabiilisuutta arvioidaan seuraavassa kiertohilahtelun vaimennuskertoimen ja sivuttaiskiiktyvyyden RA-arvon avulla.

5.1.1 Kiertohilahtelun vaimennuskerroin

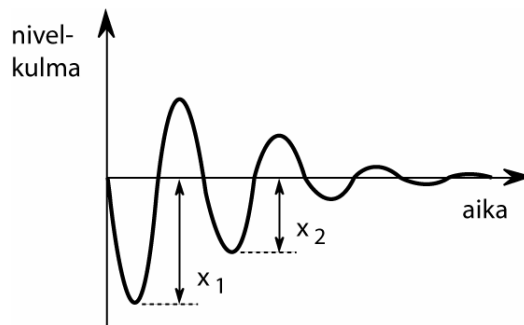
Ajoneuvoyhdistelmän värähtelyominaisuuksia arvioidaan määrittämällä ajoneuvoyksiköiden pystykiertymäliikkeen vaimennuksen suuruus. Nopean ohjausliikkeen seurauksena vetoauton

ja perävaunun kulkusuunta muuttuu ja syntyy kiertoheilahteluja. Vaimennuskerroin (*Yaw Damping Coefficient*) kuvaa ajoneuvoyhdistelmän ominaisuutta vaimentaa syntynyt kiertoheilahtelu. Vaimennuksen suuruus on ajoneuvoyhdistelmän ominaisuus ja se ei riipu ohjausherätteestä, joten sen avulla voidaan arvioida ja verrata eri kuormaustapojen vaikutusta ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen.

Vaimennuskerroin määritetään ajoneuvoyhdistelmän vapaasta värähtelystä. Ohjausherätteenä käytetään pulssiherätettä (kappale 6.1), jonka seurauksena ajoneuvoyhdistelmä poikkeutetaan tasapainoasemasta. Vaimennuskerroin lasketaan vetoauton ja perävaunun välisen nivelkulman käyttäytymisestä seuraavasti kaavalla [7]

$$\zeta = \frac{\ln \frac{x_1}{x_2}}{\sqrt{4\pi^2 + \left(\ln \frac{x_1}{x_2}\right)^2}}, \quad (1)$$

jossa x_1 ja x_2 ovat nivelkulman värähtelyn peräkkäiset amplitudit. Nivelkulman amplitudien määrittäminen on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Vaimennuskertoimen määrittäminen.

Mitä suurempi vaimennuskerroin on, sitä nopeammin ajoneuvoyhdistelmän kiertoheilahtelut vaimenevat. Jos vaimennuskertoimen arvo on nolla, ei systeemissä ole vaimennusta. Tällöin systeemi on epästabiili.

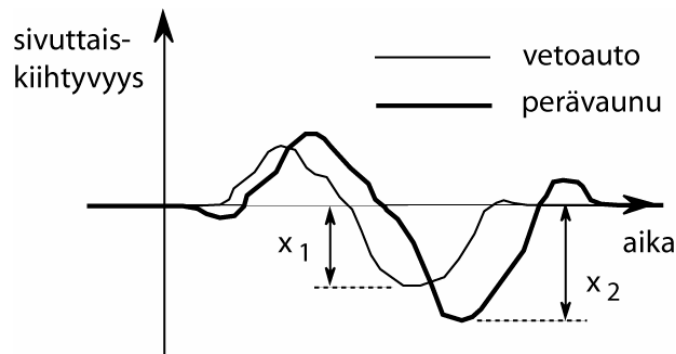
5.1.2 Sivuttaiskiikityvyyden RA-arvo

Kuljettajan tekemien nopeiden ohjausliikkeiden seurauksena ajoneuvoyhdistelmän perävaunu kokee vetoautoa suurempia sivuttaisliikkeitä. RA-arvo (*Rearward Amplification*) kuvaa sitä, kuinka paljon perävaunun liike vahvistuu vetoauton liikkeeseen verrattuna tietyn ohjausherätteen seurauksena.

RA-arvolla mitataan ajoneuvoyhdistelmän sivuttaisia pakotettujen värähtelyjen ominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa RA-arvo määritetään vetoauton etuakselin ja perävaunun takimmaisena akselin sivuttaiskiikityvyyksien perusteella seuraavasti

$$RA = \frac{|x_2|}{|x_1|}, \quad (2)$$

jossa x_1 ja x_2 ovat vetoauton ja perävaunun tutkittavan suureen maksimiarvot ajokokeen aikana. Maksimiarvojen määrittäminen on esitetty kuvassa 8. RA-arvon ollessa yli yhden perävaunun liikkeet vahvistuvat vetoauton liikkeisiin verrattuna. Jos esimerkiksi sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo ajoneuvoyhdistelmälle on 2,0 ja maksimi sivuttaiskiihtyvyys vetoauton etuakselilla kokeen aikana on 2 m/s^2 , niin perävaunun takimmaisen akselin kokema suurin sivuttaiskiihtyvyys on 4 m/s^2 .



Kuva 8. Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon määrittäminen.

Ajoneuvoyhdistelmän käyttäytymistä kuvaava sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo riippuu käytetyn ohjausherätteen taajuussisällöstä, joten erilaisilla ajokokeilla määrätty RA-arvot ovat erisuuruisia. Tässä tutkimuksessa RA-arvo lasketaan kaksoiskaistanvaihtokokeen perusteella. RA-arvo riippuu käytettävän ohjausherätteen muodon lisäksi voimakkaasti ajoneuudesta.

5.2 Ohjautuvuus

Ajoneuvoyhdistelmän ohjautuvuutta tutkitaan määrittämällä vetoauton ajokäyttäytymisen tyyppi, joka voi olla ali-, neutraali- tai yliohjautuva. Vetoautolle lasketaan ali-/yliohjautuvuusindeksi, joka kuvaa vetoauton käyttäytymisen luonteen erisuuruisilla keskeiskiihtyvyyksillä [8].

Ali-/yliohjautuvuusindeksi keskeiskiihtyvyyden funktiona voidaan määrittää vakiokaarrekojeilla, jotka suoritetaan vakiona pysyvällä ajonopeudella ja erisuuruisilla askelmallisilla ohjausherätteillä. Näissä määritetään vetoauton vakioilanteessa saavuttamat pystykiertymäkulmanopeudet sekä sivuttaiskiihtyvyydet (keskeiskiihtyvyys), joiden perusteella ohjautuvuusindeksi lasketaan.

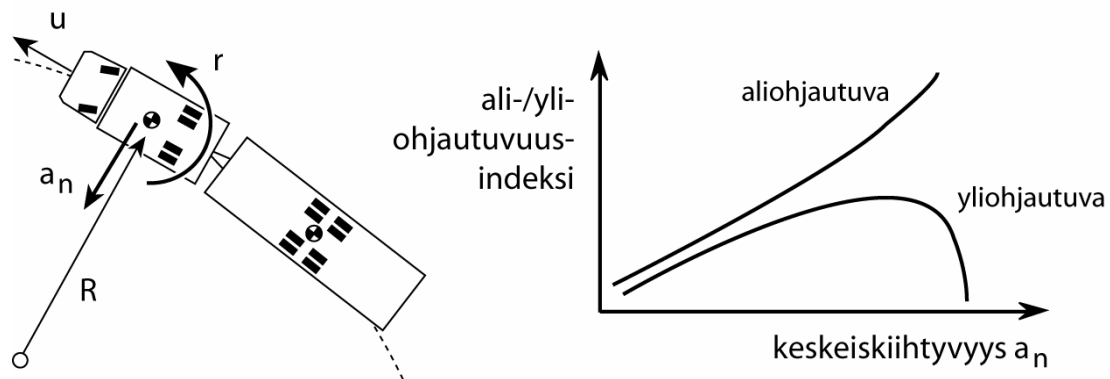
Ali-/yliohjautuvuusindeksi $d\delta$ määritetään kaarteeseen ajamiseen tarvittavan ohjauskulman δ ja geometrisen kääntökulman δ_A (Ackerman) erotuksena. Ohjautuvuusindeksi lasketaan kaavalla

$$d\delta = \delta - \delta_A = \delta - \frac{Lr}{u}, \quad (3)$$

missä L on vetoauton akseliväli, r vakioilanteessa saavutettu vetoauton pystykiertymäkulmanopeus ja u ajonopeus. Kuvassa 9 on esitetty ohjautuvuusindeksin määrittäminen vakiokaar-

rekokeella sekä tyypilliset ali- ja yliohjaavan vetoauton ohjautuvuusindeksin kuvaajat keskeiskiihtyvyyden funktiona.

Vetoauton aliohjaava käyttäytyminen on turvallisin. Tällöin vetoauto säilyttää ohjattavuutensa aina kaatumiseen johtavaan sivuttaiskiihtyvyydestasoon saakka. Yliohjaavalla ajokäyttäytymisellä vetoauto sen sijaan voi menettää ohjattavuutensa ja pyörähtää pysty akselinsa ympäri ennen kaatumistaan.



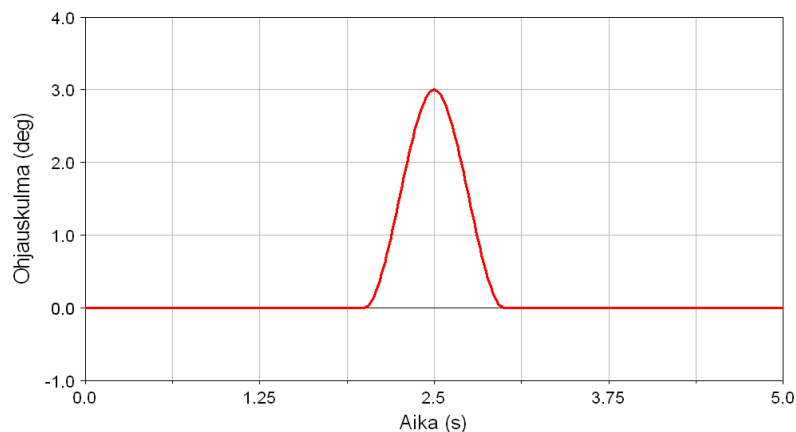
Kuva 9. Ali-/yliohjautuvuusindeksin määrittäminen vakiokaarrekokeella.

6 Simuloitavat tapaukset

Tässä tutkimuksessa ajodynamiikan selvittämiseksi käytetään avoimen tyyppin (*open-loop*) kokeita. Tämä tarkoittaa sitä, että simuloinnissa käytetään ennalta määrättyä ohjauserätettä. Tällöin kuljettajan vaikutusta ei huomioida, joten arvostelu perustuu puhtaasti ajoneuvoyhdistelmän ominaisuuksiin.

6.1 Pulssiheräte

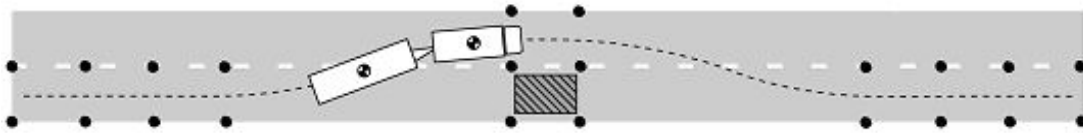
Pulssiherätteen avulla määritetään vapaasti värähtelevän ajoneuvoyhdistelmän kiertöheilahteluja kuvaava vaimennustekijä. Ohjauserätteenä käytettävä pulssiheräte on esitetty kuvassa 10. Käytetyn ohjauspulssin äärellisen keston vuoksi taajuussisältö ei ole kovinkaan laaja, mutta se saa aikaan sivusuuntaisen vapaan värähtelyn.



Kuva 10. Simuloinnissa käytetty pulssiheräte.

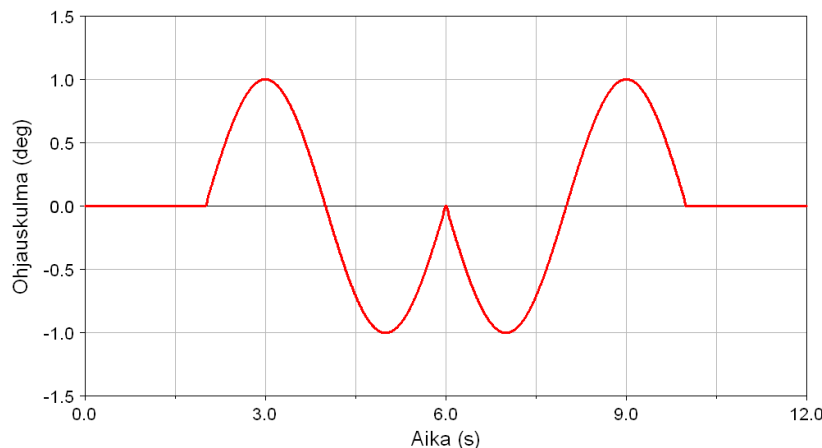
6.2 Kaksoiskaistanvaihtokoe

Yleisesti käytetty ajoneuvojen käyttäytymistä selvittävä koe on kaksoiskaistanvaihtokoe, joka on ISO 3888 -standardin mukainen. Kaksoiskaistanvaihtokokeessa ajoneuvoyhdistelmällä väistetään estettä viereiselle kaistalle, jonka jälkeen palataan takaisin omalle kaistalle. Ajoneuvoyhdistelmän kulkema ajoura standardin mukaisessa kokeessa on esitetty kuvassa 11. Kaksoiskaistanvaihtokokeen perusteella määritetään sivuttaiskihtiyyden RA-arvo.



Kuva 11. Ajoura kaksoiskaistanvaihtokokeessa.

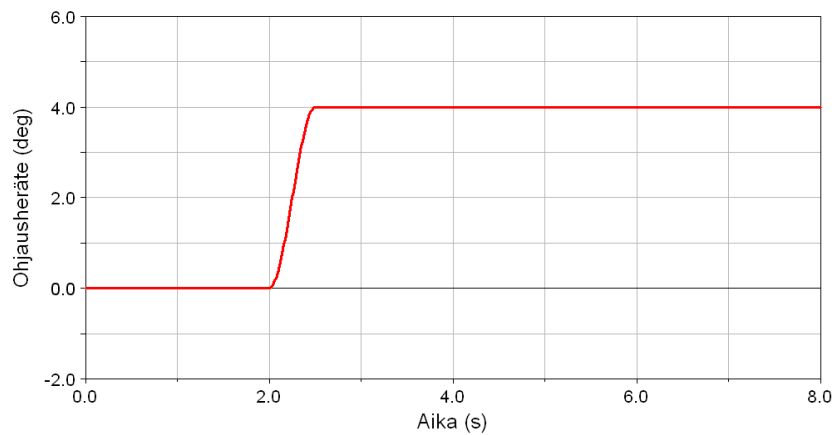
Tässä tutkimuksessa käytetään kaksoiskaistanvaihtokokeen mukaista ohjauserätettä, joka on esitetty kuvassa 12. Ohjauseräte muodostuu kahdesta vastakkaisessa vaiheessa olevasta sinijaksosta. Kokeessa saavutettava ajoneuvoyhdistelmän ajoura ei ole standardin mukainen, mutta se tuo esille ajoneuvoyhdistelmän käyttäytymisen kaistanvaihtokokeen aikana.



Kuva 12. Simuloinnissa käytetty ohjauseräte kaksoiskaistanvaihtokokeessa.

6.3 Askelheräte

Ajoneuvoyhdistelmän ohjautuvuutta tutkitaan määrittämällä vaste askelmaiseen ohjauseräteeeseen, jonka seurauksena ajoneuvoyhdistelmän alkaa kaartaa. Ohjauseräte on esitetty kuvassa 13. Vetoauton saavutettua kaarreajossa vakiotilanteen määritetään ohjauserätteen aikaansaama pystykiertymäkulmanopeus sekä sivuttaiskihtiyyys, joiden perusteella lasketaan ohjautuvuusindeksi. Simulointi suoritetaan vakiona pysyvällä ajonopeudella ja ohjauserätteen arvoilla 0,5 – 5,5 deg, jolloin saadaan määritettyä ohjautuvuusindeksin riippuvuus keskeiskihtiyydestä.

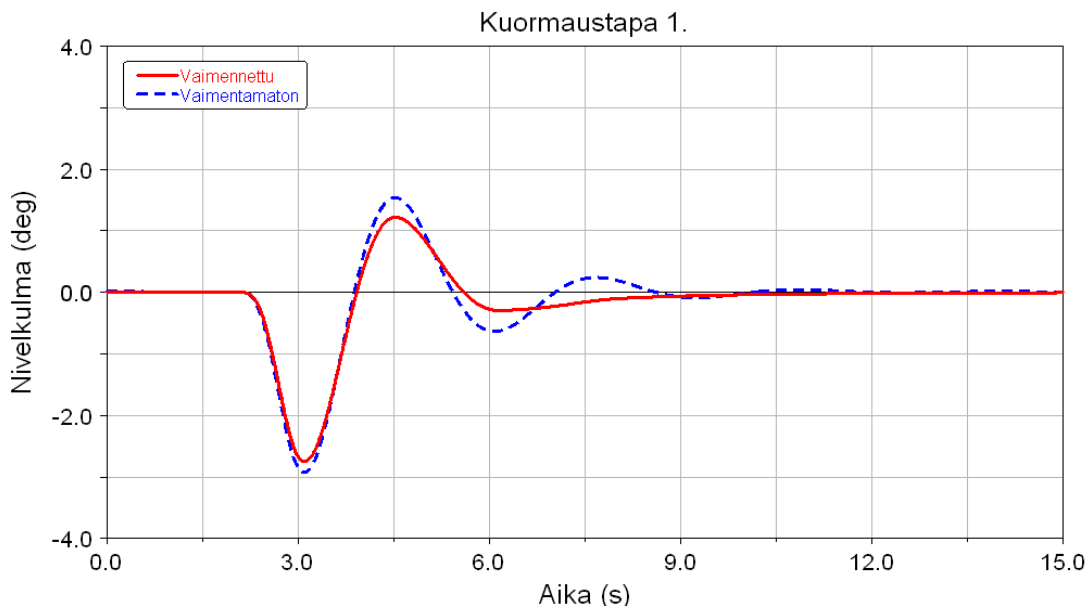


Kuva 13. Simuloinnissa käytetty askelmainen ohjausheräte.

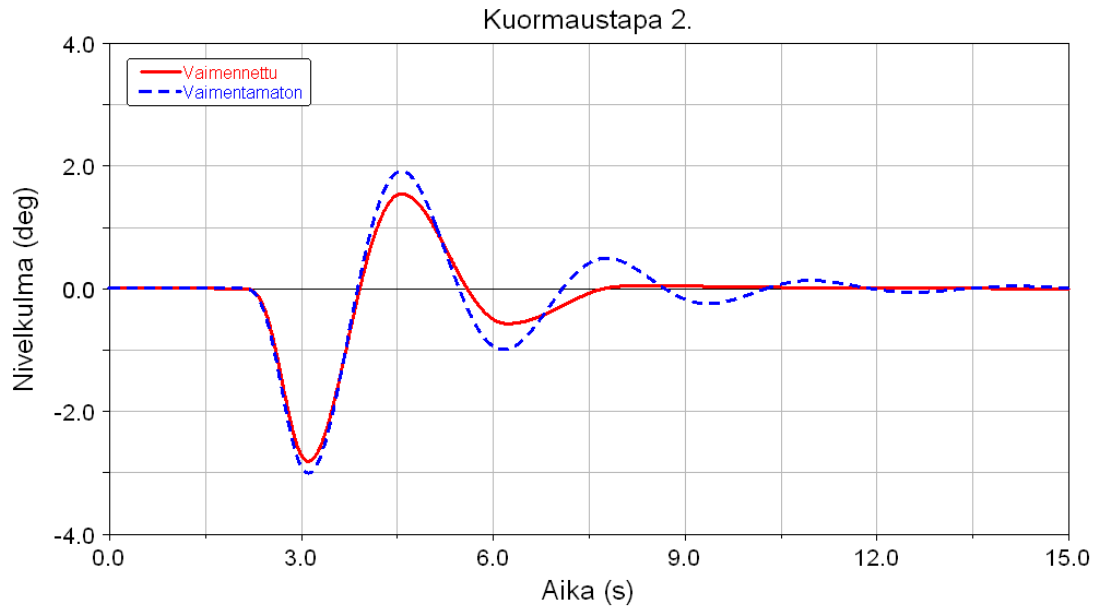
7 Tulokset ja niiden tarkastelu

7.1 Kiertoheilahtelun vaimennuskerroin

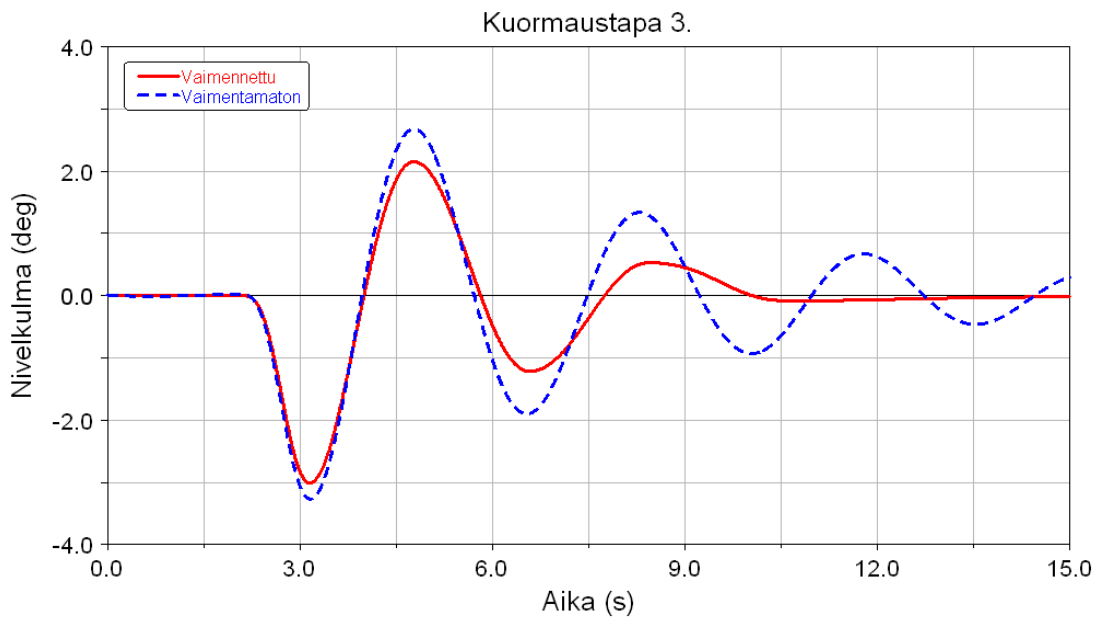
Kuvissa 14, 15 ja 16 on esitetty nivelkulmien vasteet ajan funktiona pulssimaisella ohjausherätteen seurauksena (kappale 6.1) eri kuormaustavoilla (luku 4). Ajonopeus kokeissa on 80 km/h. Tuloksissa on esitetty kuvaajat vetokytkimen kitkavaimentimen ollessa toiminnassa ja pois toiminnasta.



Kuva 14. Nivelkulma pulssimaiselle ohjausherätteelle kuormaustavalla 1.



Kuva 15. Nivelkulma pulssimaiselle ohjauseränteelle kuormaustavalla 2.



Kuva 16. Nivelkulma pulssimaiselle ohjauseränteelle kuormaustavalla 3.

Taulukossa 4 on esitetty vaimennuskertoimen arvot, jotka ovat laskettu kaavan (1) mukaisesti nivelkulmavasteista. Vaimennuskertoimen arvot on esitetty erilaisille kuormaustavoilla vaimennetulle sekä vaimentamattomalle tapaukselle.

Taulukko 4. Kiertoheilahtelun vaimennuskerroin eri kuormaustavoilla.

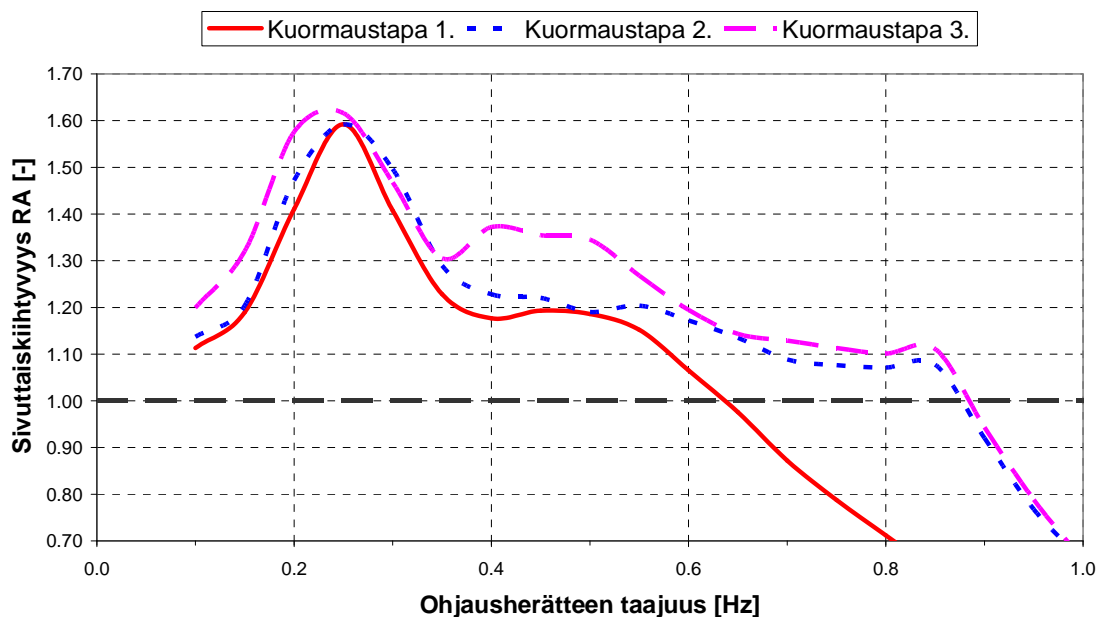
	vaimennettu	vaimentamaton
Kuormaustapa 1.	15 %	10 %
Kuormaustapa 2.	11 %	8 %
Kuormaustapa 3.	6 %	4 %

Vaimennuskertoimen perusteella kuormaustapa 1 on vakain. Tällöin vaimennuskertoimen arvo on 15 %. Kuormaustavassa 2 perävaunun painopistettä siirretään taemmaksi siten, että vetoaisan pystykuormitus laskee alle sallitun maksimiarvon 1000 kg. Tällöin vaimennuskertoimen pienenee arvoon 11 %. Kuormaustavalla 3, joka vastaa Keski-Euroopassa sallittua kuormausta, vaimennuskertoimen arvo on 6 %.

Ajoneuvoyhdistelmän vetokytkimeen rakennetun vaimennin mekanismin vaikutus kiertoheilahtelujen vaimennuksessa on suhteellisen merkittävä. Tämä selviää vertaamalla taulukon 4 vaimennuskertoimen arvoa vaimennetulle ja vaimentamattomalle tapaukselle. Vaimentimen poistaminen pienentää vaimennuskerrointa noin 30 %.

7.2 Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo

Kuvassa 17 on esitetty kaksoiskaistanvaihtokokeista kaavan (2) perusteella lasketut sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvot ohjauseräteen taajuuden funktiona eri kuormaustavoille. RA-arvojen määrittämisessä on käytetty vetoauton etuakselin ja perävaunun takimmaisena akselin sivuttaiskiihtyvyyden arvoja. Ajonopeus laskennassa on ollut 80 km/h.



Kuva 17. Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo ohjauseräteen taajuuden funktiona tutkituilla kuormaustavoilla.

Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvojen maksimiarvot ja vastaavat ohjauseräteen taajuudet eri kuormaustavoilla on esitetty taulukossa 5. Kuormaustavoilla 1 ja 2 RA-arvon maksimiarvo on 1,59. Kuormaustavalla 3 RA-arvon maksimiarvo on 1,62, jolloin kasvua kuormaustapoihin 1 ja 2 verrattuna on 2 %. Kuormaustapa ei siis vaikuta merkittävästi RA-arvon maksimiarvoon. Ohjauseräteen taajuuteen, jolla maksimiarvo saavutetaan, kuormaustapa ei myöskään merkittävästi vaikuta. Kaikilla kuormaustavoilla suurimmat RA-arvot saavutetaan ohjauseräteen taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz.

RA-arvon kuvaajan muotoon kuormaustapa vaikuttaa selvästi. Kuormaustapojen 2 ja 3 tapauksessa suurilla taajuusarvoilla RA-arvo on huomattavasti korkeampi kuin kuormaustavalla 1.

Tällaiset ohjausherätteen taajuudet (0,5 – 1,0 Hz) ovat kuitenkin todella suuria arvoja käytännön ajotilanteisiin verrattuna.

Taulukko 5. Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvojen maksimiarvot eri kuormaustavoilla.

	RA-arvon maksimi	Ohjausherätteen taajuus (Hz)
Kuormaustapa 1.	1.59	0.25
Kuormaustapa 2.	1.59	0.25
Kuormaustapa 3.	1.62	0.23

Taulukossa 6 on esitetty erilaisille ajoneuvoyhdistelmätyypeille laskettuja sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvojen maksimiarvoja ohjausherätteen taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz [9, Kiviniemi]. Verrattaessa tutkitun autonkuljetusyhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoa muiden ajoneuvoyhdistelmien arvoihin (taulukko 6) havaitaan, että autonkuljetusyhdistelmä käyttäytyy stabiilisti. Autonkuljetusyhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvo on hieman korkeampi kuin puoliperävaunuyhdistelmällä (1).

Kuorma-auton ja keskiakseliperävaunuyhdistelmän (2) (pituus 18,75 m) sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon maksimiarvo taajuusalueella (0,2 – 0,3 Hz) on 1,72, joka on 6 – 8 % suurempi kuin autonkuljetusyhdistelmän tapauksessa. Tähän RA-arvon kasvuun vaikuttaa ajoneuvoyhdistelmien erilainen mitoitus sekä kuorma, mutta suuri vaikutus autonkuljetusyhdistelmän eduksi on vetokytkimen kitkavaimentimella.

Varsinaisilla perävaunuyhdistelmillä (3) sekä moduuliyhdistelmillä (4 ja 5) taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz olevien sivuttaiskiihtyvyyksien RA-arvojen maksimiarvot ovat 1,55 – 2,10, joten myös näihin ajoneuvoyhdistelmiin verrattuna autonkuljetusyhdistelmä käyttäytyy stabiilisti. Näillä ajoneuvoyhdistelmätyypeillä (3, 4 ja 5) on kuitenkin lisäksi toinen huomattavasti korkeampi sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon maksimikohta ohjausherätteen taajuuksilla 0,6 – 0,8 Hz. Tämä on otettava huomioon verrattaessa yleisesti ajoneuvoyhdistelmien stabiliteettia. Kuten edellä on todettu, tällaiset ohjausherätteen taajuudet ovat kuitenkin todella suuria arvoja käytännön ajotilanteisiin verrattuna, joten niitä ei ole huomioitu tässä vertailussa.

Taulukko 6. Sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon maksimiarvoja erilaisille ajoneuvoyhdistelmätyypeille ohjausherätteen taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz [9, Kiviniemi].

Ajoneuvoyhdistelmätyyppi	RA-arvon maksimi	Ohjausherätteen taajuus (Hz)
1 Puoliperävaunuyhdistelmä, 16,5 m	1.55	0.30
2 Keskiakseliperävaunuyhdistelmä, 18,75 m	1.72	0.25
3 Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä 22 m	1.55	0.25
4 Kuorma-auton ja varsinaisen perävaunun yhdistelmä 25,25 m	1.85	0.25
5 Kuorma-auton, puoliperävaunun ja keskiakseliperävaunun yhdistelmä, 25,25 m	2.10	0.30

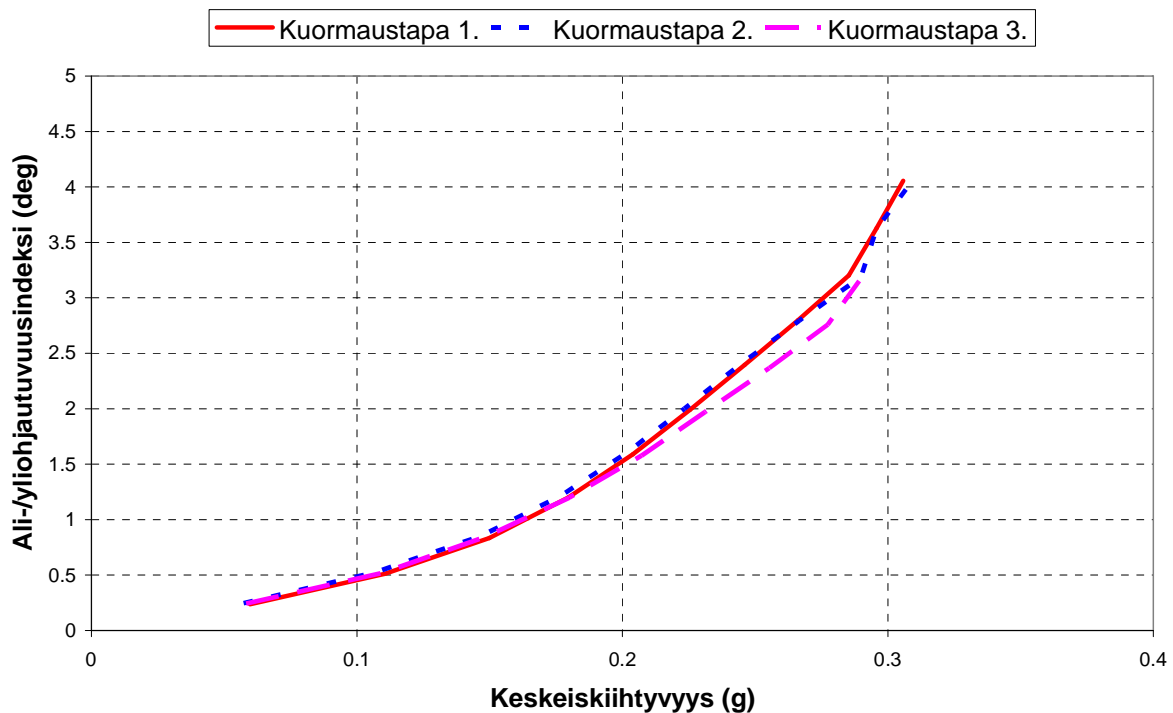
7.3 Vetoauton ohjautuvuus

Kuvassa 18 on esitetty ajoneuvoyhdistelmän simulointimallilla vetoautolle kaavan (3) mukaisesti laskettu aliohjautuvuusindeksi eri kuormaustavoilla. Simulointi on suoritettu ajonopeudella 80 km/h ja simuloinnissa on käytetty askelmaista ohjausherätettä (kappale 6.3).

Kuormaustavan vaikutus vetoauton ohjautuvuuteen ei ole merkittävä. Aliohjautuvuusindeksi kasvaa selvästi sivuttaiskiiktyvyyden kasvaessa, joten vetoauto on voimakkaasti aliohjaava kaikilla kuormaustavoilla.

Vetoauton ohjautuvuus riippuu pääasiassa akseleiden välisestä painonjakaumasta sekä rengastuksesta. Kaksiakseliset vetoautot ovat yleisesti aliohjaavia. Tämä johtuu akseleiden välisestä painojakaumasta (etuakseli 7000 kg ja taka-akseli 11000 kg) sekä taka-akselin paripyöräasennuksesta. Tällöin taka-akselin renkaat pystyvät kehittämään etuakselin renkaita enemmän sivuttaisvoimaa, jolloin vetoauto on aliohjaava.

Perävaunun kuormaustavan vaikutus vetoauton etuakselin pystykuormitukseen on noin 200 kg ja taka-akselin kuormitukseen noin 800 kg (taulukot 1, 2 ja 3). Tällaiset renkaiden pystykuormamuutokset eivät vaikuta oleellisesti vetoauton ajokäyttäytymiseen, koska taka-akselin renkailla on kaikilla kuormaustavoilla etuakselin renkaita enemmän sivuttaisvoimapotentiaalia.



Kuva 18. Vetoauton ali-/yliohjautuvuusindeksi keskeiskiiktyvyyden funktiona eri kuormaustavoilla.

8 Johtopäätökset

Raskaan ajoneuvoyhdistelmän ajodynamiikan mallintaminen on erittäin vaativa tehtävä. Simulointimalliin liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka johtuvat niin komponenttien todellisten arvojen puuttumisesta, toiminnan yksinkertaistamisesta kuin mallien verifiointien vähäisyydestä. Vaikka simulointimallin toimintaa ei ole verifioitu todellisella ajoneuvoyhdistelmällä tehdyillä mittauksilla, ovat eri kuormaustavoilla saadut tulokset kuitenkin vertailukelpoisia ja antavat kuvan kuormauksen vaikutuksesta stabiilisuuteen ja ajokäyttäytymiseen. Simulointien perusteella voidaan todeta seuraavaa.

8.1 Kuormaustavan vaikutus stabiilisuuteen

Kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän kiertoheilahtelujen vaimenemisominaisuuksia kuvaavaan vaimennuskertoimeen on suhteellisen merkittävä. Kuormaustapa 1 on stabiilein. Ajoneuvoyhdistelmä on stabiili myös kuormaustavoilla 2 ja 3, mutta tällöin ajoneuvoyhdistelmän kyky vaimentaa syntynyt sivusuuntainen värähtely on heikompi verrattuna kuormaustapaan 1.

Tutkitulla autonkuljetusyhdistelmällä ja tutkituilla kuormaustavoilla perävaunun kuorman painopisteen siirtäminen taakse päin heikentää ajoneuvoyhdistelmän kiertoheilahtelujen vaimennusominaisuuksia. Tämä painopisteen siirtäminen ei tee ajoneuvoyhdistelmästä dynaamisesti epästabiilia, mutta pienentää käytettävissä olevaa stabiilisuusmarginaalia sekä vaikuttaa epämiellyttävästi kuljettajan tuntemukseen ajoneuvoyhdistelmän käyttäytymisestä.

Ajoneuvoyhdistelmään rakennetun vaimenninmekanismin vaikutus kiertoheilahtelujen vaimennuksessa on suuri. Vaimentimen poistaminen pienentää vaimennuskerrointa noin 30 %.

Kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoon ei ole merkittävä. Ohjauseräteen taajuuteen, jolla maksimiarvo saavutetaan, kuormaustapa ei merkittävästi vaikuta. Kuormaustavoilla 1 ja 2 RA-arvon maksimiarvo on 1,59. Kuormaustavalla 3 RA-arvon maksimiarvo on 1,62, jolloin kasvua kuormaustapoihin 1 ja 2 verrattuna on 2 %. Kaikilla kuormaustavoilla sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon maksimiarvo esiintyy taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz, joka vastaa käytännön ajotilanteissa esiintyviä ohjauseräteen taajuuksia. Tämän vuoksi tutkitun ajoneuvoyhdistelmän RA-arvon maksimiarvo kuvaa hyvin ajoneuvoyhdistelmän dynaamista stabiilisuutta.

Ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta mitataan toisaalta kiertoheilahtelun vaimennuskertoimen ja toisaalta sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon avulla. Molemmissa menetelmissä perävaunun painopisteen siirtäminen taemmaksi huonontaa ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta tutkituissa kuormaustavoissa. Yhteenvetona voidaan todeta, että tutkitulla autonkuljetusyhdistelmällä ja tutkituilla kuormaustavoilla perävaunun vetoaisan pystykuormituksen kasvattaminen lisää ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta. Toisaalta on kuitenkin otettava huomioon, että vetokytkin on suunniteltu 1000 kg:n pystykuormitukselle, joten perävaunun etupainoinen kuorma ei ole suotavaa.

On huomattava, että yleisesti vetoaisan pystykuormituksen liiallinen kasvattaminen (kuorman painopisteen siirtäminen eteenpäin) heikentää ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta. Optimaalinen sijainti perävaunun kuorman painopisteelle on hieman perävaunun akselin tai akseleiden keskikohdan etupuolella. Tutkitun autonkuljetusyhdistelmän mitoitus poikkeaa yleisestä kes-

kiakseliperävaunun yhdistelmän mitoitukselta. Toisaalta myös perävaunun kuorman massa on suhteellisen pieni verrattuna perävaunun omamassaan. Nämä seikat vaikuttavat siihen, että tutkituista kuormaustavoista etupainoisin kuormaustapa on stabiilein.

8.2 Kuormaustavan vaikutus ohjautuvuuteen

Kuormaustavan vaikutus vetoauton ohjautuvuuteen ei ole merkittävä. Kaikilla kuormaustavoilla vetoauto on voimakkaasti aliohjaava. Vetoauton ajokäyttäytymisen luonnetta kuvaava ali-/yliohjautuvuusindeksi määritetään simuloimalla vakiokaarrekoetta erisuuruisilla askelmaisilla ohjauseränteillä vakiona pysyvällä ajonopeudella. Näistä kokeissa määritetään kaarteeseen ajamiseen tarvittavan ohjauskulman ja geometrisen kääntökulman erotus keskeiskiitävyyden funktiona. Tarvittava ohjauskulma kasvaa keskeiskiitävyyden kasvaessa, joten vetoauton on aliohjaava.

Vetoauton aliohjaaminen johtuu akselien välisestä painojakaumasta sekä taka-akselin paripyöräasennuksesta. Perävaunun kuormaustavan vaikutus vetoauton etuakselin pystykuormitukseen on noin 200 kg ja taka-akselin kuormitukseen noin 800 kg. Tällaiset renkaiden pystykuormamuutokset eivät vaikuta oleellisesti vetoauton ajokäyttäytymiseen, koska taka-akselin renkaat pystyvät kaikilla kuormaustavoilla kehittämään etuakselin renkaita enemmän sivuttaisvoimaa.

9 Yhteenveto

Tutkittu raskas ajoneuvoyhdistelmä muodostuu kuorma-autosta ja keskiakseliperävaunusta. Ajoneuvoyhdistelmän mitoitus perustuu Keski-Euroopassa hyväksytyihin kansallisiin erivapauksiin, joissa ajoneuvoyhdistelmän pituus ylittää Suomen lainsäädännön salliman keskiakseliperävaunuyhdistelmän maksimipituuden 18,75 metriä. Perävaunun takaosa voidaan kuitenkin lyhentää, jolloin se on Suomen lainsäädännön mukainen. Ongelmana on, että tällöin perävaunun kuormaus muuttuu helposti etupainoiseksi, jolloin vetoaisan pystykuormitus ylittää lain sekä valmistajan salliman arvon.

Tutkimuksessa selvitetään kyseisen autonkuljetukseen tarkoitettua ajoneuvoyhdistelmän sivuttaisdynaamista stabiilisuutta. Tavoitteena on mallinnuksen ja simulointien avulla määrittää ajoneuvoyhdistelmän kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuuteen sekä ohjautuvuuteen.

Tutkittavana on kolme kuormaustapaa: (1) onnettomuustilanteen mukainen kuormaaminen (vetoaisan pystykuormitus ylittää lain salliman arvon), (2) Suomen lainsäädännön täyttävä kuormaaminen sekä (3) Keski-Euroopassa sallittu kuormaaminen.

Ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta mitataan kiertoheilahtelujen vaimennuskertoimen ja toisaalta sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon avulla. Kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän kiertoheilahtelujen vaimenemisominaisuuksia kuvaavaan vaimennuskertoimeen on suhteellisen merkittävä. Kuormaustapa 1 on stabiilein. Ajoneuvoyhdistelmä on stabiili myös kuormaustavoilla 2 ja 3, mutta tällöin ajoneuvoyhdistelmän kyky vaimentaa syntynyt sivusuuntainen värähtely on heikompi verrattuna kuormaustapaan 1.

Kuormaustavan vaikutus ajoneuvoyhdistelmän sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvoon ei ole merkittävä. Ohjausherätteen taajuuteen, jolla maksimiarvo saavutetaan, kuormaustapa ei merkittävästi vaikuta. Kaikilla kuormaustavoilla sivuttaiskiihtyvyyden RA-arvon maksimiarvo esiintyy taajuusalueella 0,2 – 0,3 Hz, joka vastaa käytännön ajotilanteissa esiintyviä ohjausherätteen taajuuksia. Tämän vuoksi tutkitun ajoneuvoyhdistelmän RA-arvon maksimiarvo kuvaa hyvin ajoneuvoyhdistelmän dynaamista stabiilisuutta.

Vetoauton ajokäyttäytymistä ja ohjautuvuutta kuvataan ali-/yliohjautuvuusindeksillä, joka määritetään simuloimalla vakiokaarrekoetta erisuuruisilla askelmaisilla ohjausherätteillä vakiona pysyvällä ajonopeudella. Kuormaustavan vaikutus vetoauton ohjautuvuuteen ei ole merkittävä. Kaikilla kuormaustavoilla vetoauto on voimakkaasti aliohjaava.

Yleisesti perävaunun vetoaisan pystykuormituksen liiallinen kasvattaminen (kuorman painopisteen siirtäminen eteenpäin) heikentää ajoneuvoyhdistelmän stabiilisuutta. Optimaalinen sijainti perävaunun kuorman painopisteelle on hieman perävaunun akselin tai akseleiden keskikohdan etupuolella. Tutkitun autonkuljetusyhdistelmän tapauksessa tutkituista kuormaustavoista etupainoisin kuormaustapa on stabiilein.

Lähdeviitteet

- [1] Ajoneuvoyhdistelmän mitoituspiirros.
- [2] Seppälä Jussi. Onnettomuusyhdistelmän perustietoja. A-Katsastus.
- [3] BPW-akselitot. <http://www.bpw.de>
- [4] *Akselistot ja alustanosat. Luettelo 01.11.2001.* H.Kraatz Oy.
- [5] Kai Valonen. Kuvia onnettomuudessa olleesta ajoneuvoyhdistelmästä. Onnettomuustutkintakeskus.
- [6] Product Data Sheet EUROLOHR 1.00 E. <http://www.lohr.fr/eurolohr300.htm>
- [7] William T Thompson. *Theory of Vibration with Applications 3rd Edition.* Prentice-Hall 1993.
- [8] Robert Bosch GmbH. *Autoteknillinen taskukirja.* 19. painos.
- [9] Jukka Räsänen, Veli-Pekka Kallberg, Tero Kiviniemi, Juha Tapio. *Täysperävaunullisten kuorma-autojen talviajan nopeusrajoituksen alentamisen vaikutukset.* Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 68/2004.

Muistio ajoneuvoyhdistelmän vetolaitteesta

meLohr2006

Muistio Lohr vetolaite:

Type TA 2050.

S=1000 kg.

V=90 kN.

Dc=104 kN.

E11 55R-01 3827.

No 11874.

Kai Valonen. Puh 040-5009992. Onnettomuustutkintakeskus. kai.valonen@om.fi

Valonen toi kytkimen meille 24.2.2006.

Palautettu Kaupelle 12.5.2006. Til. no 245784.

Perävaunun puoleinen laippa taipunut. Vetolaitetta ei saa käyttää liikenteessä.

Vetolaitteen sisältä tuli kaksi muovipalasta ulos alapuolelta kun kokeilimme vetolaitteen herkkyyttä. Merkki siitä että kuluntamuovit on kulutettu loppuun. Vetolaite kääntyi herkästi johtuen sen väljyydestä. Yläpuolen kuluntamuovit olivat paremmassa kunnossa.

Vällys n. 5,5 mm pituussuunnassa. Meillä ei ole käytettävissä auton ja perävaunun massoja vastaavaa mittaustapaa joten todellinen vällys on jonkin verran suurempi.

Vetolaitteeseen kuuluva tukikaari ei tullut meille.

Ohjeen mukaan vetolaitteen oltava välyksetön. Ohjeena on että kiristetään Keski-Euroopan olosuhteissa 25.000 km välein, Venäjän liikenteessä 15.000 km välein. Läpimenevä pultti kiristettävä 300 Nm. Vetolaite oli kuiva, ei ollut rasvaa nähtävissä. Ohjeissa neuvottiin välttämään liikaa rasvaamista.

Kokemuksemme mukaan varsinaisen perävaunun kuulakehän loppuun kuluminen aiheuttaa voimakkaita ohjausliikkeitä perävaunulle jotka välittyvät vetävän auton ajokäyttäytymiseen. Yleisin kuulakehän halkaisija 1100 mm. Tutkimamme Lohr-merkkisen vetolaitteen, halkaisija n.170 mm, emme usko aiheuttavan merkittäviä ohjausvoimia. Vällys aiheuttaa iskuja auton ja perävaunun välillä. Normaalin vetokytkimen ja vetosilmukan sallittu vällys on max. 5 mm.

Espoossa 12.05.2006.

Erik Salvén

Tuotepäällikkö

H. Kraatz Oy

LÄHDELUETTELO

Seuraavat lähteet on taltioitu Onnettomuustutkintakeskukseen:

1. Päätös tutkinnan aloittamisesta
2. Tullin ja muiden tahojen tilasto- ym. tietoja itään suuntautuvasta transitoliikenteestä
3. Internetistä ja puhelimitse saatuja tietoja venäläisestä autojenkuljetusyrytyksestä
4. Selvitys autojenkuljetuksista Suomen kautta Venäjälle, liikenne- ja viestintäministeriö, 15.3.2006
5. Valtioneuvoston periaatepäätös tieliikenteen turvallisuuden parantamisesta 9.3.2006
6. Kaakkois-Suomen työsuojelupiirin lausunto ajoneuvoyhdistelmän kuljettajan ajo- ja lepoajoista
7. Linja-auton aikataulut
8. Tietoja E18-tiestä ja sen parannushankkeista
9. Kaakkois-Suomen tiepiirin muistio onnettomuuspaikan kitkamittauksista, keliolosuhteista ja onnettomuuteen liittyvistä toimenpiteistä
10. Ilmatieteen laitoksen lausunto onnettomuuspaikan säästä
11. Liikennevakuutuskeskuksen ja VTT:n lausunto ajopiirturikiekoista ja ajopiirturiekot
12. Työsuojelupiirin kooste autonkuljettajien ajo- ja lepoaikoja koskevista vaatimuksista suomen, ruotsin ja venäjän kielellä
13. Otteita ajoneuvojen rakennetta koskevista vaatimuksista
14. Häätäkeskuksen hälytysseleste ja pelastuslaitoksen onnettomuusseleste
15. Ajoneuvoyhdistelmän mitat, massat ja valokuvia yhdistelmästä
16. Muistiinpanoja eri joukkoliikennevälineille sattuneiden matkustajan kuolemaan johtaneiden onnettomuuksien määrästä
17. Tilastotietoa ulkomaalaisten aiheuttamista liikennevahingoista vuosilta 1998–2005
18. Toimet rekkaliikenteen sujuvuuden parantamiseksi Suomen ja Venäjän rajalla, liikenne- ja viestintäministeriö, 20.12.2006
19. ExpressBus tuotetakuu
20. Autonkuljetusajoneuvoyhdistelmän ajovakauden tutkimus simuloimalla, VTT, 6.9.2006
21. Ohje operatiivisesta johtamisjärjestelmästä Kymenlaakson pelastuslaitoksessa, 1.4.2004
22. Ajoradan poikittais- ja pituuskaltevuudet, tutkintalautakunnan mittaukset
23. Linja-autojen liikenneturvallisuus, Lintu-tutkimusohjelman julkaisu, 2004
24. Sata askelta turvalliseen kuorma-autoliikenteeseen, Suomen kuorma-autoliiton liikenneturvallisuusohjelma, 2003
25. Poliisin Vaalimaalla tekemien tienvarsitarkastuksen tulokset 10.–12.12.2006
26. Tutkintaselostusluonnoksesta saadut lausunnot ja kommentit