

Sivutuulen huomioiminen ratasuunnittelussa

NELLI NOKKONEN

Tutkimuksen taustatekijät



Junien nopeus

Onnettomuuksien vahingot suurenevät -> lisää turvallisuusstandardeja



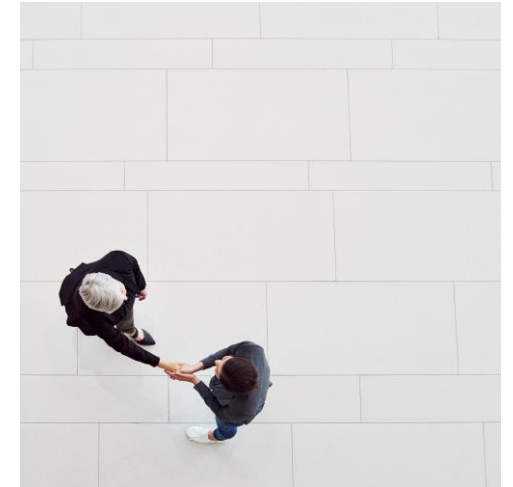
Ilmastonmuutos

Äärimmäisten sääilmiöiden yleistyminen & maaston muutokset



Turvallisuus

Turvallisuuden takaaminen



Yhteistyökumppanit

Aalto-yliopisto, AFRY Finland OY & Väylävirasto

Tutkimuksen rajaus



Matkustajaliikenne

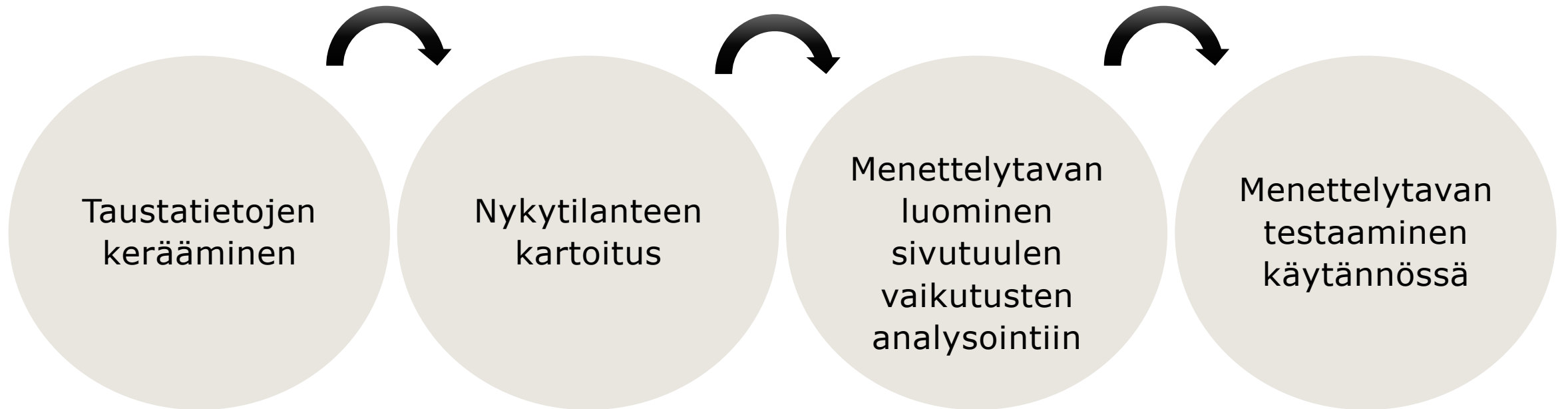


$140\text{km/h} < V < 250\text{km/h}$
EN 14067-6:2018



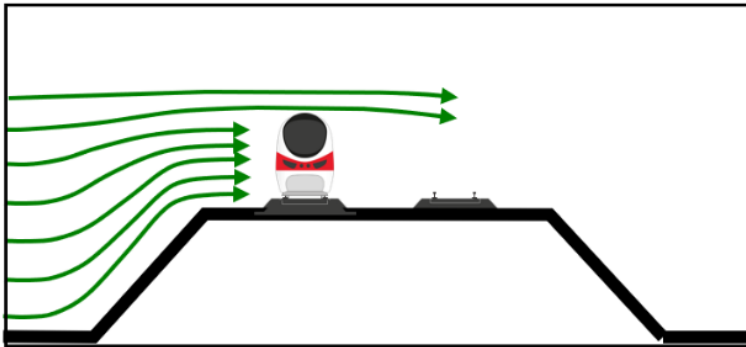
Suomen rataverkko

Tutkimuksen kulku

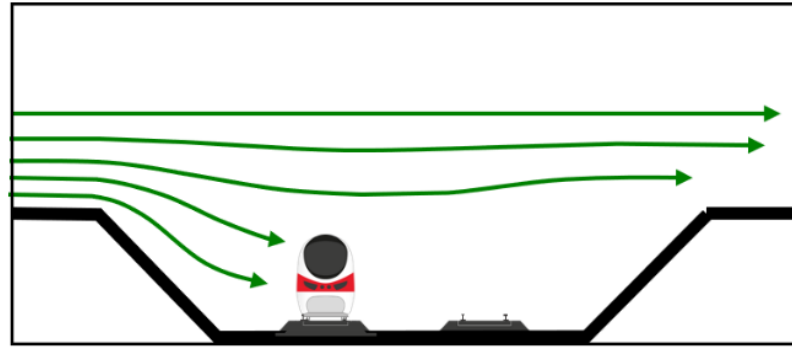


Tuuli, joka tulee mistä tahansa kulmasta rautatietä kohti

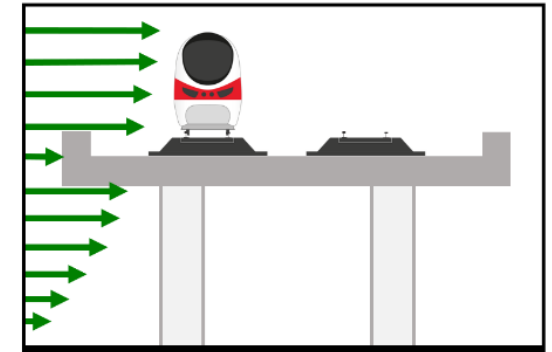
Penger



Leikkaus



Silta



Kuvat: Glover & al. 2021.

Sivutuuleen liittyvät onnettomuudet

- Voimakkaat tuulet voivat työntää junan pois raiteilta ja aiheuttaa junan kaatumisen
- Sivutuuleen liittyviä onnettomuuksia on käynyt muun muassa Japanissa, Kiinassa, Tanskassa, Itävallassa, Saksassa ja Sveitsissä
- Onnettomuuksiin vaikuttavat useat eri tekijät

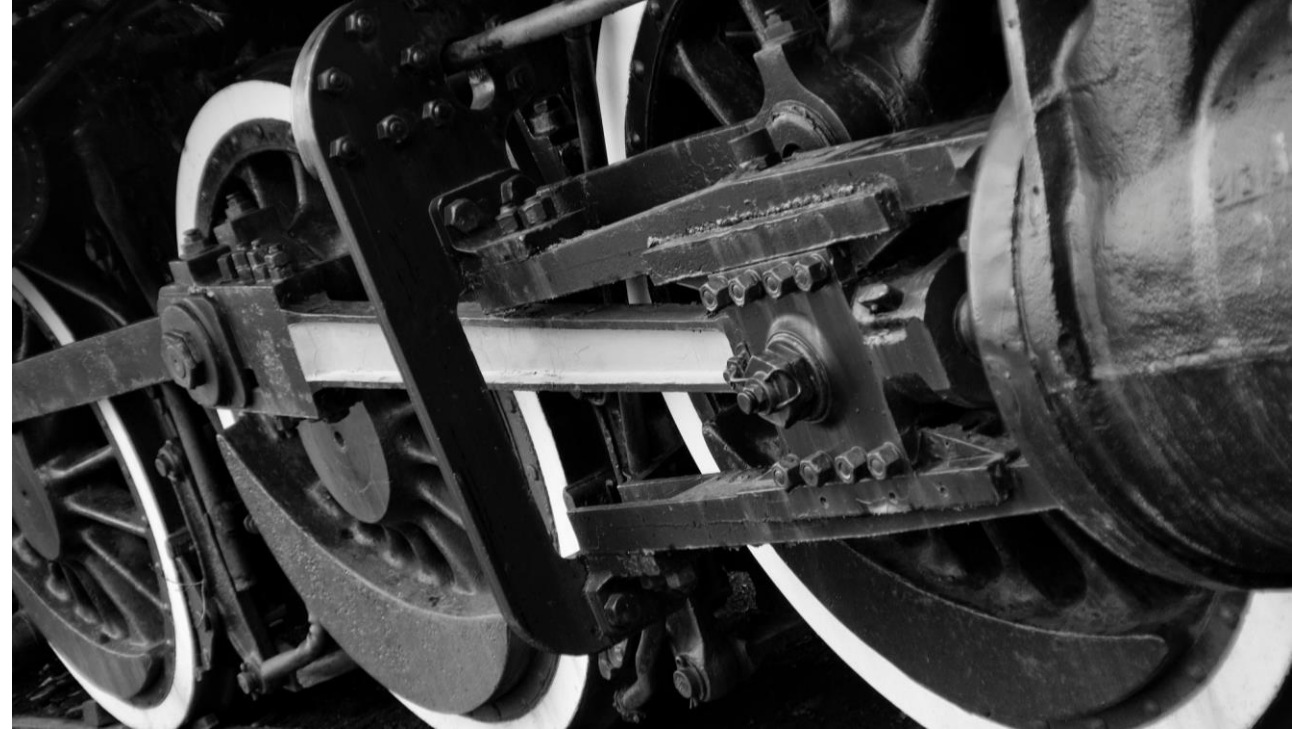


Sivutuuleen liitetty onnettomuus Sveitsistä vuodelta 2007 (M. Sprenger et al. 2018)

Junan ja Raiteen herkkyyys sivutuulelle

- Junan vaikuttavat ominaisuudet
 - Paino
 - Korkeus
 - Muoto
 - Nopeus

- Raiteen ominaisuudet, sijainti ja ympäristö vaikuttavat junan kaatumisherkkyyteen sivutuulen seurauksena.



Sivutuulen herkkyyteen vaikuttavat tekijät



Maantieteellinen sijainti & maasto



Ratageometria
(kallistuksen vajoaus)



Suurin sallittu nopeus



Rautatieinfrastruktuuri

Sivutuulen huomioiminen radan suunnittelussa

- Luonnosversio menettelytavasta, jonka avulla suunnittelijat pystyvät analysoimaan sivutuulen vaikutusta
- Tarkoituksena selvittää sivutuulelle kannalta ongelmalliset kohdat rataosuudelta ja ehdottaa toimenpiteitä.
- Positiivisena sivuvaikutuksena suunnittelijoiden tietämys kasvaa sivutuuleen vaikuttavista tekijöistä

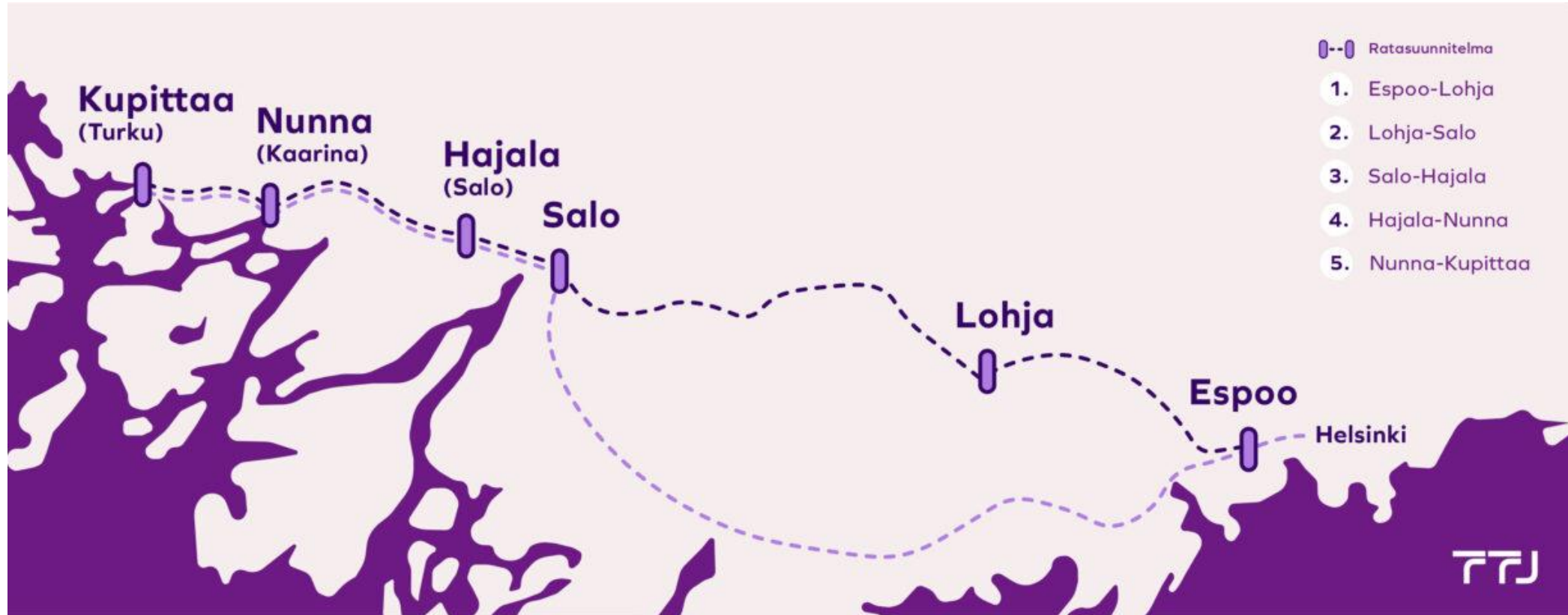


Menettelytavan vaiheet



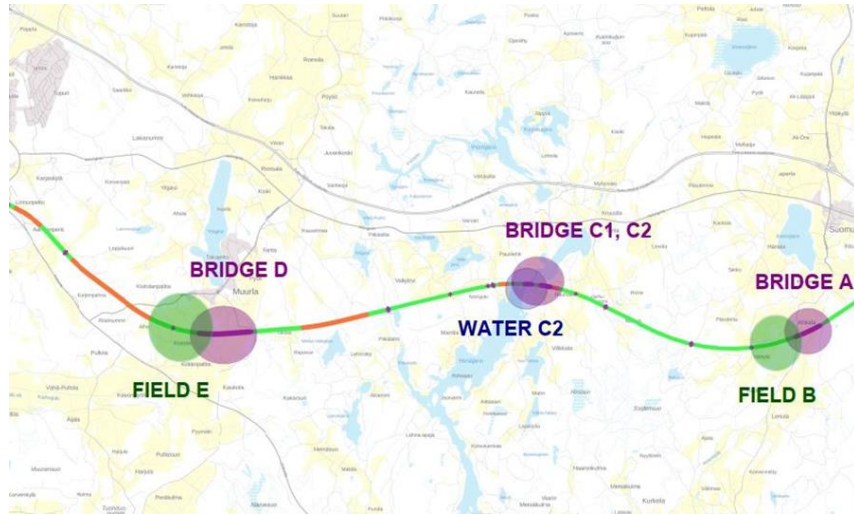
*RCWC = Reference characteristic wind curve (tuulen ominaiskäyrä)

Turun tunnin juna

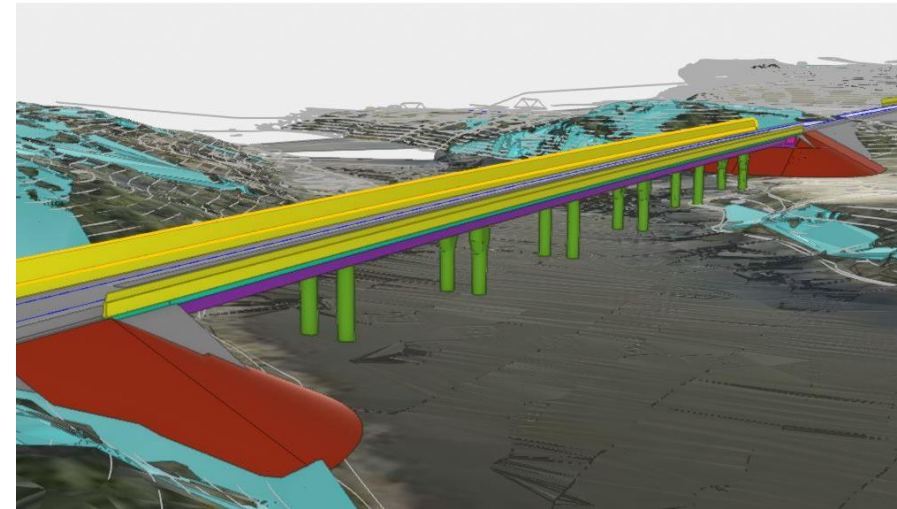


Kuva: Turun tunnin juna

Sivutuulen kannalta ongelmallisten kohteiden selvittäminen



Kohteet tunnistettiin projektin karttapalvelun avulla.

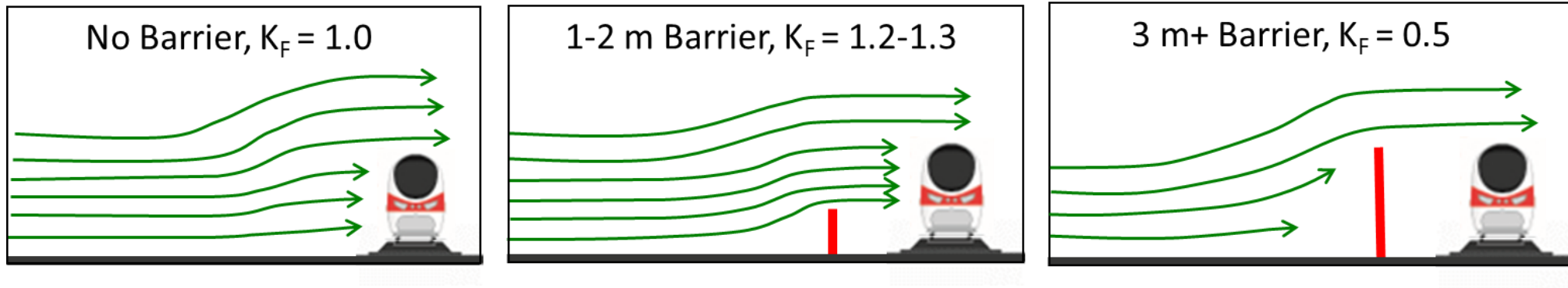


Kohteita tarkasteltiin yksityiskohtaisemmin 3D mallin avulla.

Kuvat: LOUHI karttapalvelu & Trimble Connect

Vaikutuksien tunnistaminen

Englannin High Speed 2 suurnopeusradassa tehtiin havintoja esteiden vaikutuksesta junaradalle kohdistuvaan tuuleen.



Lisäksi esteen muodolla, materiaalilla ja etäisyydellä radasta on vaikutusta esteen suojaavuuteen.

Kuvat: Glover & al. 2021.

RCWC-arvon määrittäminen

$$a_q = \frac{V^2}{12,96R} - \frac{D}{163}$$

The geometry of the southern track (ER)

Curve start - end	Curve radius	Cant	Speed	Lateral acceleration*	Rounded lateral acceleration**	RCWC
Km	R	D	V	m/s ²	m/s ²	m/s
88 + 873 - 94 + 419	5005	100	250	0,350	0.5	23.49
95 + 893 - 99 + 684	5045	100	250	0,342	0.5	23.49
101+798 - 101+905	7000	50	250	0,382	0.5	23.49
102+205 - 102+313	7000	50	250	0,382	0.5	23.49
103+670 - 104+471	7000	80	250	0,198	0.5	23.49
106+495 - 109+608	3910	80	250	0,743	1.0	20.94
110+783 - 111+950	5020	80	250	0,470	0.5	23.49
112+429 - 113+839	2980	80	220	0,762	0.5	24.69
114+293 - 114+805	5004,7	50	220	0,439	1.0	22.14
115+388 - 115+769	1995,3	50	120	0,250	0.5	28.69
115+769 - 116+632	1104,7	60	120	0,638	1.0	26.14
116+632 - 116+803	2000	50	120	0,249	0.5	28.69

*If $V < 120$ km/h a_q max $a_q = 0.65$ m/s² and if $V \geq 120$ km/h a_q max $a_q = 0.80$ m/s²

**Lateral acceleration are always rounded up to a higher value

MÄÄRITETTY
EUROOPPALAISILLE
KESKIVERTOVAUNULLE

RCWC-arvon lukeminen

		$a_q = 1.0$								
Train class	Speed (Km/h)	RCWC (m/s) angle								
		90	80*	70	60	50	40	30	20	10
A	250	21.15	20.94	21.38	22.53	24.61	28.05	33.79	44.19	45.00
	240	21.55	21.34	21.78	22.96	25.08	28.58	34.44	45.00	45.00
	220	22.36	22.14	22.60	23.82	26.02	29.65	35.73	45.00	45.00
	200	23.17	22.94	23.42	24.68	26.96	30.72	37.02	45.00	45.00
	180	23.98	23.74	24.23	25.54	27.90	31.79	38.31	45.00	45.00
	160	24.78	24.54	25.05	26.40	28.84	32.86	39.60	45.00	45.00
	140	25.59	25.34	25.87	27.26	29.78	33.93	40.89	45.00	45.00
	120	26.40	26.14	26.68	28.12	30.72	35.01	42.18	45.00	45.00
B	230	21.15	20.94	21.38	22.53	24.61	28.05	33.79	44.19	45.00
	220	21.55	21.34	21.78	22.96	25.08	28.58	34.44	45.00	45.00
	200	22.36	22.14	22.60	23.82	26.02	29.65	35.73	45.00	45.00
	180	23.17	22.94	23.42	24.68	26.96	30.72	37.02	45.00	45.00
	160	23.98	23.74	24.23	25.54	27.90	31.79	38.31	45.00	45.00
	140	24.78	24.54	25.05	26.40	28.84	32.86	39.60	45.00	45.00
C	200	21.15	20.94	21.38	22.53	24.61	28.05	33.79	44.19	45.00
	180	21.96	21.74	22.19	23.39	25.55	29.12	35.08	45.00	45.00
	160	22.77	22.54	23.01	24.25	26.49	30.19	36.37	45.00	45.00
	140	23.57	23.34	23.82	25.11	27.43	31.26	37.66	45.00	45.00
	120	24.38	24.14	24.64	25.97	28.37	32.33	38.95	45.00	45.00
D	160	21.15	20.94	21.38	22.53	24.61	28.05	33.79	44.19	45.00
	140	21.96	21.74	22.19	23.39	25.55	29.12	35.08	45.00	45.00
	120	22.77	22.54	23.01	24.25	26.49	30.19	36.37	45.00	45.00

*The most critical angle for a crosswind

MITÄ SUUREMPI
POIKITTAISKIIHTYVYYS SEN
PIENEMPI RCWC-ARVO



MITÄ PIENEMPI RCWC-
ARVO SEN HERKEMPI JUNA
ON KAARTEESSA
SIVUTUULELLE

Toimenpideluokat

Table 8. Identification of wind-sensitive points.

Location	Location on the map	Structure	Environment	Measure
Ahtiala railway bridge	A	bridge	open field area	immediate measures
Ahtiala (after bridge)	B	normal track structure	open field area	measures to be implemented in the current phase

1. Green = significant positive
2. Light Green = positive
3. Yellow = neutral
4. Orange = negative
5. Red = significant negative

Hyödynnetty Väyläviraston riskienhallinnan ohjeistusta.

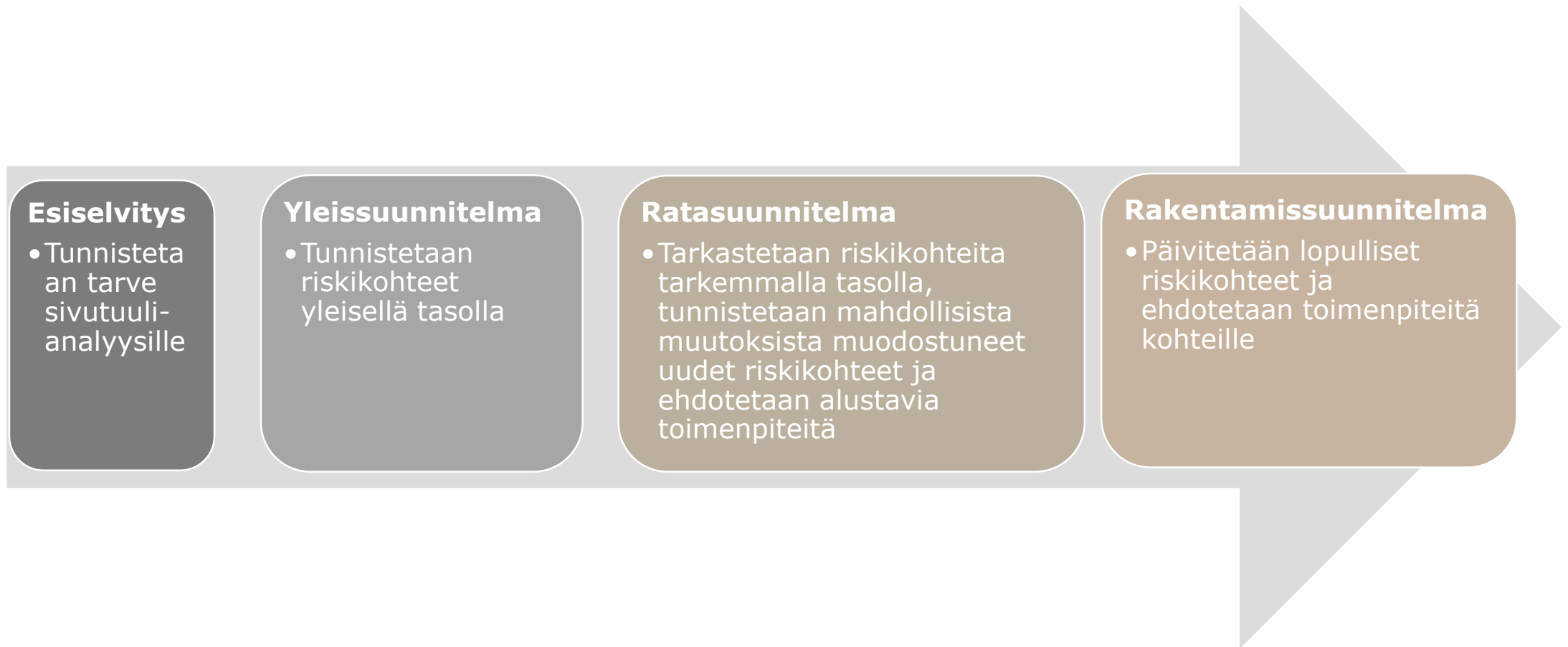
Toimenpide ehdotukset

Table 11. Example of the mitigation measure table for the Hirsijärvi railway bridge.

Mitigation measure	Active / Passive	Cost	Maintenance	Functionality	Cons	Pros
Building higher noise barriers, which also work wind barriers	Passive	\$\$	if required	works any wind speed and does not affect operation.	Expensive to build, can collect snow in winter, construction cause bigger carbon footprint	No need for active actions, works continuously, does not cause traffic inconvenience
External wind control + speed reduction	Active	\$	\$	works when wind speed meet risk level. Can affect operation.	External wind control leaves room for consideration, affects the operational capacity of rail traffic	flexible, low cost

Suunnittelija ehdottaa ja tilaaja päättää

Toteutus suunnittelun eri vaiheissa



Jatkotutkimukset

- Menettelytavan ja toimenpiteiden toteutuksien sekä ylläpidon kustannukset Suomessa
- Suomen kalustolle sopivan RCWC-arvon määrittäminen
- Kustannustehokkaan tuulen mittaamisen mahdollisuudet radan läheisyydessä





Kiitos!