

Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen

Osaraportti 1

Hankkeen tekninen kuvaus



Sisällysluettelo

Johdanto.....	2
1 Nykyinen kulunvalvontatekniikka.....	2
2 Kulunvalvontatekniikan uusimistarve.....	3
2.1 Tavoitteet.....	4
3 Kulunvalvontatekniikan vaihtoehdot.....	4
3.1 Automaattiajo kuljettajan kanssa (STO).....	5
3.2 Täysin miehittämätön ajo (UTO).....	5
4 Hankkeen tekninen määrittely.....	6
5 Toimittajavalinnan kriteerit.....	9
Liite	
Yhteenveto Helsingin metron turvallisuustarkastelusta.....	10

Tekijä: Tuija Heinlahti-Guillén
Taitto: Tarja Jääskeläinen

Johdanto

Helsingin metro on tarkoitus varustaa automaattisella junien ohjaus- ja valvontajärjestelmällä (ATC), johon sisältyy jatkuva kulunvalvonta (ATP), automaattiajojärjestelmä (ATO) ja käytönohjausjärjestelmä (ATS). Järjestelmän piiriin tulisi kuulumaan koko metroverkko mukaan lukien nykyiset asemat ja vuoden 2006 loppuun mennessä käyttöön otettava Kallastaman asema sekä metrovarikko erikseen määritellyssä laajuudessa. Vaunukalustosta varustettaisiin ATC:llä kaikki junat.

Järjestelmän tulee taata junaliikenteen koko turvallisuus. Yleistavoitteena on lisätä liikenteen taloudellisuutta ja laatua sekä teknistä varmuutta.

1 Nykyinen kulunvalvontatekniikka

Nykyinen järjestelmä perustuu kauko-ohjattuihin asetinlaitteisiin ja käytönohjausjärjestelmään. Asetinlaitteet ovat releasetinlaitteita, mallia Siemens SpDrS 60-U. Asetinlaitteita on kaikkiaan viisi: Hakaniemessä, Herttoniemessä, Kontulassa, Vuosaarella ja metrovarikolla. Kunkin asetinlaitteen toiminta-alue on noin 6 kilometriä ja laitteet on sijoitettu aluevalvomojen laittiloihin. Linjan neljää asetinlaitetta ohjataan keskitetysti Hakaniemen keskusvalvomosta kauko-ohjausjärjestelmän SEL Safe-L90 (käyttäjiliittymä Command 900) avulla. Kullakin asetinlaitteella on varakäyttöä varten oma paikallinen aluevalvomonsa, joka normaalisti on miehittämätön. Itäkeskuksen lähellä sijaitsevan metrovarikon asetinlaitetta ohjataan sen omasta valvomosta eikä sitä ole varustettu kauko-ohjauksella.

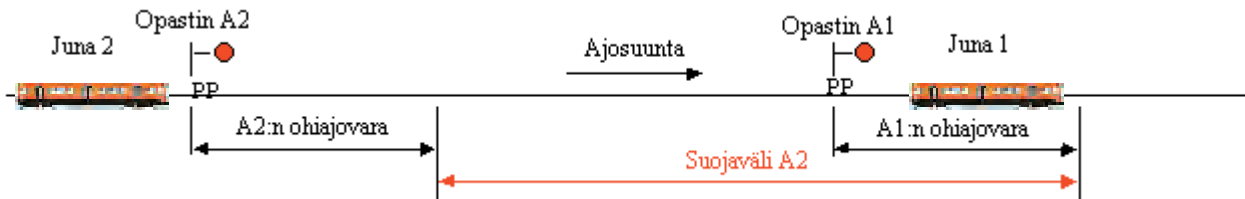
Asetinlaitteilla ohjataan ja varmistetaan niin oikeanpuoleinen kuin myös vasemmanpuoleinen liikenne. Normaali liikenteessä junat käyttävät oikeanpuoleista raideita. Metroverkon raiteisto sisältää välivaihteita liikenteen ohjaamiseksi oikeanpuoleiselta raiteelta vasemmanpuoleiselle raiteelle ja päinvastoin. Vaihteita ja opastimia on niin paljon, että jonkin raideosuuden toimiessa yksiraiteisena raiteistossa voidaan tällaisessa poikkeustapauksessa liikennöidä vähintään noin 10 minuutin vuorovälillä.

Junan paikantaminen on toteutettu ilman galvaanisia eristyksiä toimivin raidevirtapiirilaittein (Siemens äänitaajuusraidevirtapiiri, GI S 9/15), poikkeuksena vaihteet, joissa käytetään myös galvaanisia eristyksiä. Asetinlaitteisiin sisältyy niin sanottu kulkutien varmistus rajoite-tuin ehdoin (kulkutien raideosuus varattu esimerkiksi raidevirtapiirin vian vuoksi), jolloin ajolupa annetaan poikkeusopastimella (tällöin ajolupa sisältyy mm. rajoituksia ajonopeuden suhteen).

Asetinlaitteiden valo-opastimet on varustettu raiteessa olevilla magneeteilla, jotka aiheuttavat junan pakkojarrutuksen yhdessä junassa olevan pakkopysäytyslaitteen avulla, jos juna ajaa "seis"-opastetta näyttävän opastimen ohi. Opastimet on varustettu suurimman sallitun nopeuden mukaan mitoitetuilla ohiajovaroilla. Lisäksi rataverkon viidessä kohdassa linjalla ja neljässä kohdassa varikolla on vastaava train-stop -laitteisto nopeudenvälvontää varten.

Train-stop -järjestelmä

Rata on jaettu kiinteisiin suojaväleihin, joille ajoa ohjaavat radanvarressa olevat kiinteät valo-opastimet. Kullakin suojavälillä saa olla vain yksi juna kerrallaan. Juna paikallistetaan raidevirtapiirien avulla, joita on useita kullakin suojavälillä. Jos suojavälillä on juna, sitä edeltävä opastin näyttää punaista valoa. Opasteen noudattamista valvotaan pakkopysäytyslaitteella.



Kuva 1 Jos juna 2 ohittaa punaisen opasteen A2, pakkopysäytyslaite (pp) pysäyttää junan pakkojarrutuksella estäen junan 2 ajamisen varatulle suojavälille A2.

Opastimet (pääopastimet) sijaitsevat turvallisen jarrutusetäisyyden, ohiajovaran päässä ennen suojavälille saapumista. Ohiajovarojen pituudet määräytyvät junan suurimman sallitun nopeuden mukaan ottaen huomioon ratageometria ja junan hidastuvuus.

2 Kulunvalvontatekniikan uusimistarve

Metron kulunvalvonnan tekniikka, asetinlaitteet ja käytönohjausjärjestelmä joudutaan uusimaan, ennen kuin metron laajentaminen on mahdollista. Käytössä olevia 60-luvun reletekniikalla toimivia asetinlaitteita ei enää valmisteta, ja jo nyt alkaa niiden varaosien saanti huonontua.

Metrojunien kulkua ohjaavaan käytönohjausjärjestelmään ei ole saatavissa sen toimittajan ylläpitotukea, kun uusi omistaja ei yritystonsa jälkeen katsonut tuen kuuluvan heidän liikeideansa. Käytönohjausjärjestelmässä on asetinlaitteiden laitesijoittelut ja kokoonpanot eikä siihen voida ylläpidon puuttumisen vuoksi tehdä muutoksia. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että koko metron radat, vaihteet, opastimet ja muut laitteet on pidettävä nykyisellään.

Käytönohjausjärjestelmän ylläpitopuutteen vuoksi esimerkiksi Kalasataman metroasema joudutaan toteuttamaan muista asemista poikkeavasti ilman lähtöopasteita ja toimivaa matkustajainformaatiota. Kalasataman aseman matkustajaturvallisuus voidaan hoitaa erityisjärjestelyin, eli mitään turvallisuusriskiä ei kuitenkaan tule olemaan.

Uusi tekninen ratkaisu perustuu elektroniseen asetinlaitteeseen nykyisen relelaitteiston asemasta ja metron varustamiseen jatkuvalla kulunvalvontajärjestelmällä. Uuden järjestelmän on oltava helposti laajennettavissa. Se tulee voida ottaa käyttöön ilman liikennehäiriöitä taloudellisesti ja turvallisesti. Sen on annettava mahdollisuuksia toimintojen rationalisointiin ja ylläpidettävä metron kilpailukykyä.

Uusimisen yhteydessä joudutaan ottamaan kantaa automatisointiasteeseen. Kulunvalvonnan minimi-investointi voidaan toteuttaa niin, että uusittu tekniikka ei sisällä mitään laajennusta automatisoinnin suuntaan. Näin toimien menetetään mahdollisuus saada automatisointi edullisesti ja jäädään ilman automatisoinnin hyötyjä.

Automatisointi uudistaisi metropolvelun perusratkaisun. Nykyisellä kulunohjauksella voidaan juna kuljettaa minimissään 3 minuutin välein. Pitkät kolmen vaunuparin junat hoitavat liikennettä.

Automatisoimalla päästään taloudellisesti jopa 90 sekunnin vuoroväleihin. Junapituudet voidaan puolittaa. Kun junapituudet puolitetaan, voidaan puolittaa myös asemien laituripituudet. Lyhyet asemat on halvempi rakentaa ja ylläpitää.

2.1 Tavoitteet

1. Turvallisuuden tason kohottaminen

- Nopeus pysyy rajoitusten mukaisena jatkuvan valvonnan avulla. Jos nopeusrajoitus uhkaa ylittyä, automatiikka palauttaa junan rajoituksen mukaiseen nopeuteen. Myös vaihteiden ylittämisenopeutta valvotaan.
- Junien ovien toimintaa valvotaan monella tapaa. Asemilla ovet voi avata vain laiturin puolelta ja vain, jos juna on pysähtynyt ja sen jarrut ovat kytkettyinä päälle. Ovet eivät avaudu, jos juna on ajanut ohi aseman tai juna liikkuu. Juna ei myöskään voi lähteä liikkeelle tai liikkua, jos sen ovet eivät ole suljettu.
- Junat pysähtyvät asemilla määrätyille pysähtymispaikoille nykimättä. Pysähtymistarkkuus asemilla on $\pm 0,5$ metriä.
- Opastimien noudattamista valvotaan, mikäli järjestelmään kuuluu opastimet.
- Inhimillisestä erheestä johtuvat virheet vähenevät huomattavasti. Automaattimetrossa riskikerroin on $10^{-9}/h$, kun taas kuljettajan ohjaamassa metrossa kerroin on 10^{-3} – $10^{-4}/h$ (Metro Safety Considerations; J. Schütte, Technische Universität Dresden, ks. liite).

2. Liikenteen sujuvuuden lisääminen

- Junien vuoroväliä voidaan lyhentää pienentämällä junien välimatkaa. Järjestelmässä on mahdollista saavuttaa junien toiminnallinen vuoroväli 90 sekuntia, kun junien pysähdysaika asemalla on 20–30 sekuntia. Vuoroväliä määriteltäessä huomioidaan mm. ratageometria ja linjan nopeusrajoitukset.
- Optimaaliset ajoajat saavutetaan, kun automatiikka huolehtii aikataulun mukaisesta ajosta (mm. käännöt vievät vähemmän aikaa).
- Liikenne on joustavaa. Junat jakautuvat tasaisesti linjalle myös häiriötilanteessa.
- Liikenteen sujuvuus tuntuu myös matkustamossa tasaisempaan ajona.

3. Ajoenergian säästö

- Automaattiajo vähentää ajosähkön tarvetta 10–20 %.

3 Kulunvalvontatekniikan vaihtoehdot

Automaattiajojärjestelmä ATO ajaa junaa kuljettajan kanssa tai ilman jatkuvan kulunvalvontajärjestelmä ATP:n antamien rajoitusten mukaisesti ja pysähtyy asemilla määrätyille pysähdyspaikoille. STO-vaihtoehdossa (Semi-automatic Train Operation) kuljettaja sulkee junan

ovet asemilla, antaa junalle lähtökäskyn ja voi tarvittaessa ajaa junaa. UTO-vaihtoehdossa (Unmanned Train Operation) juna on täysin miehittämätön (ovet sulkeutuvat ja liikkeellelähtö tapahtuu automaattisesti). Järjestelmän käytettävyyden parantamiseksi laitteita kahdenetaan. Jos koko automaattiajojärjestelmä pettää, junat täytyy miehittää.

3.1 Automaattiajo kuljettajan kanssa (STO)

- Junan ATO-laite ajaa junaa kulunvalvonnan valvomana mm. noudattaen kulunvalvonnan antamaa nopeusrajoitusta ja käytönohjauksen antamaa ajotapaa sekä jarruttamalla juna automaattisesti asemalaiturille ohjelmoituun pysähdyspaikkaan. Pysähdyspaikan sijainti asemilla riippuu junan vaunuparien lukumäärästä ja aseman sisään- ja uloskäyntien sijainnista.
- Ovet avautuvat ATP:n valvomana vain laiturin puolelta ja vain silloin, kun kaikki ovet ovat laiturin alueella. Kuljettajalla tai liikenteenohjaajalla on mahdollisuus estää ovien automaattinen avaus kytkemällä ovet käsi- tai matkustajakäyttöön asemakohtaisesti.
- Kaikkialla ajossa otetaan huomioon ratageometria ja nopeusrajoitukset.
- Pysähdystarkkuus asemalle on $\pm 0,5$ metriä.
- Asemalle pysähtyminen tapahtuu nykyksettä, mikä lisää matkustajamukavuutta.
- Kun pysähdysaika on mennyt umpeen, ilmoitetaan signaalilla matkustajille ovien sulkeutumisesta.
- Kuljettaja sulkee ovet.
- Ovien turvareunaa valvotaan ja lähtö estyy, jos välissä tunnistetaan esine.
- Kuljettaja käyttää kuolleen miehen kytkintä.
- Kuljettaja antaa junalle lähtökäskyn saatuaan junan ohjauspaneelin kautta siitä järjestelmän antaman lähtöluvan.

3.2 Täysin miehittämätön ajo (UTO)

Muuten samanlainen kuin STO, paitsi

- juna on kytketty kuljettajattomaan automaattiajokäyttöön, jolloin ovet sulkeutuvat automaattisesti
- ohjaamossa ei käytetä kuljettajan turvalaitetta (kuolleen miehen kytkintä)
- junan lähtökäsky tulee junan ulkopuolelta ATC-keskuslaitteen kautta (keskusvalvosta tai asemalaiturilla olevasta kiinteästä tai kannettavasta ohjauslaitteesta).

Muita lisävaatimuksia:

- asemien laituriosuuksien valvontajärjestelmä
- junien sisätilojen videovalvontajärjestelmä
- junien esteenraivaajiin liitettävä tunnistin
- liitettä metron tunnelien palovalvontajärjestelmään
- junien sisätilojen palohälytysjärjestelmä
- uusi radiojärjestelmä
- junien määränpäänäyttölaite, asemien kuulutusjärjestelmä ja asemannäyttölaite
- junan sisäisten vikatietojen välittäminen
- junan matkustamon hätäjarrutoiminnan muuttaminen.

4 Hankkeen tekninen määrittely

Hankkeen tekninen kuvaus, katso myös kuvat 1 ja 2 seuraavilla sivuilla.

Järjestelmä jakautuu

1. valvomossa oleviin laitteisiin
2. laitetoissa oleviin laitteisiin
3. tiedonsiirtolaitteisiin
4. radalla oleviin laitteisiin
5. junassa oleviin laitteisiin.

1. Valvomolaitteet

Käyttöpaikat (3 kpl), näyttöpäätteet ja kirjoittimet, käyttöpaikalta seurataan ja ohjataan koko metroverkon liikennettä, hoidetaan häiriötilanteet sekä tarvittavat aikatauluasetukset.

2. Keskus- ja aluetietokoneet

- käytönohjaustietokoneet (ATS-tietokoneet)
- asetinlaitteet
- kulunvalvontatietokoneet (ATP-tietokoneet)
- radiolaitteet

3. Tiedonsiirtolaitteet, sijaitsevat

- laitetoissa
- radalla
- junissa

4. Radalla olevat laitteet

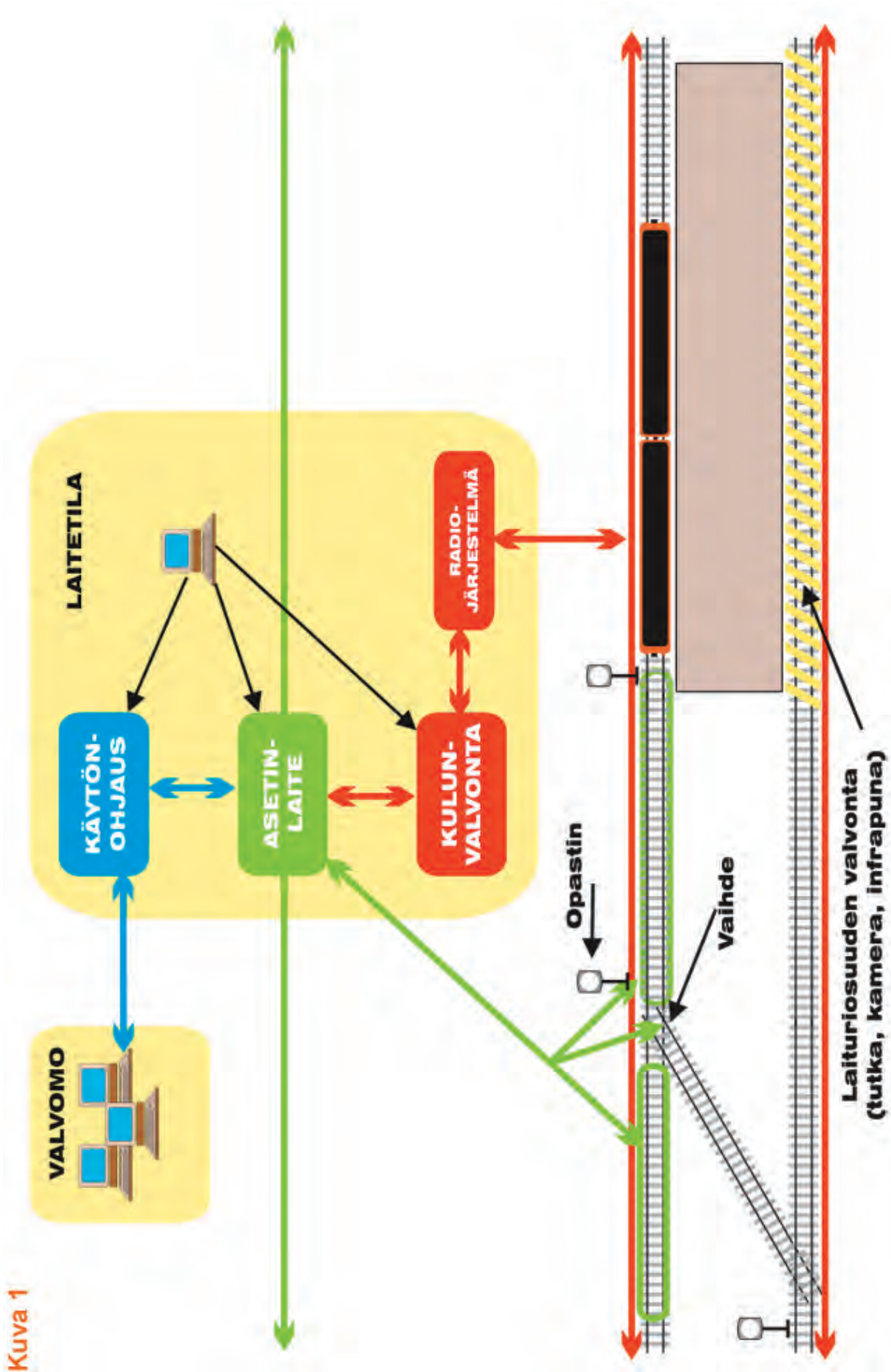
- baliisit (junan paikan tarkennuspisteet)
- radiokaapeli / tarvittavat tukiasemat
- vaihteet, opastimet, vaihteenkääntölaitteet

5. Junassa olevat laitteet

- automaattinen kulunvalvontalaitteisto
- automaattiajolaitteisto (ATO-tietokoneet)
- ohjauspaneeli kuljettajaa varten
- junan paikannuslaitteet (mm. takometrit, baliisilukijat)
- junan radiolaitteet

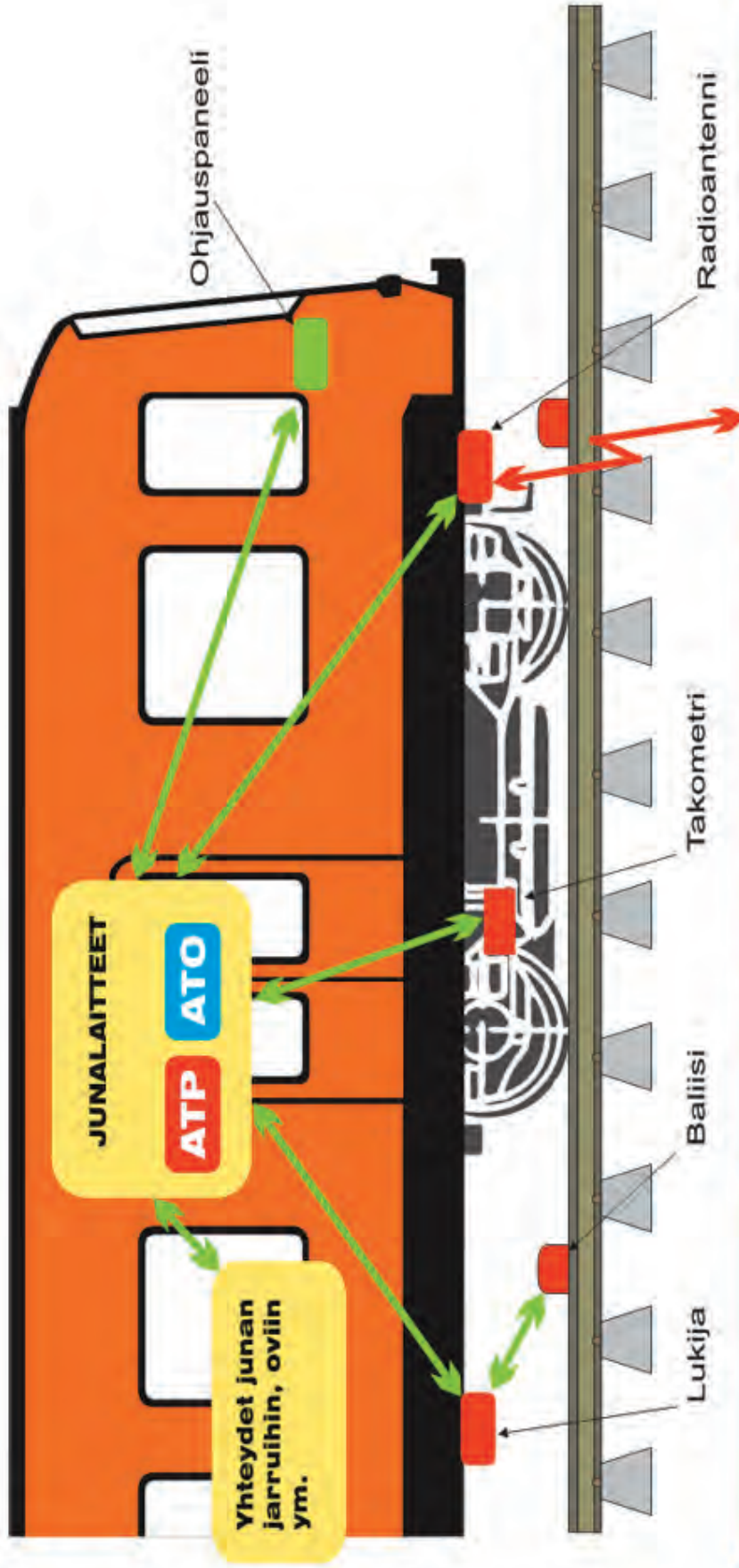
Junasta ja sen sijainnista siirretään jatkuvasti tietoa keskuslaitteistolle junassa olevan antennin ja radiokaapelin tai vapaasti kulkevan radioyhteyden avulla. Kulunvalvontatietokone on radion kautta yhteydessä juniin ilmoittaen niille suurimmat sallitut nopeudet turvallisen välimatkan ylläpitämiseksi. Junan ajotietokone ajaa junaa ATP:n valvomilla nopeuksilla, joilla taataan turvallinen junien välinen etäisyys.

Käytönohjausjärjestelmällä (ATS) automatisoidaan aikatauluun liittyvät toiminnot, ohjataan matkustajainformaatiota ja säädellään ajoa häiriötilanteissa. Käytönohjausjärjestelmän avulla voidaan käyttää aikatauluvarauksia hyväksi ajoenergian säästöön.



Kuva 1

Kuva 2



Radiokaapeli tai vapaasti kulkeva radioyhteys

5 Toimittajavalinnan kriteerit

Toimittaja, jonka kanssa tehdään sopimus, valitaan käyttäen seuraavia perusteita (lueteltu alenevasti tärkeysjärjestyksessä):

1. hinta
2. tekniset ominaisuudet ja referenssit
3. käytettävyys
4. liikenteen häiriöttömyys asennusten ja testien aikana
5. muunneltavuus
6. huollettavuus
7. takuukorjausten järjestäminen
8. toimittajan tekninen tuki
9. laajennettavuus.

Ylläluetellut perusteet on painotettu ja kohdan 2 tekniset ominaisuudet on jaettu useampaan alakohtaan:

- a. järjestelmä
- b. varajärjestelmä
- c. riippuvuus raidevirtapiireistä
- d. yöajo
- e. sekakäyttö
- f. asetinlaitteet
- g. radiojärjestelmä
- h. paikannustarkkuus
- i. sovitukset nykytiloihin
- j. järjestelmän selkeys ja muut tekniset ominaisuudet.

Yhteenvedo Helsingin metron turvallisuustarkastelusta

Helsingin metrolienteessä esiintyvät uhat (yleinen kartoitus tehty raportissa olevan ”uhka-puun” muodossa) voidaan poistaa lisäämällä suojaustoimintoja.

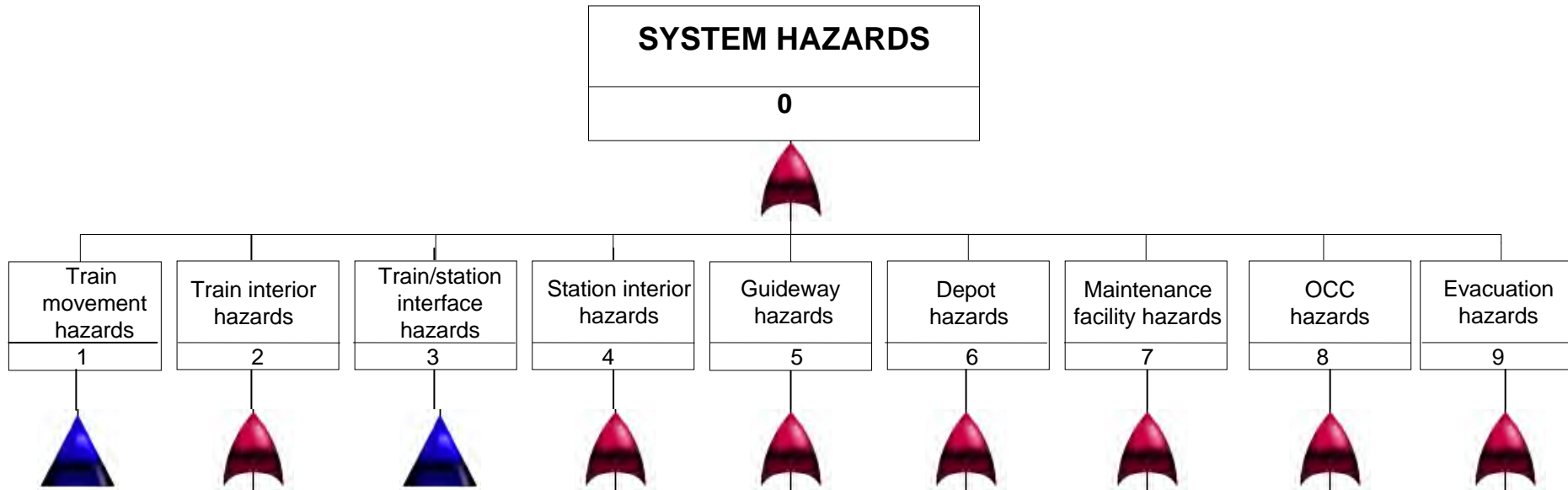
Helsingin metron nykyisessä käsinajojärjestelmässä suurimman sallitun ajonopeuden valvonta, ovitoiminnat, vanhanaikaiseen suojastusjärjestelmään liittyvät ongelmat ja järjestelmän vikatilanteisiin liittyvät poikkeustoiminnat suoritetaan kuljettajan vastuulla, jolloin inhimillisen virheen esiintymistajuus on $10^{-3} - 10^{-4}/h$.

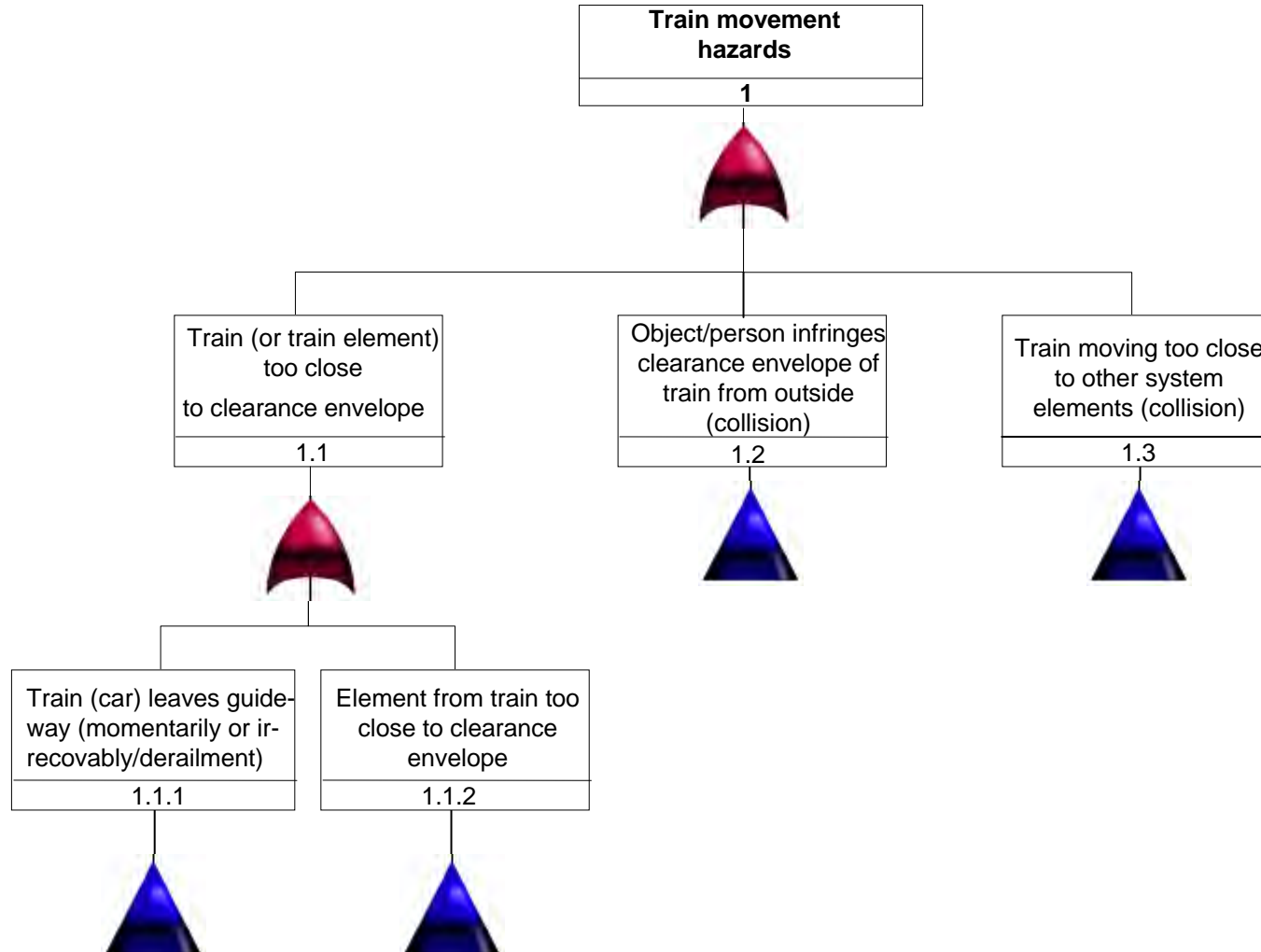
Helsingin metrossa vaaratilanteen mahdollisuus ajettaessa noin 100 000 junatuntia vuodessa on suuruusluokaltaan 10/vuosi. 55:ttä miljoonaa vuosittain tehtyä matkaa kohti riskin mahdollisuus on noin 10^{-7} matkustajatuntia kohti.

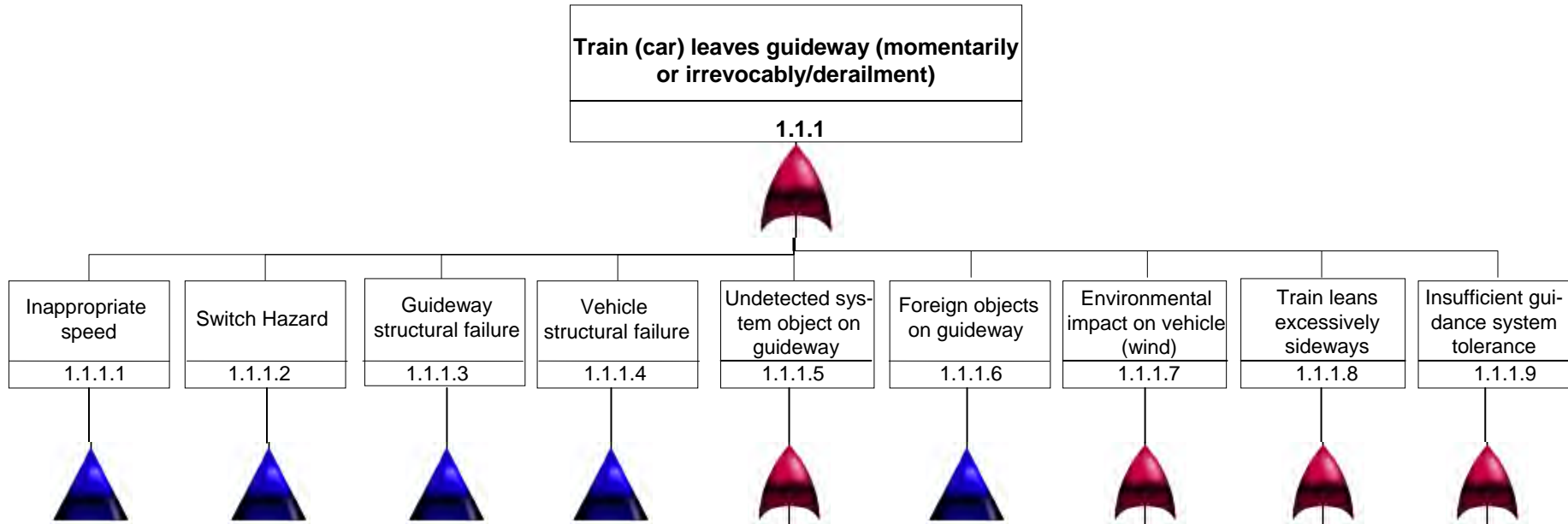
Kriittiset toiminnot, kuten suurimman sallitun ajonopeuden valvonta, ovitoimintojen turvaaminen ja suojaus junien yhteenajoa vastaan voidaan valvoa nykyaikaisella jatkuvalla kulunvalvontajärjestelmällä (ATP) ja automaattiajojärjestelmällä (ATO), jotka joko tukevat kuljettajaa automaattiajossa kuljettajan kanssa (STO) tai toimivat itsenäisesti miehittämättömässä automaattiajossa (UTO) erittäin suurella turvallisuustasolla, joka on suuruusluokkaa $10^{-9}/h$.

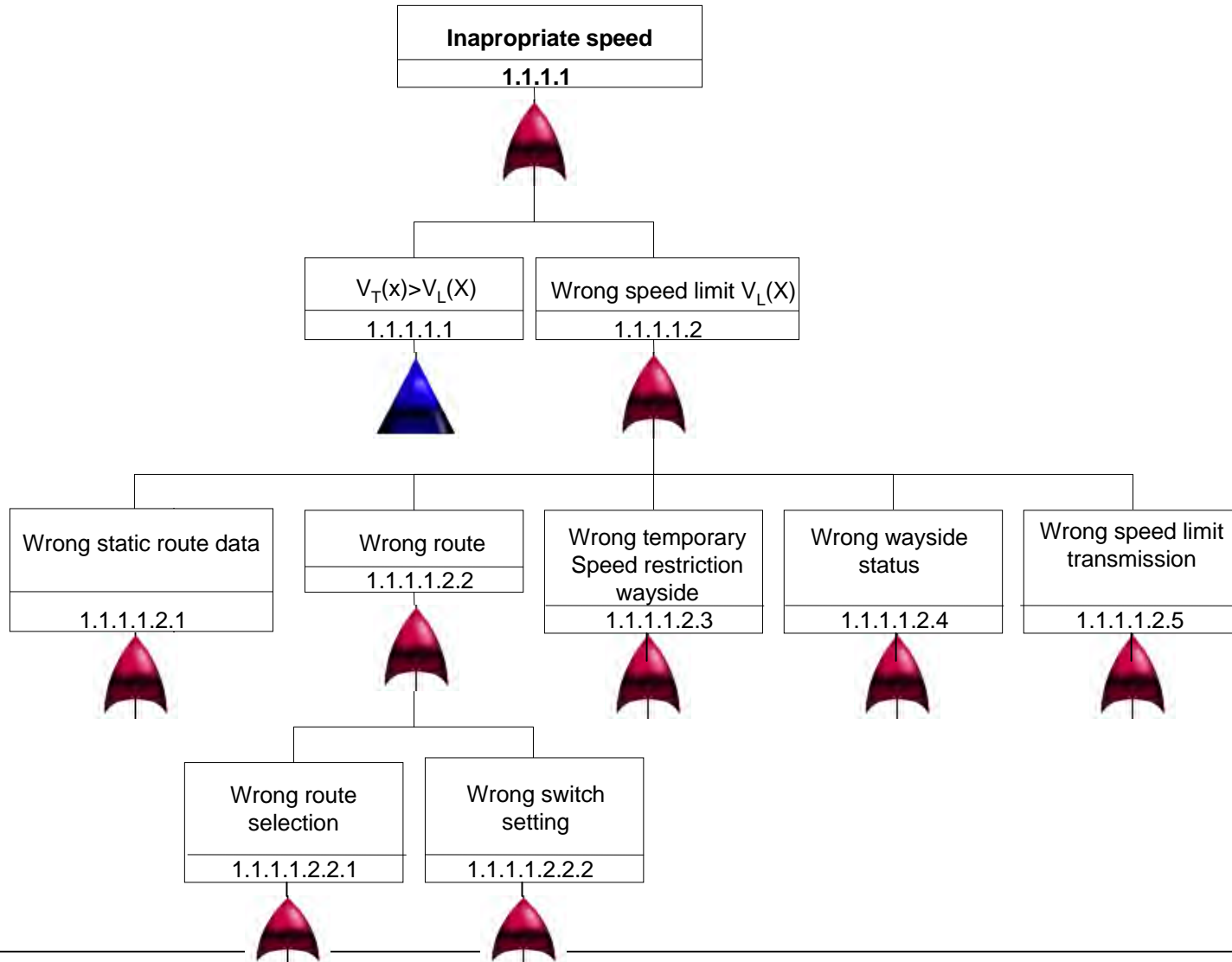
Metro_Safety_Considerations

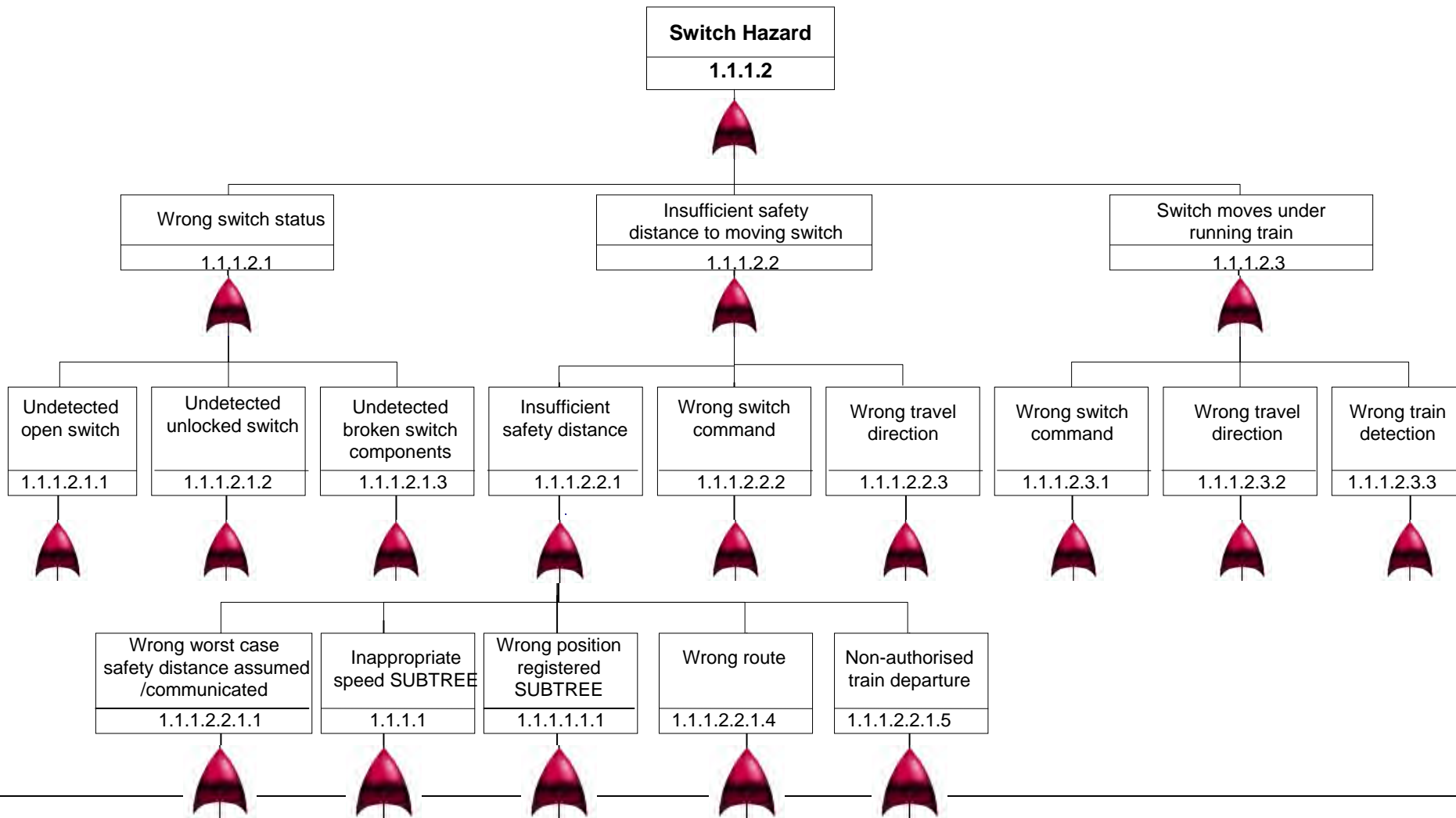
- Generic Hazards Tree of Metro Operation need to be covered by protection functions (see below)
- In Manual (Driver) Operation (Helsinki), Overspeed Protection, Passenger Exchange, Outdated Block Designs and Degraded System/Failure Management is covered by Drivers with a human factor failure rate of 10^{-3} - 10^{-4} /h
- With increasingly dense and performant Metro operation like Helsinki and with $\sim 10^5$ Train*Hours pa., a potential of typically 10 incidents per year can develop. For 55 Mio Passengertrips pa. the resulting residual risk can be $\sim 10^{-7}$ /Passenger Hour (compared to target of 10^{-8} /Ph or Minimal Endogenous Mortality of $\sim 10^{-8}$ /h in EUR)
- Critical Functions like Continuous Overspeed Protection, Door/Passenger Exchange Safety, Collision Protection are covered by modern Continuous ATP/ATO systems to support the driver in STO or autonomous in UTO with extremely high safety level (10^{-9} /h). Safety Functions List below.
- Economy: Safety Update with increasing performance shall have no price!
(However: CBA Analysis with British numbers (eg. ~ 2 Mio. € „cost of life“) could justify however > 3 Mio. € per Year (eg. as depreciation equivalent)

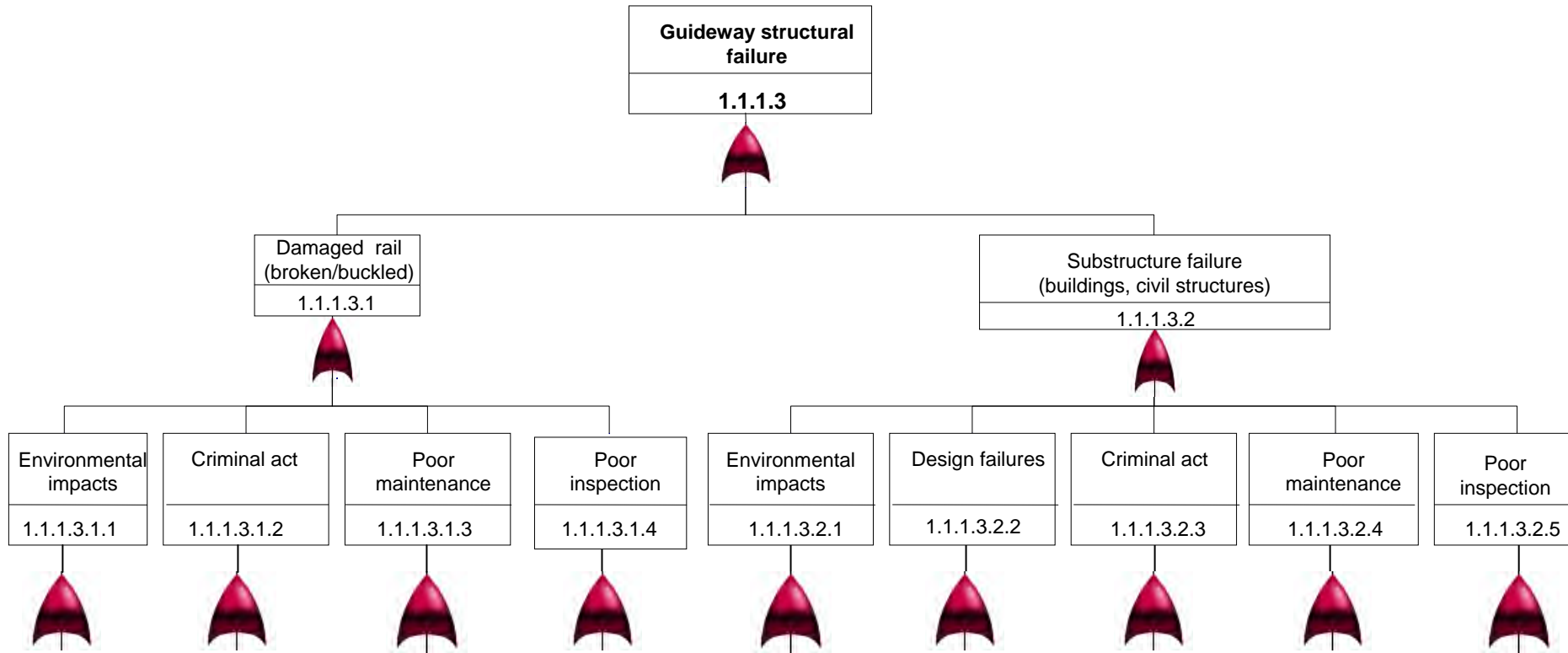


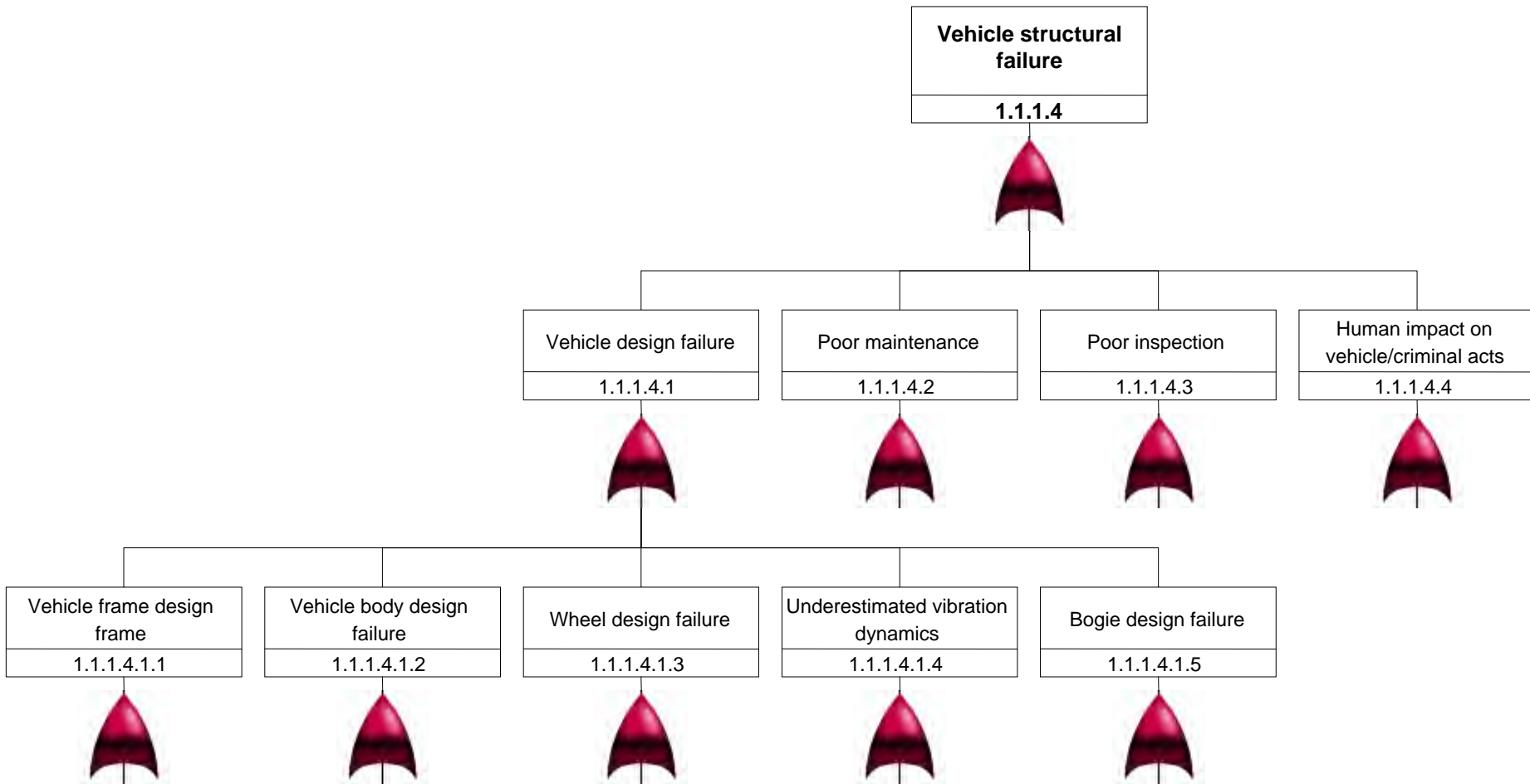


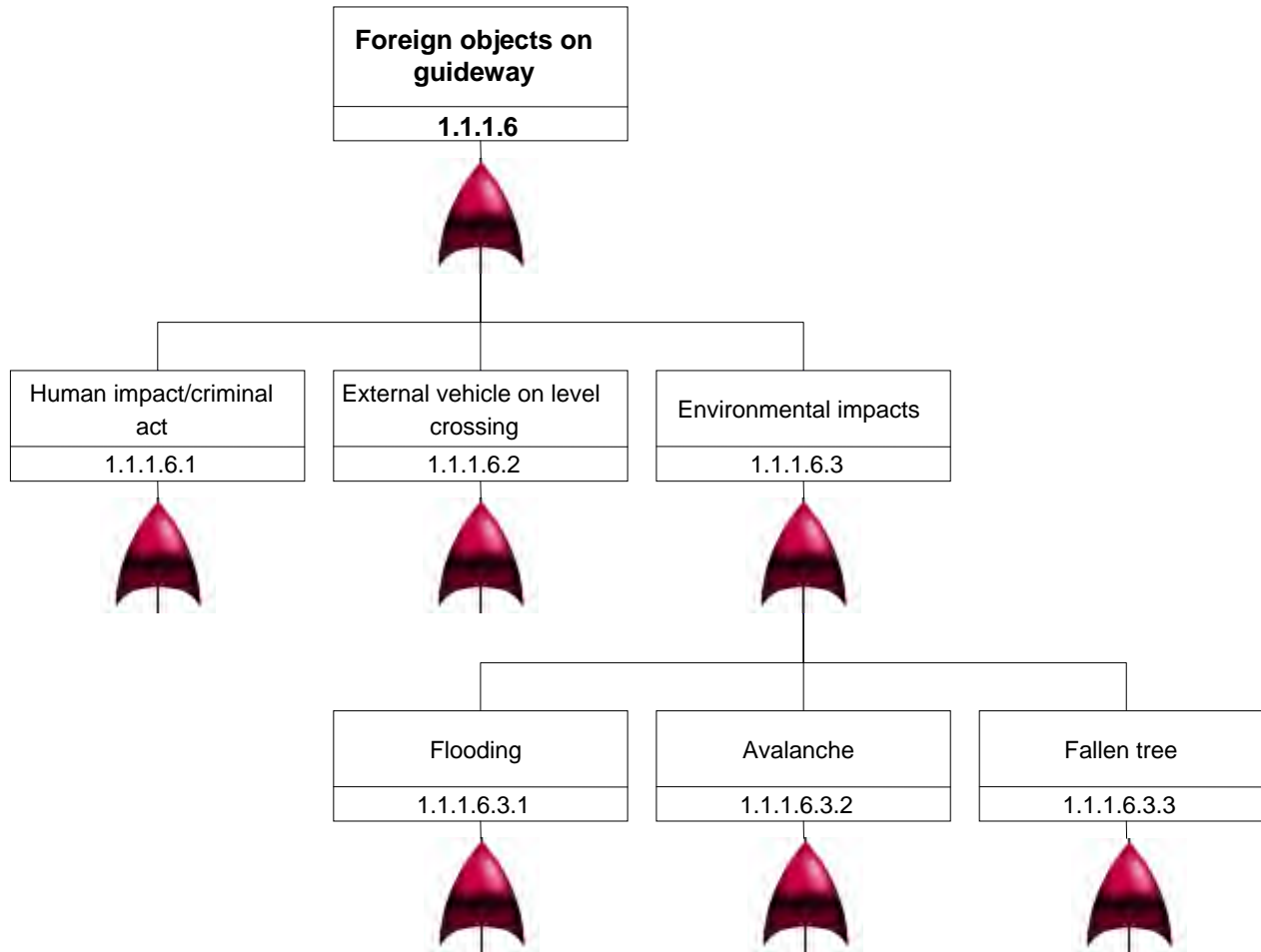




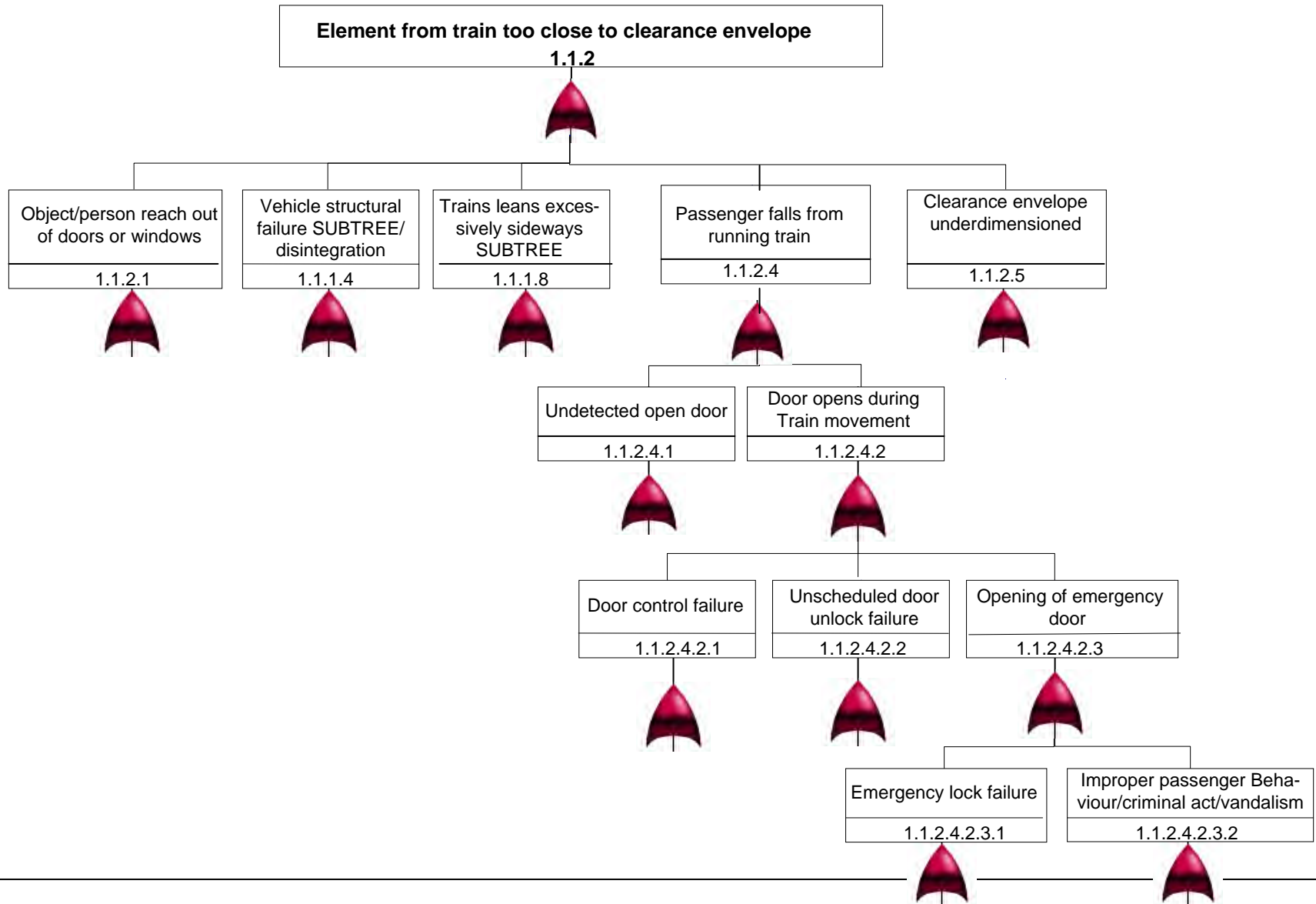


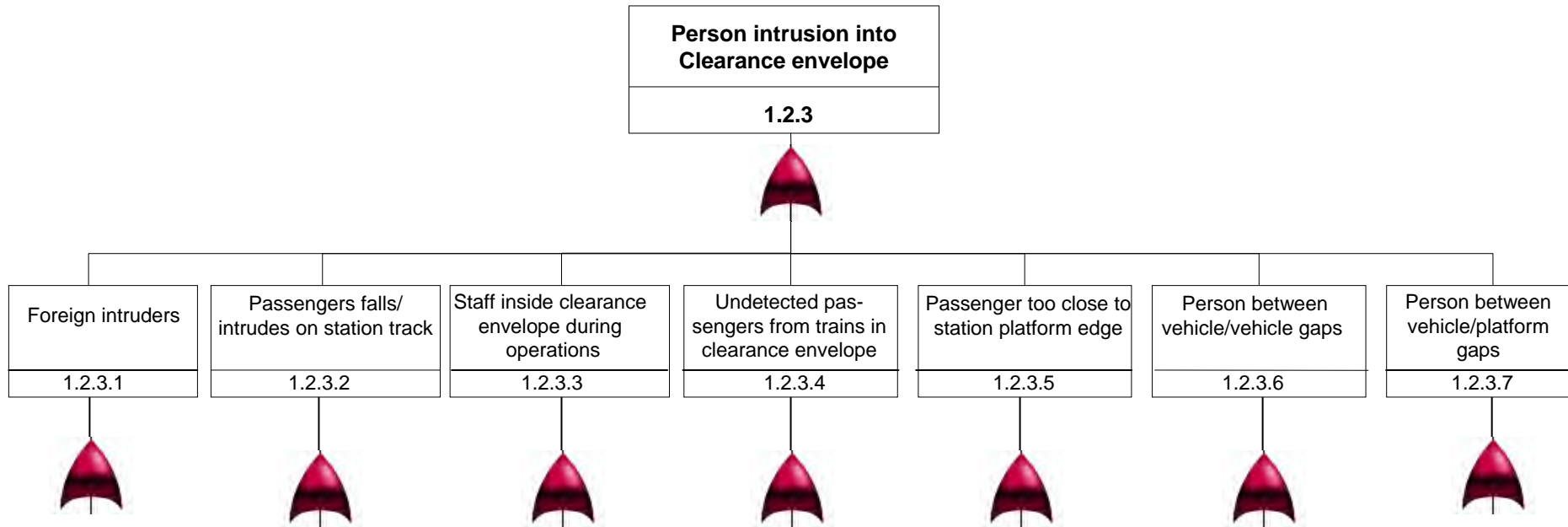


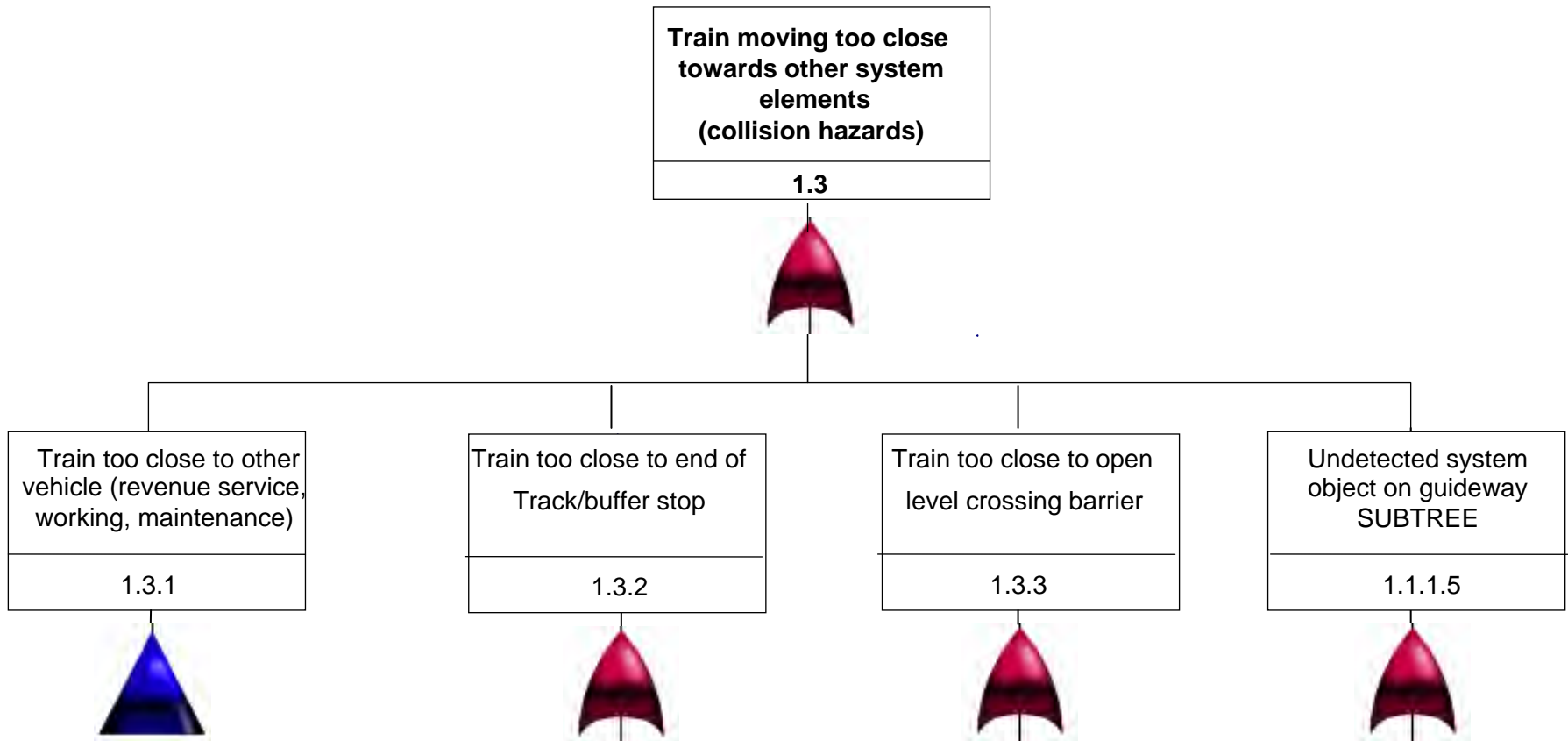




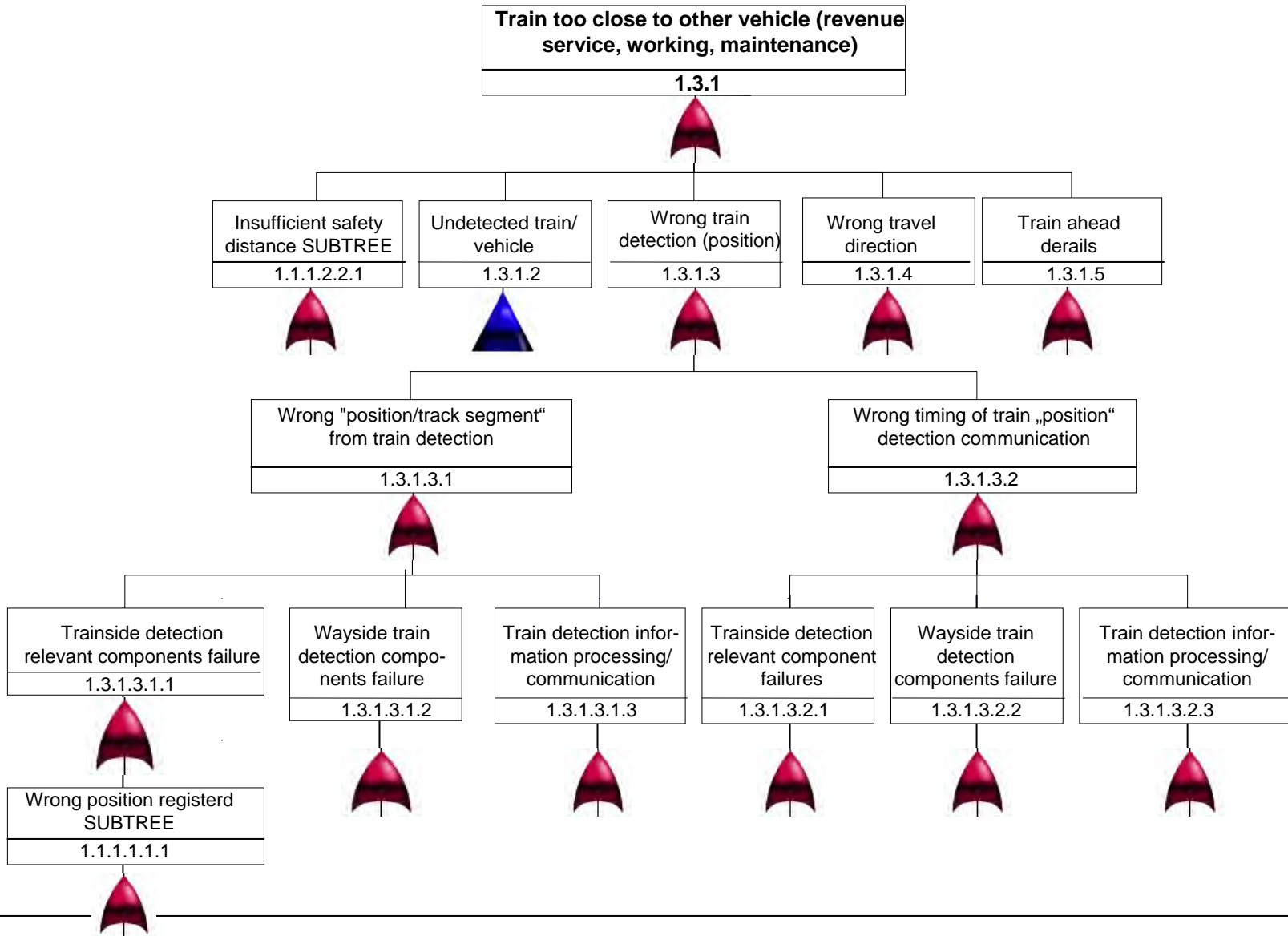
Metro – PHA

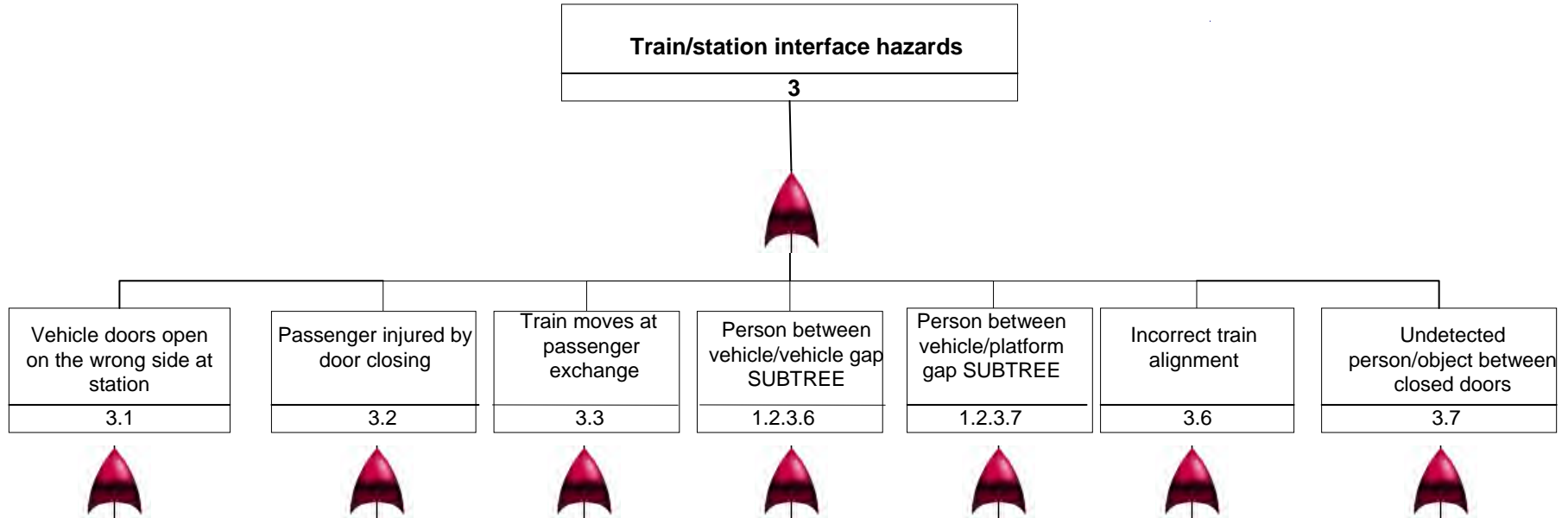






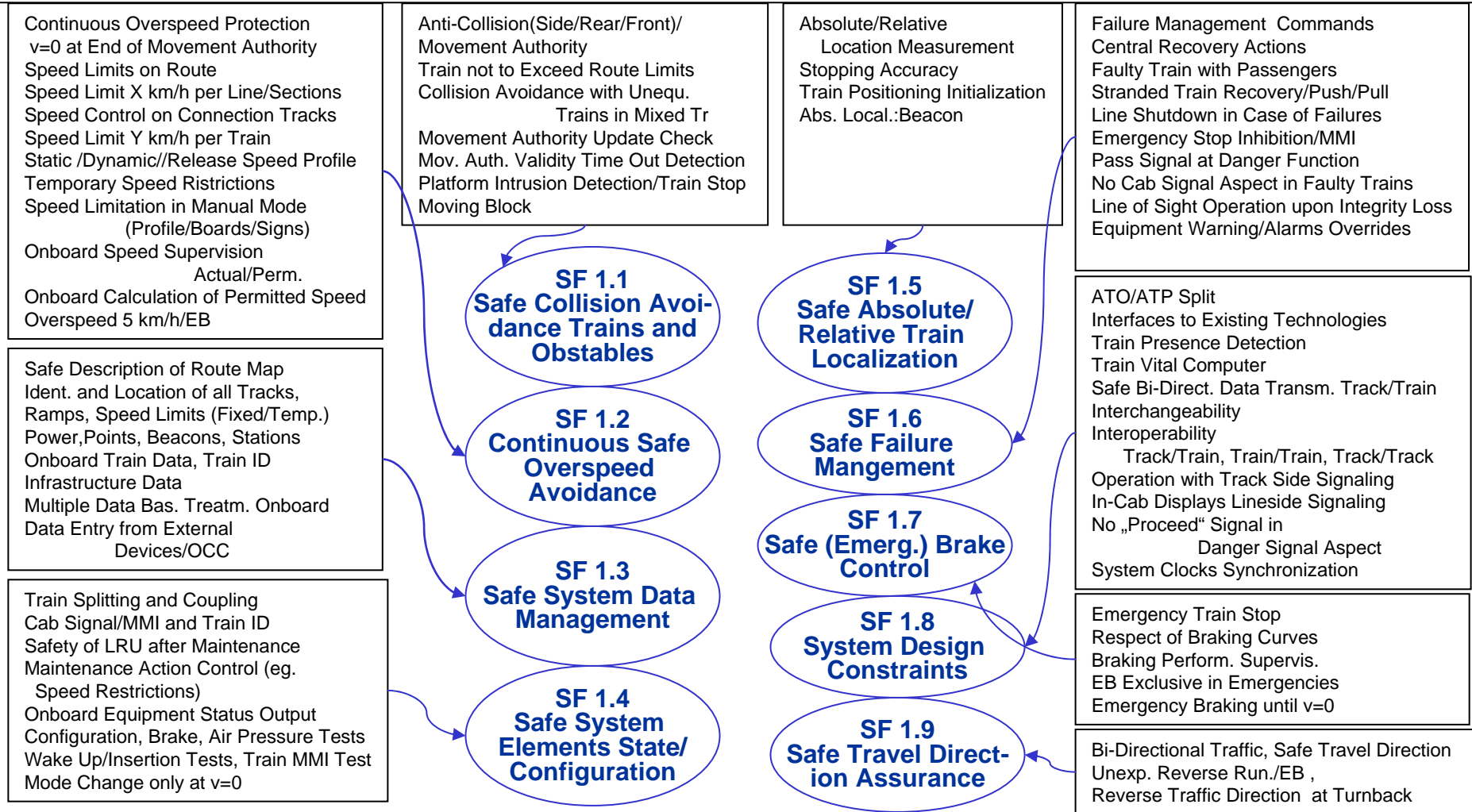
Metro – PHA



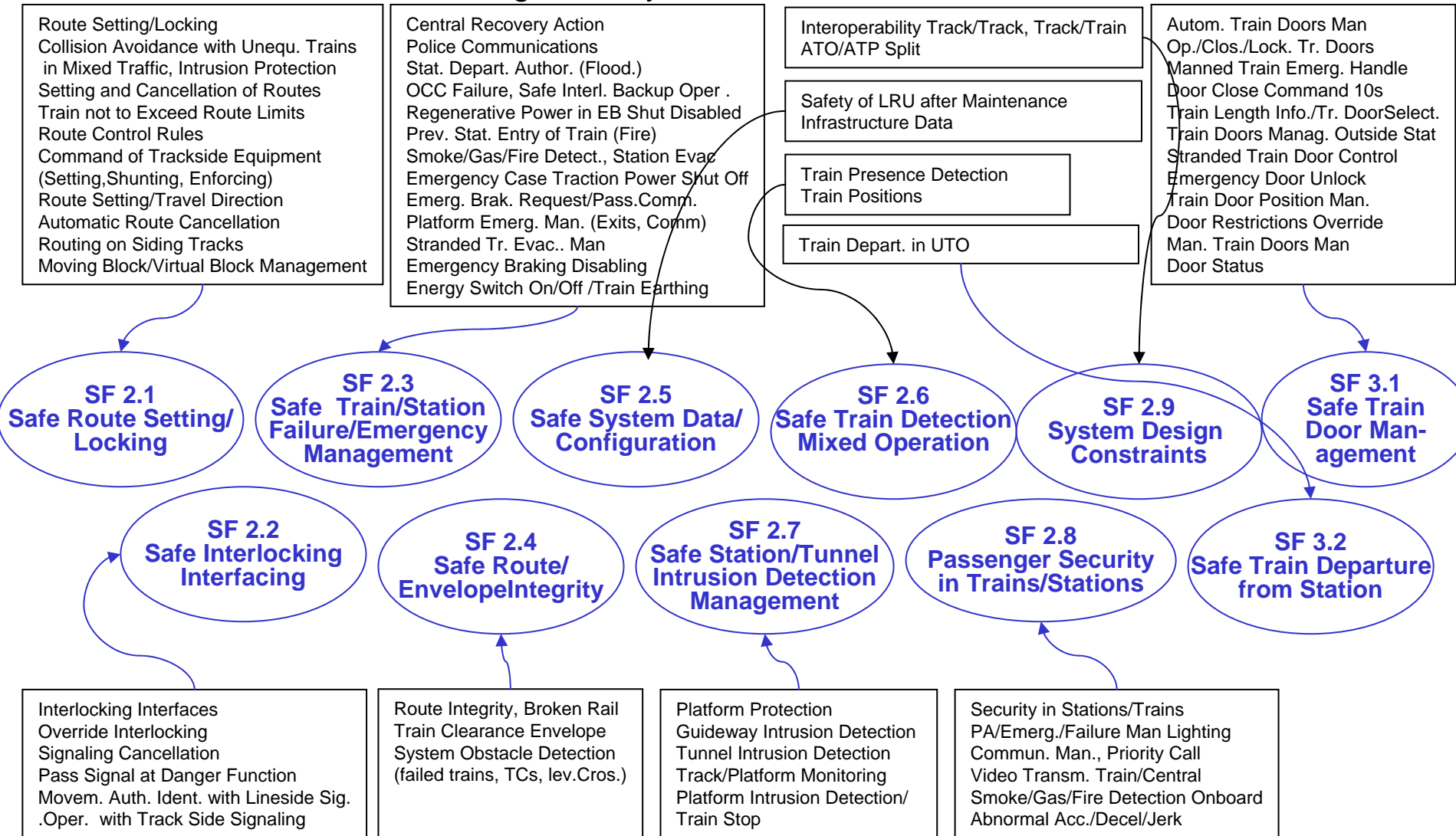


SF1 Train Protection:

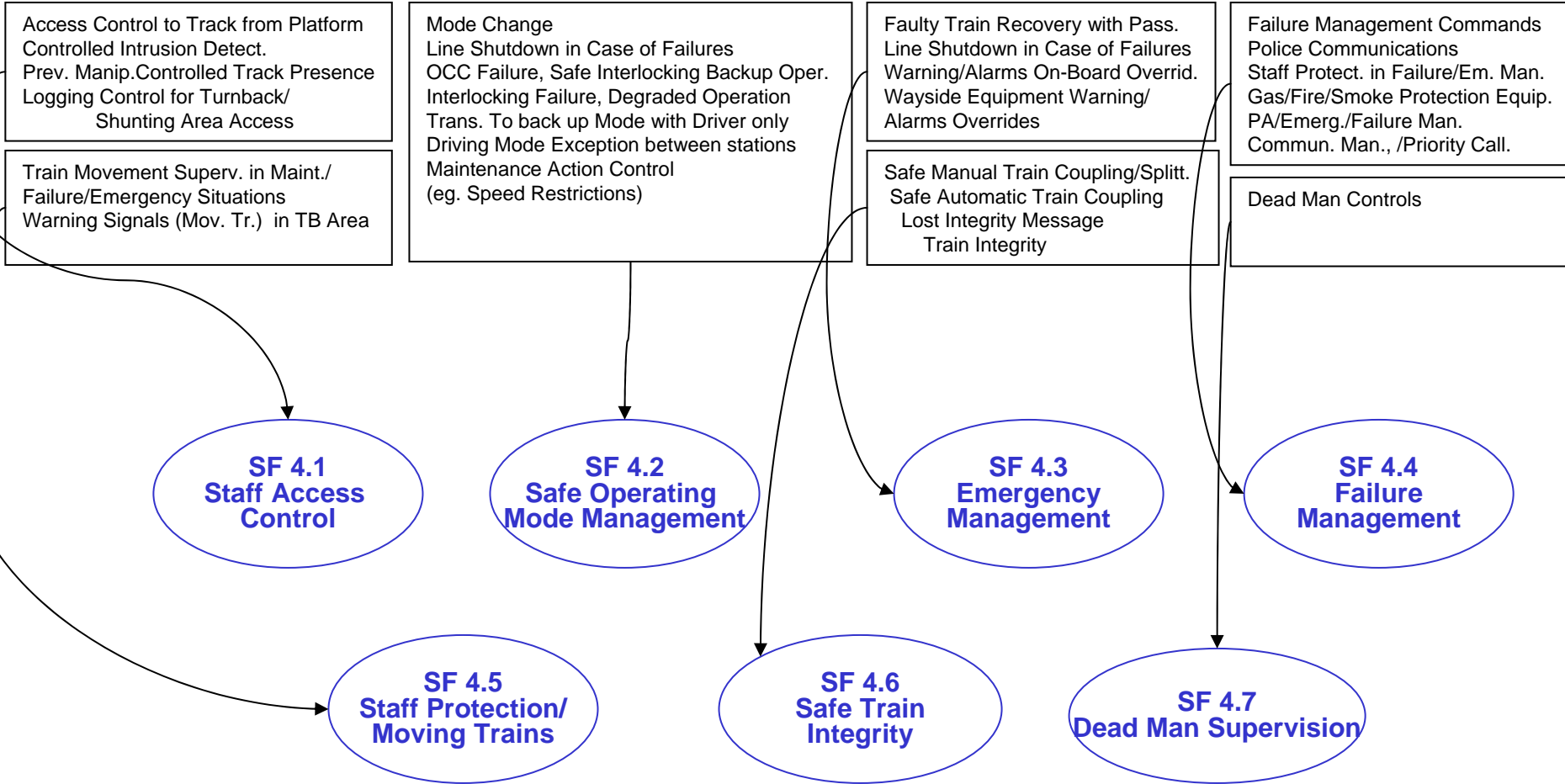
Functions that ensure, that no train is running faster than the speed actually permitted and that no train is leaving it's permitted/secured route (eg. end of preceding train $v_{permitted}=0$)



SF2 Route Protection/SF3 Passenger Safety/Protection:



SF4 Staff Safety/Protection, SF5 Train Integrity, SFx



HKL:n julkaisusarja C

- 5/2005 Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen
Osaraportti 4, Toteutetut automaattimetrot
- 4/2005 Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen
Osaraportti 3, Automatisointivaihtoehtojen vaikuttavuus
- 3/2005 Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen
Osaraportti 2, Hankkeen liikenteelliset vaikutukset
- 2/2005 Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen
Osaraportti 1, Hankkeen tekninen kuvaus
- 1/2005 Metron kulunvalvontatekniikan uusiminen
- 1/2004 Metro Pasilasta eteenpäin
Ajatuksia Helsingin joukkoliikenteen kehittämiseksi -sarja
- 2/2003 Automatisoitu metro
Ajatuksia Helsingin joukkoliikenteen kehittämiseksi -sarja
- 1/2003 Jokeri II
Ehdotus uudeksi poikittaiseksi runkolinjaksi
Ajatuksia Helsingin joukkoliikenteen kehittämiseksi -sarja

