

Vaarallisten aineiden kuljetusten tunneliturvallisuusmallit

ESIPUHE

Kansainvälisiä vaarallisten aineiden kuljetusten tietunnellisäännöksiä pyritään harmonisoimaan. Sekä EU-komissiossa että YK:n ECE:n alaisissa ADR-kokouksissa (WP.15) valmistellaan tietunnellisäännöksiä. OECD:n ja PIARC:n yhteinen työryhmä on saanut valmiiksi tutkimusprojektinsa tietunneleista liittyen vaarallisten aineiden kuljetukseen. Projektin lopputulokset on julkaistu OECD:n raportissa "Safety in Tunnels- Transport of Dangerous Goods through Road Tunnels".

Tämä tutkimus tunneliturvallisuusmallinnuksen soveltuvuudesta Suomen olosuhteisiin on jatkoa Liikenne- ja viestintäministeriön tutkimukselle (31/2001), jossa selvitettiin vaarallisten aineiden kuljetuksiin liittyviä tietunnelimääräyksiä ja rajoituksia Euroopassa. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää OECD:n ja PIARC:n yhteisen työryhmän kehittämien riskin arviointi- ja päätöksentekomallin (QRAM ja DSM-malli) soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin huomioiden myös mahdolliset direktiiviehdotukset ja muut suositukset aiheesta.

Työtä ohjasi johtoryhmä, jonka puheenjohtajana toimi liikenneneuvos Seija Miettinen Liikenne- ja viestintäministeriöstä ja muina jäseninä yli-insinööri Liisa Virtanen ja ylitarkastaja Mari Makkonen Liikenne- ja viestintäministeriöstä sekä dipl.ins. Pauli Velhonoja Tiehallinnosta ja DI, DE Kristian Appel Traficon Oy:stä. Johtoryhmän sihteerinä toimi DI Tomi Ristola Traficon Oy:stä.

Selvitys tehtiin konsulttityönä Traficon Oy:ssä, jossa työhön osallistuivat DI Tomi Ristola, DI, DE Kristian Appel sekä DI Mari Päätaalo. Lisäksi alikonsulttina työhön osallistui on tanskalainen COWI A/S, jossa vastuuhenkilönä oli Niels Peter Høj.

Helsingissä 24.10.2003

Seija Miettinen
Liikenneneuvos

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	13
1.1	Tunneliturvallisuus	13
1.2	Riskien vähentäminen liikennettä rajoittamalla	13
2	KUVAUS VAARALLISTEN AINEIDEN TIEKULJETUKSIIN LIITTYVISTÄ SÄÄDÖKSISTÄ	14
3	NYKYTILANNE SUOMESSA	14
4	TUNNELEIDEN SUUNNITTELUOHJEET JA –MÄÄRÄYKSET.....	15
5	QRAM- JA DSM-MALLIEN KUVAUS JA SOVELLUSALUE	18
5.1	Nykyiset säännökset ja käytäntö.....	18
5.2	Ehdotetut strategiat ja ryhmittely	18
	Tunnelikuljetuksissa kielletyt aineet	18
5.3	Mallin rakenne (päätöksentekoprosessi).....	18
5.4	Riskianalyysi (QRAM).....	19
5.5	Tulokset	21
5.6	Päätöksentekoa tukeva malli (DSM, Decision Support Model).....	22
	5.6.1 Menetelmäkehys	23
	5.6.2 Päätösvaihtoehdot.....	23
	5.6.3 Päätöksentekomallien tavoitteet	24
	5.6.4 Riskien arvottaminen.....	25
	5.6.5 Tekijöiden painottaminen	25
	5.6.6 Päätöksentekomallien rajoitukset	25
6	MALLIEN LÄHTÖTIEDOT JA TULOSTEET.....	26
6.1	Riskianalyysimallin lähtötiedot.....	26
6.2	Tiedonsiirto QRA-mallista DSM-malliin	27
6.3	DSM-mallin lähtötiedot	28
	6.3.1 Päätöksentekomenetelmän valinta.....	28
	6.3.2 QRA-mallista DSM-malliin siirrettävät tiedot	28
	6.3.3 Lähtöarvojen syöttäminen	29
7	PÄÄTÖKSENTEKOPROSESSIN TULOSTEN TULKINTA	29
8	TULOKSET.....	30
8.1	Tulosten rakenne	30
8.2	Lähtöoletusten dokumentointi	30
8.3	Tulokset.....	31
9	SOVELLUKSISTA SAADUT KOKEMUKSET JA PALAUTE	34
9.1	QRA-mallin arviointi	34
9.2	DSM-mallin käyttö.....	34
9.3	Kansainväliset säännökset.....	35
10	JOHTOPÄÄTÖKSET	36

- Liitteet
1. OECD:n mallissa käytetty kuljetusten ryhmittely aineiden ADR-luokan mukaisesti
 2. Päätöksenteon prosessikaavio

1 JOHDANTO

1.1 Tunneliturvallisuus

Tunnelit muodostavat tärkeän osan tiestverkosta ja liikennemäärien kasvaessa jatkuvasti myös tunneleiden läpi kulkeva liikenne kasvaa. Vaikka liikenneturvallisuus tunneleissa on parempi kuin avoimilla tieosuuksilla, on tunneleiden turvallisuus silti ajankohtainen aihe. Pääsyy tunnelionnettomuuksien saamalle huomiolle ovat tunnelionnettomuuksien vakavat seuraukset. Kuolemantapauksien määrä, materiaalivahingot ja muut suorat kustannukset voivat tunnelionnettomuudessa nousta merkittävästi suuremmiksi kuin muulla tiellä sattuneessa vastaavassa onnettomuudessa.

Vaarallisten aineiden kuljetuksien (VAK) yhteydessä tapahtuvat onnettomuudet voivat aiheuttaa vakavia seurauksia, joten VAK-onnettomuuksien ehkäiseminen on erittäin tärkeää. Tätä varten onkin luotu monipuolinen joukko säädöksiä, joilla säännellään vaarallisten aineiden kuljetuksia. Kuljetusrajoitukset, pysyvät tai tiettyihin aikoihin rajatut, ovat yksi keino pienentää VAK-onnettomuusriskiä.

Päätöksenteon perustaksi on tärkeää määritellä riskit, jotka liittyvät vaarallisten aineiden kuljetuksiin tunneleissa ja tunneleiden ulkopuolella. Joissain tapauksissa suurimman hyväksyttävissä olevan onnettomuusriskin rajat on määritetty ja päätökset tulee tehdä riskirajat huomioiden. Myös turvalaitteiden käytön tehostamisen vaikutukset riskeihin tulee huomioida.

1.2 Riskien vähentäminen liikennettä rajoittamalla

Kuljetettavat vaaralliset aineet on määritelty ADR¹-sopimuksessa (eurooppalainen vaarallisten aineiden kansainvälisiä tiekuljetuksia koskeva sopimus).

Vaarallisia aineita kuljettavien raskaiden ajoneuvojen onnettomuudet ovat usein vakavia. Tältä osin tunneleiden turvallisuutta voidaan parantaa rakenteellisilla muutoksilla sekä mekaanisilla ja elektronisilla turvalaitteilla. Tunneleiden turvallisuutta voidaan parantaa myös liikennesäännöillä, nopeusrajoituksilla ja rajoittamalla tiettyjen aineiden kuljetuksia.

Myös vaarattomiksi luokitellut aineet, joiden kuljetuksia tunneleissa ei voida kieltää, voivat aiheuttaa vakavia seurauksia tunnelionnettomuuksissa. Tätä väitettä tukee se tosiasia, että vaaralliset aineet eivät ole olleet osallisena viime vuosien vakavimmissa tunnelionnettomuuksissa.

Kuljetusrajoitusten asettaminen tietyn tyyppisille aineille voi aiheuttaa perusteettomia lisäkustannuksia. Lisäksi riskit vaihtoehtoisilla reiteillä lisääntyvät. Siksi onnettomuuksien kokonaisriski voi joissain tapauksissa jopa kasvaa tunnelikuljetuksien rajoittamisen myötä.

¹ European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road

Siksi tunnelien kuljetusrajoituksista päätettäessä tulee asiaa tarkastella yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta. Huomioon on otettava liikenneturvallisuus tunneleissa ja vaihtoehtoisilla reiteillä sekä onnettomuuksien yhteiskunnalliset kustannukset, kiertoteiden aiheuttamat ajokustannukset, ympäristövaikutukset jne.

2 KUVAUS VAARALLISTEN AINEIDEN TIEKULJETUKSIIN LIITTYVISTÄ SÄÄDÖKSISTÄ

Suomessa VAK-lainsäädäntö perustuu kansainvälisiin sopimuksiin ja Euroopan yhteisön puitedirektiiveihin. Liikenne- ja viestintäministeriölle (LVM) kuuluu säännösten valvonnan ylin johto ja ohjaus vaarallisten aineiden kuljetuksessa tiellä, rautateillä, ilma- ja vesiliikenteessä.

Vaarallisten aineiden kuljetuksiin ei tarvita erityislupia, vaan säädösten avulla pyritään siihen, että vaarallisten aineiden kuljetukset hoidetaan turvallisesti.

Kotimaan liikenne:

Vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä on säädetty vaarallisten aineiden kuljetuksesta annetulla lailla (719/1994) ja sen nojalla annetuilla asetuksilla, joita ovat esimerkiksi valtioneuvoston asetus (194/2002) ja ministeriön asetus vaarallisten aineiden kuljetuksesta tiellä (277/2002).

Asetuksen 277/2002 liitteet jakaantuvat osiin 1-9 (liitteet A ja B) sekä osaan 20 (liite C), joissa säännökset koskevat vaarallisten aineiden tiekuljetusten eri aihepiirejä. Asetus sisältää yksityiskohtaiset säännökset mm. vaarallisten aineiden luokituksista, pakkauksista, tarvittavista asiapapereista, ajoneuvojen hyväksynnästä ja varusteista, ajoluvasta, vapaarajoista, sekä rahtikirjan, pakkausten ja ajoneuvon merkinnöistä.

Kansainvälinen liikenne:

Kansainvälisissä vaarallisten aineiden tiekuljetuksissa Euroopassa noudatetaan kansainvälistä ADR-sopimusta, joka on pieniä poikkeuksia lukuun ottamatta yhteneväinen kansallisten VAK-määräysten kanssa. ADR-sopimukseen liittyneitä valtioita on tällä hetkellä 38.

3 NYKYTILANNE SUOMESSA

Suomessa tieliikennetunneleita on toistaiseksi melko vähän, valmiina yksitoista. Nämä ovat kaikki lyhyitä. Pisin tunneli on Espoossa, Kehä II:n Hiidenkallion tunneli, jonka pituus on 485 metriä.

Suunnitteilla on lukuisia tunneleita. Näistä merkittävimpiä ovat Porvarinlahden tunneli Vuosaaren satamaan, Mestarintunneli Kehä I:lle Leppävaarassa, Helsingin keskustatunneli, Parainen-Nauvo-yhteyden tunneli sekä useat tunnelit Vt1:n uusilla moottoritieosuuksilla. Näistä tunneleista monet ovat yli kilometrin pituisia.

Vaarallisten aineiden kuljetusmääriä ja reittejä kartoitetaan ns. viisivuotisselvityksissä, joista viimeisin julkaistu (LM:n julkaisu 8/99) koskee vuotta 1997. Silloin vaarallisia aineita kuljetettiin maanteitse 9,6 miljoonaa tonnia. Kuljetuksista kertyi noin 1,1 miljardia tonnakilometriä. Valtaosa maantiekuljetuksista suoritettiin linjan Pori-Tampere-Imatra eteläpuolella. Suurin osa (91 %) vaarallisten aineiden tiekuljetuksista suoritettiin säiliöautolla.

Tiekuljetuksista suurin osa (75 %) oli palavien nesteiden kuljetuksia, jotka muodostuivat pääasiassa polttonesteistä. Syövyttävien aineiden osuus oli 13 % ja kaasujen 6 %. Räjähdeiden osuus oli 0,3 % (13.900 tonnia).

Vaarallisten aineiden kuljetuksia on rajoitettu Suomessa 18 taajamassa. Erityisiä tunneleita koskevia määräyksiä ei Suomessa ole.

4 TUNNELEIDEN SUUNNITTELUOHJEET JA –MÄÄRÄYKSET

Tiehallinnon suunnitteluohjeet: Tiehallinto laatii parhaillaan tietunneleiden suunnittelua koskevia ohjeita. Tavoitteena on ohjeiden valmistuminen vuoden 2003 aikana. Ohjeet sisältävät tunneleiden laatuvaatimuksia mm. seuraaville suunnittelun osa-alueille:

- yleiset perusteet (mm. lainsäädäntö, kustannukset, luokittelu)
- tie- ja liikennetekniikka (geometria, toimivuus ja liikenneturvallisuus, liikenteen hallinta)
- rakenteet
- ympäristö
- ilmanvaihto ja kuivatus
- turvallisuus ja pelastus
- valaistus
- sähkö ja tietoverkko
- estetiikka ja ajamisen tuki
- rakentamiseen ja käyttöön liittyvät näkökohdat

Turvallisuutta ja pelastusta koskevaan lukuun sisältyy lyhyt kuvaus, miten vaarallisten aineiden kuljetukset tulee ottaa huomioon suunnittelussa. Ohjeessa käsitellään myös riskianalyysien suorittamista.

Ohjeiden laadinnassa otetaan huomioon valmisteluvaiheessa oleva EU-direktiivi tietunneleiden turvallisuudesta siten, että Tiehallinnon ohjeissa direktiivin minimivaatimukset täyttyvät tai harkinnan mukaan ylittyvät.

EU-komission direktiiviehdotus (30.12.2002 / KOM(2002) 769 lopullinen / 2002/0309 (COD) ”Euroopan laajuisen maantieverkon tunnelien turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista”:

Viime vuosina Euroopassa tapahtuneiden vakavien tunnelionnettomuuksien ja –palojen jälkeen (Mont Blanc, Tauern, Gotthard) useat tahot, mm. kansainvälinen

tiejärjestö PIARC, YK Euroopan talouskomissio ECE ja EU:n komissio ovat ryhtyneet toimiin tunneleiden turvallisuuden parantamiseksi.

EU-direktiiviehdotuksen päätavoitteena on maantietunnelien turvallisuuden saattaminen mahdollisimman hyvälle tasolle ja siinä asetetaan seuraavat tavoitteet:

- ensisijainen tavoite: ihmishenkiä, ympäristöä ja tunnelien laitteistoja uhkaavien vaarojen ennaltaehkäisy
- toissijainen tavoite: onnettomuuksien, tulipalojen ja muiden vaaratilanteiden mahdollisten seurausten lieventäminen luomalla parhaat mahdolliset edellytykset sille, että vaaratilanteeseen joutuneet ihmiset pystyvät pelastautumaan, tienkäyttäjät pystyvät välittömästi ehkäisemään suurempien vahinkojen syntymisen, varmistetaan pelastuspalvelujen tehokas toiminta, suojellaan ympäristöä ja pidetään aineelliset vahingot mahdollisimman vähäisinä.

Onnettomuus- tai vaaratilanteessa ensimmäiset 10–15 minuuttia ovat ihmisten pelastautumisen ja vahinkojen rajoittamisen kannalta ratkaisevan tärkeitä. Vaarojen ennaltaehkäisy on sen vuoksi etusijalla.

Direktiivin vaatimuksia sovelletaan Euroopan laajuisen maantieverkon (TERN-verkko) yli 500 metrin pituisiin tunneleihin. Direktiivin vaatimukset ovat vielä kehitystyön alla ja saanevat lopullisen muotonsa syksyn 2003 aikana. Direktiivi saattaa astua voimaan vuoden 2004 alusta.

Direktiiviehdotus määrittelee mm. seuraavaa:

- Tunneleiden hallinnointi: Kunkin jäsenvaltion olisi nimettävä hallintoviranomainen, jonka tukena toimii tarkastuslaitos. Kunkin tunnelin turvallisuudesta on vastuussa tunnelin hallinnoija ja valvonnasta erikseen nimetty turvallisuusvastuuhenkilö.
- Tunnelien turvallisuuden taso koostuu useista eri tekijöistä, jotka voidaan luokitella neljään pääryhmään: infrastruktuuri, toiminta, ajoneuvot, tienkäyttäjät. Kaikista näistä on ehdotuksessa lukuisat ja seikkaperäiset vaatimukset.

Vaarallisten aineiden kuljetuksista direktiiviehdotuksen perusteluissa (C.3) on todettu:

- *Vaarallisia* tai lämpöarvoltaan yli 30 MW:n aineita kuljettavat raskaat tavarankuljetusajoneuvot ovat erityisen riskialttiita, ja niissä olisi oltava asianmukaiset sammutusjärjestelmät.

Direktiiviehdotuksen perusteluissa ehdotetaan, että komissio perustaa jäsenvaltioiden kansallisista asiantuntijoista ja alan järjestöistä koostuvan työryhmän, jolle annetaan seuraavat tehtävät:

- koota tarvittavaa tietoa yhdenmukaistetun *riskianalyysimenetelmän* suunnittelua varten;
- jatkaa niiden turvallisuutta koskevien vähimmäisvaatimusten hiomista, jotka koskevat erityyppisten ja eripituisten tunnelien ra-

- kentamista, käyttöä, kunnossapitämistä, korjauksia, parantamista ja kunnostamista
- parantaa tunnelien liikenneolosuhteita esimerkiksi kehittämällä liikennemerkkejä ja antamalla *rajoituksia tietyille ajoneuvoille ja vaarallisten aineiden kuljetuksille* sekä kouluttamalla kuljettajia,
 - koota tietoa tunnelien turvallisuutta koskevista säännöksistä ja erityisesti uudesta liikenteenhallintatekniikasta.

Direktiivin yksityiskohtaisissa vaatimuksissa edellytetään usein riskianalyysin suorittamista, jotta tietty ratkaisu olisi mahdollinen. Ongelmana on, kuten edellä ilmenee, ettei yhtenäistä riskianalyysimenettelyä ole määritelty vaan siihen otetaan kantaa myöhemmin perustettavan komitean avulla. Riskianalyysit suorittaa ehdotuksen mukaan riippumaton elin hallintoviranomaisen pyynnöstä ja sen vastuulla.

Riskianalyysien nykykäytäntö Suomessa: Useiden tunnelihankkeiden yhteydessä on suunnitteluvaiheessa tehty liikenneturvallisuusanalyysi (jota usein on kutsuttu riskianalyysiksi). Käytössä on ainakin ollut Norjan tielaitoksen regressioanalyysiin perustava malli, joka pohjautuu hyvin laajaan tilastoaineistoon. Mallin avulla voidaan tunnelin ratkaisujen ja liikenteen tunnuslukujen perusteella määrittellä onnettomuustodennäköisyydet eri onnettomuustyypeille tunneliosuuskittain. On myös laadittu analyysejä, jossa on pyritty kartoittamaan kaikkia tunnelin toteuttamisprosessiin liittyviä riskejä (suunnittelu, luvat, toteutus, käyttö). On myös tehty analyysejä vaarallisten aineiden leviämisestä onnettomuustilanteissa. Mitään yhtenäistä käytäntöä tai ohjetta riskianalyysien suorittamiseksi ei Suomessa ole.

5 QRAM- JA DSM-MALLIEN KUVAUS JA SOVELLUSALUE

5.1 Nykyiset säännökset ja käytäntö

Tähän asti tunneliliikenteen rajoitukset on päätetty paikallisesti kansallisissa säännöksissä tai yksittäisen tunnelin pitäjän toimesta. OECD:n ja PIARC:n vuonna 2001 tekemän tutkimuksen tavoitteena oli luoda kuljetusrajoitusten määrittämiseksi yhtenäiset lähtökohdat, joiden avulla poistettaisiin kaupankäynnin rajoitteita sekä parannettaisiin kuljetusten tehokkuutta ja turvallisuutta.

Tutkimuksessa vertailtiin eri maiden säännöksiä ja huomattiin, että säännökset vaihtelevat maittain huomattavasti ja että tiukimmat säännökset löytyvät maista, joissa on vähiten tunneleita.

5.2 Ehdotetut strategiat ja ryhmittely

Jotta kuljetusrajoituksista voitaisiin helpommin tiedottaa, vaaralliset aineet on ryhmitelty räjähdysriskin, myrkyllisten aineiden päästöjen ja tulenarkuuden perusteella. Viisi määriteltyä ryhmää on esitetty taulukossa 1. Liitteessä 1 on esitetty, mitkä ADR:n kuljetusluokat ja kohdat sijoittuvat mihinkin luokitusryhmiin (A-E). Ehdotetussa järjestelmässä tunnelissa, joka on hyväksytty ryhmään A, voitaisiin kuljettaa myös kaikista vaarallisimpia tiekuljetuksissa yleisesti sallittuja aineita. Vastaavasti ryhmän E tunnelissa kaikki VAK-merkinnän edellyttämät kuljetusyksiköt olisi kielletty.

Eriteltyjä säännöksiä voidaan soveltaa esimerkiksi huipputuntien ja ajosuuntien mukaan. Rajoituksista voidaan tiedottaa liikennemerkkein. Niiden aineiden, joiden kuljettaminen on tunnelissa kielletty, kuljetukset tulee ohjata vaihtoehtoiselle reitille.

Ryhmä	Tunnelikuljetuksissa kielletyt aineet
A	Vaaralliset aineet, joiden kuljetus teillä on kielletty.
B	Ryhmän A aineet ja aineet, jotka saattavat aiheuttaa erittäin suuren räjähdysten (kuuma BLEVE tai vastaava)
C	Ryhmän B aineet ja aineet, jotka saattavat aiheuttaa erittäin suuren räjähdysten (kylmä BLEVE tai vastaava) tai laajan myrkyllisen päästön (myrkyllinen kaasu tai haihtuva myrkyllinen neste)
D	Ryhmän C aineet ja aineet, jotka saattavat aiheuttaa suuren tulipalon.
E	Kaikki kuljetusyksiköt, jotka on varustettava VAK-merkinnällä (oranssikilpi)

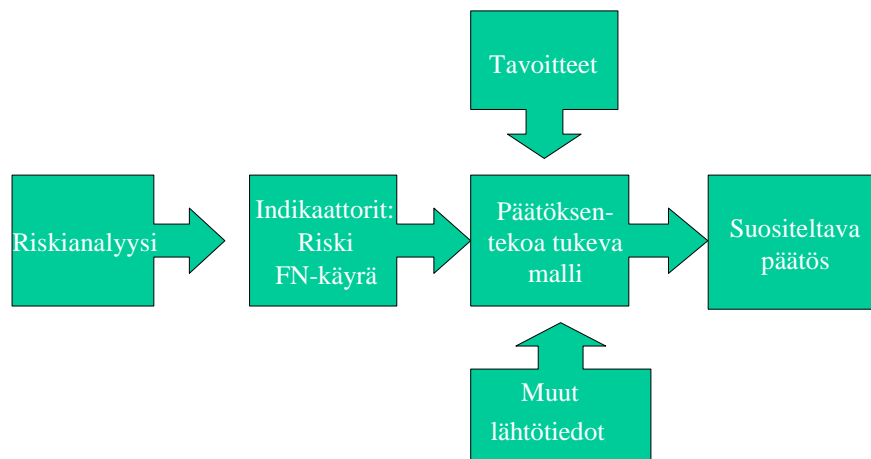
Taulukko 1. Vaarallisten aineiden kuljetusten ryhmittely

5.3 Mallin rakenne (päätokeksentekoprosessi)

OECD-projektin tavoitteena oli luoda kehykset, jotka mahdollistavat riskien arvioinnin sekä esittää, miten VAK-rajoituksia tulisi asettaa tunneleihin vaihtoehtoiset kuljetusmahdollisuudet huomioiden.

Mallin periaatteena on määrittää riskit ja VA-kuljetusten vaikutus vaihtoehtoisilla reiteillä/kuljetustavoilla ja yhdistää nämä tienpitäjän/viranomaisten (ja yhteiskunnan) tavoitteisiin.

Kuvassa 1 esitetään mallin rakenne, jossa riskianalyysi (voi sisältää lukuisia analyysejä) tehdään kaikille vaarallisille aineille ja kaikille kuljetusvaihtoehdoille. Tarkempi päätöksentekoprosessikaavio on liitteenä 2. Analyysien avulla määritetään riski-indikaattorit (esim. FN-käyrä). Nämä indikaattorit, yhdistettynä muihin lähtötietoihin ja päätöksentekijän tavoitteisiin, kuvaavat ehdotettujen rajoitusten seurauksia. Päätöksentekoa tukeva malli siis käyttää riskianalyysin tuloksia tuottaessaan ”paremmuusjärjestyslistan” mahdollisista VAK-rajoitusstrategioista.



Kuva 1. Mallin yleisrakenne

5.4 Riskianalyysi (QRAM)

Riskien alentaminen on vaarallisten aineiden kuljetusten rajoittamisen lähtökohhta. Siksi riskianalyysi on tärkeä osa päätöksentekoprosessia.

Riski määritetään arvioimalla tapahtumien esiintymistodennäköisyyttä ja seurauksia eri skenaarioissa. Riskit määritetään sekä tunnelireitille että vaihtoehtoiselle reitille. Riskien suuruutta analysoiva malli (Quantified Risk Analysis Model, QRAM) perustuu seuraaviin tekijöihin:

- Vaaraindikaattorit
- Onnettomuusskenaariot
- Onnettomuuden todennäköisyyden arviointi
- Aineellisten ja rakenteellisten sekä ympäristövahinkojen määrittäminen
- Ihmisiin kohdistuvien vaikutusten arviointi

– Herkkyysanalyysi

QRA-menetelmä voidaan jakaa 6 vaiheeseen:

1. valitaan rajattu määrä vaarallisia aineita osaksi mallia
2. valitaan onnettomuusskenaario (mallissa valmiina 13 skenaariota), joissa valitut aineet ovat osallisena
3. määritetään skenaarioiden aineelliset vaikutukset
4. määritetään skenaarioiden vaikutukset ihmisiin
5. huomioidaan suojaustoimien vaikutukset
6. malli määrittää tapausten esiintymistodennäköisyydet tunnelikohtaisten lähtötietojen perusteella

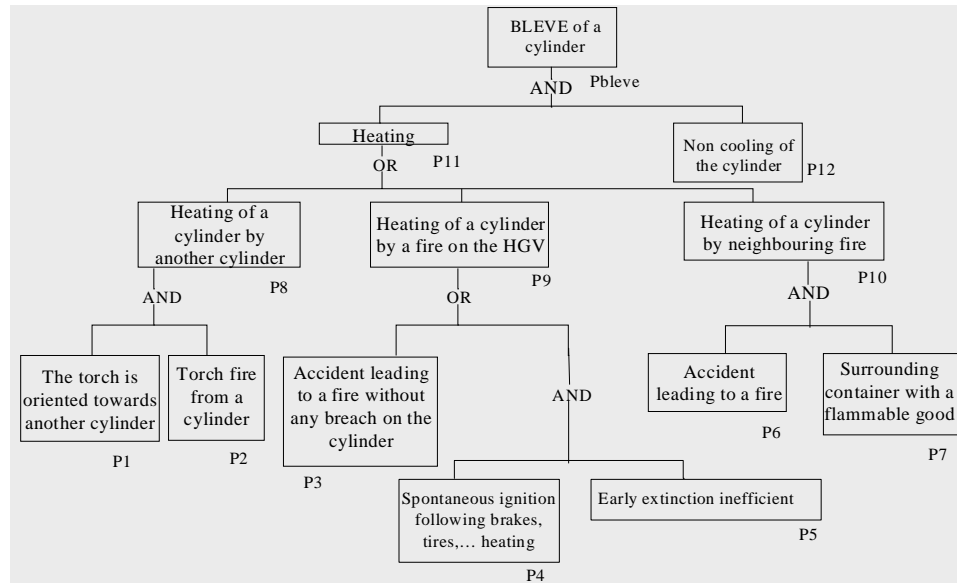
Nro	Onnettomuusskenaarion kuvaus	Säiliön koko	Halkeaman koko (mm)	Vuotonopeus (kg/s)
1	Ajoneuvopalo, 20 MW	-	-	-
2	Ajoneuvopalo, 100 MW	-	-	-
3	Nestekaasupullon BLEVE ²	50 kg	-	-
4	Polttonestepalo	28 t	100	21
5	Polttonesteen VCE ³	28 t	100	21
6	Kloorivuoto	20 t	50	45
7	Nestekaasusäiliön BLEVE	18 t	-	-
8	Nestekaasusäiliön VCE	18 t	50	36
9	Nestekaasupalo	18 t	50	36
10	Ammoniakkivuoto	20 t	50	36
11	Akroleiinisäiliövuoto	25 t	100	25
12	Akroleiinipullovuoto	100 l	4	0,02
13	Hiilidioksidisäiliön BLEVE	20 t	-	-

Taulukko 2. Onnettomuusskenaariot.

Fysikaaliset mallit, jotka kuvaavat esimerkiksi vaarallisten kaasujen leviämistä, höyrypilven räjähtämistä, nestepaloja ja kiehuvan nesteen höyrystymisen aiheuttamia räjähdyksiä, muodostavat osan kunkin skenaarion riskianalyysistä. Mallit ottavat huomioon sekä myrkyllisten kaasujen kulkeutumisen tunnelissa että leviämisen ympäristöön. Onnettomuuden seuraukset ihmisille, rakenteille ja ympäristölle ovat myös osa riskianalyysiä.

² Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion

³ Vapour Cloud Explosion



Kuva 2. Esimerkki maakaasupullon (50 kg) BLEVE:n onnettomuuskaaviosta.

Riskianalyysimalliin on koottu useiden maiden onnettomuusasteet. Jos esimerkiksi määritellään tunnelin sijaitsevan esimerkiksi Ranskassa tai Norjassa, niin malli käyttää ko. maan tilastotietoja. Jos haluttu maa (esim. Suomi) ei vielä sisälly malliin, on mahdollista käyttää jonkin toisen soveltuvan maan tilastotietoja tai syöttää malliin halutun maan tiedot käsin.

Tapahtumien todennäköisyydet määritellään neljässä vaiheessa käyttäen apuna kuvan 2 kaltaisia kaavioita:

1. Onnettomuusasteet kyseiselle maalle, tietyypille (yksi/kaksisuuntainen tunneli) sijainnille (taajama/haja-asutus, tunneli/avoin tie)
2. Onnettomuustiheys suhteessa liikenteeseen, tiejakson pituuteen, sijaintiin ja laatuluokkaan
3. Arvio skenaarioihin 1 tai 2 johtavien onnettomuuksien osuudesta ja arvio muiden skenaarioiden onnettomuusasteista
4. Arvio muiden tapahtumien vaikutuksista (kuumat jarrut jne.)

5.5 Tulokset

Riskianalyysin tuloksena saadaan:

- Kuolemien FN-käyrät
 - tienkäyttäjät
 - paikalliset asukkaat
- Loukkaantumisten FN-käyrät
 - tienkäyttäjät
 - paikalliset asukkaat
- Tunnelille, tielle ja laitteille aiheutuneet vahingot
- Ympäristövaikutukset
- Liiketoimintojen keskeytymisen kesto
- Kuoleman riski paikallisille asukkaille yksilötasolla

- Loukkaantumisriski paikallisille asukkaille yksilötasolla

Edellä mainitut kohdat tulee määrittää kaikille skenaarioille ja kaikille VAK-reiteille.

Kuoleman ja loukkaantumisen riskin odotusarvo R saadaan vaikutuksen kohteeksi joutuneiden ihmisten määrästä n ja vastaavasta esiintymistiheydestä f .

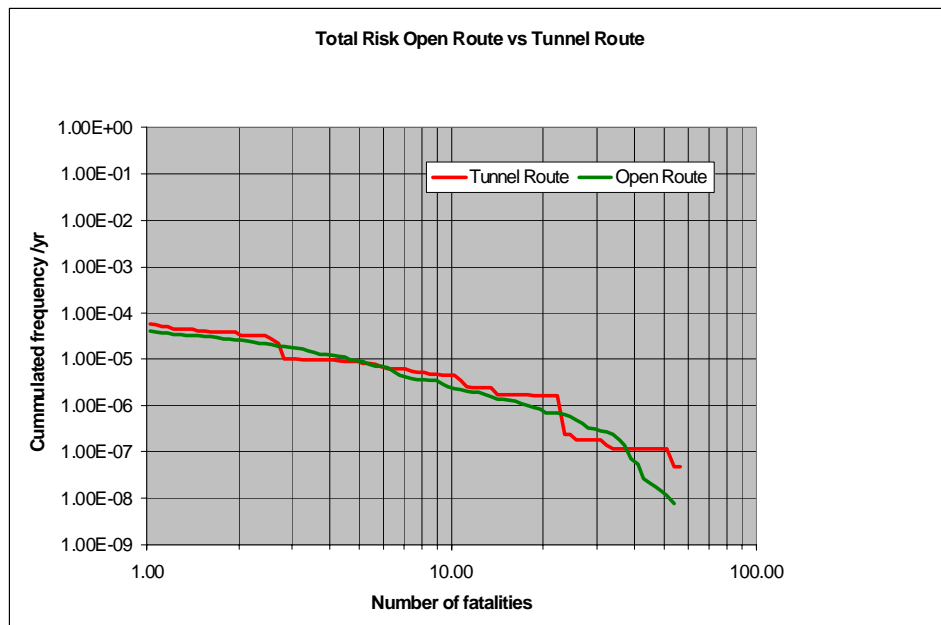
Skenaarioiden joukolle $i = [1, x]$ edellä mainittu odotusarvo eli riskianalyysin tulos on

$$R = \sum_{i=1..x} f_i \cdot n_i$$

Tulosten havainnollistamiseksi on suositeltavaa tulostaa kuvaaja. Yleensä tulokset esitetään kaksoislogaritmisella FN-käyrä-kuvaajalla, jossa toisella akselilla on kumulatiivinen esiintymistiheys.

$$F(n_j) = \sum_{i=j..x} f_i$$

FN-käyrää käyttämällä riskin luonnetta voidaan arvioida visuaalisesti. Jos kahdella järjestelmällä on sama riskin odotusarvo, asettaa riskejä välttävä päätöksentekijä ensimmäiseksi järjestelmän, jonka käyrä on jyrkin, sillä jyrkkä käyrä merkitsee suhteellisesti vähemmän vakavia onnettomuuksia.



Kuva 3. Esimerkki riskianalyysin tuloksesta.

5.6 Päätöksentekoa tukeva malli (DSM, Decision Support Model)

Päätöksentekoa tukeva malli ottaa huomioon riskianalyysin tulokset sekä muut tiedot eri ratkaisuvaihtoehdoista. Riskianalyysien arvo on vähäinen, jos niitä ei käytetä päätöksenteon tukena. Riskianalyysin tulosten jälkikäsitteily voidaan suorittaa käyttämällä päätöksentekoa tukevaa mallia. Mallin avulla päätökseen

johtaneet tekijät voidaan dokumentoida, mikä on tarpeen erityisesti, jos päätös asetetaan myöhemmin kyseenalaiseksi. Jos päätöksentekoa tukevaa mallia ei olisi käytettävissä, päätös jouduttaisiin tekemään tuntemusten ja tietoisten tai tiedostamattomien arvioiden pohjalta.

5.6.1 Menetelmäkehys

Menetelmäkehystä käsitellään ja määritellään seuraavissa kappaleissa.

Bayesialainen päätöksentekomenetelmä

Bayesialaisen päätöksentekoanalyysin perusteella tarjolla olevista vaihtoehtoista valitaan se, joka tuo suurimman hyödyn. Analyysin hyötyfunktio sisältää kaikki päätöksenteon kannalta tärkeät tekijät muutettuna rahalliseen muotoon. Kun lasketaan yhteen eri tekijöiden rahalliset arvot eri skenaarioissa, voidaan VAK-rajoitusvaihtoehtojen paremmuutta arvioidaan suodaan näiden summien perusteella. Menetelmä edellyttää, että kaikille tekijöille voidaan määrittää yksikköhinta. Hinnoittelu ja painoarvojen määrittäminen on luonnollisesti vaikeaa, mutta toisaalta suoraviivainen vaihtoehtojen vertailu euromäärien avulla tekee päätöksenteon kuitenkin läpinäkyväksi.

Muut päätöksentekomenetelmät

DSM⁴, tietokoneavusteinen analyysityökalu, sisältää useiden tekijöiden analyysin, joka käsittelee päätöksenteko-ongelmaa VAK-rajoitusten kannalta. Useiden tekijöiden mallit, jotka DSM-malliin sisältyvät, ovat ns. SMART⁵-malli sekä SMART-mallin ja bayesialaisen menetelmän yhdistelmä. Useiden tekijöiden mallit perustuvat eri tekijöiden asettamiseen tärkeysjärjestykseen. Päätöksentekijän tulee asettaa eri tekijöille painoarvot, mutta esimerkiksi ihmishengen rahallista arvoa ei tässä menetelmässä tarvitse määrittää. Kaikki tekijät on kuitenkin muutettava yhteismitalliseen muotoon, mikä saattaa olla vaikeaa. Useiden tekijöiden malleissa eri tekijöiden painotukset ovat epäsuoria ja siksi mallit eivät ole yhtä läpinäkyviä kuin bayesialaisessa menetelmässä. Useiden tekijöiden mallit yksinkertaistavat päätöksentekoprosessia varsinkin tapauksissa, joissa on paljon yksityiskohtaisia lähtötietoja.

Suosittelavin menetelmä tunneleiden liikenteeseen liittyvän päätöksenteon tueksi Suomessa näyttäisi olevan bayesialainen analyysi. Liikennehankkeiden yhteiskuntataloudellisissa arvioinneissa on meillä totuttu arvottamaan erilaisia vaikutuksia ja niihin on olemassa yhteisesti hyväksytyjä yksikkökustannuksia. SMART-mallia sekä SMART-mallin ja bayesialaisen menetelmän yhdistelmää voidaan käyttää täydentävänä apuvälineenä.

5.6.2 Päätösvaihtoehdot

Tunnelirajoitukset muuttavat olosuhteita ja onnettomuusriskiä sekä tunnelissa että vaihtoehtoisisilla reiteillä, koska tunnelissa kielletyt kuljetukset (ryhmät A–E, taulukko 1) on tällöin kuljetettava muuta toista reittiä. Perusvaihtoehtojen lisäksi

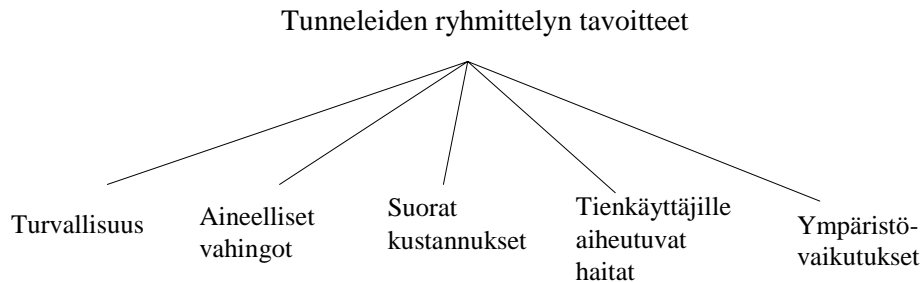
⁴ Ks. OECD/PIARC 2001

⁵ Simple Multi-Attribute Rating Technique

voidaan ottaa käyttöön esimerkiksi näiden yhdistelmiä sekä rajoituksia eri kelloajoille, viikonpäiville tai tietyille kausille.

5.6.3 Päätöksentekomallien tavoitteet

Päätavoitteena on mahdollistaa riskien arviointi ja tuottaa ehdotus VAK-rajoituksista. Se, miten lähelle tavoitteita päästään, riippuu käytetyistä tekijöistä.



Kuva 4. Tunnelirajoitusten tavoitteet.

Päätöksentekoanalyysin tavoitteina tunnelirajoitusten osalta on maksimoida turvallisuus ja minimoida aineelliset vahingot, tienkäyttäjille aiheutuvat haitat, suorat kustannukset ja ympäristövaikutukset. Jokaista tavoitetta voidaan mitata lukuisilla tekijöillä ja painottamalla eri tekijöitä on mahdollista mitata ja verrata tarkasteltavia vaihtoehtoja. Lista tavoitteista ja niihin liittyvistä tekijöistä on taulukossa 3.

Tavoite	Tavoitetta mittaava tekijä
Paras mahdollinen turvallisuus	Tienkäyttäjien kuolemaan tai loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet
	Paikallisten asukkaiden kuolemantapaukset tai loukkaantumiset
Pienimmät mahdolliset aineelliset vahingot	Tunnelin rakenne
	Tunnelin kunnallistekniikka
	Suojatut ja suojaamattomat laitteet
	Muu kunnallistekniikka
	Tienkäyttäjien omaisuus
	Paikallisten asukkaiden omaisuus
Pienimmät mahdolliset ympäristövaikutukset	Tunnelissa sattuneen onnettomuuden aiheuttamat ympäristövaikutukset
	Vaihtoehtoisella reitillä sattuneen onnettomuuden ympäristövaikutukset
Pienin mahdollinen haitta tienkäyttäjille	VAK-onnettomuuden aiheuttamat aika- ja ajoneuvokustannukset kaikille tienkäyttäjille
Mahdollisimman pienet suorat kustannukset	Rajoitusten aiheuttamat aika- ja ajoneuvokustannukset VAK-kuljetuksille
	Toiminnalliset kustannukset ja menetykset
	Investoinnit

Taulukko 3. Tavoitteet ja niitä mittaavat tekijät.

5.6.4 Riskien arvottaminen

Riskien arvottaminen on erityinen ongelma tehtäessä päätöksiä VAK-rajoituksista. Riskien arvottamisen ongelmaa kuvaa se, että esimerkiksi sata kuolemantapausta yhdessä onnettomuudessa koetaan yleisesti pahempaan kuin sata onnettomuutta, joissa kussakin sattuu yksi kuolemantapaus.

Riskien arvottaminen ei välttämättä vaikuta rationaaliselta ja voi olla vaikeaa perustella, miksi yhteiskunnan tulisi huomioida koko asiaa. Vaikuttaa kuitenkin siltä, että julkinen huomio keskittyy suuriin onnettomuuksiin ja että suuronnettomuuksien jälkeen vaaditaan uusia säännöksiä ja rajoituksia.

Riskien arvottaminen voidaan sisällyttää hyötyfunktioon arvokertoimen muodossa, joka yhdistää FN-käyrän muodon riskin arvoon. Riskin arvo voidaan esittää numeerisesti neutraalista voimakkaaseen. Arvokerroin ilmaisee kuolemantapauksen painoarvon suhteessa neutraaliin riskiin, jossa kaikki kuolemantapaukset ovat yhtä merkittäviä.

Verrattuna bayesialaiseen menetelmään, jossa kuolemantapauksille on määritetty rahallinen arvo, riskien arvottaminen mahdollistaa kuolemantapauksen arvon muutokset. Tämä muutos, jonka arvokerroin määrää, riippuu FN-käyrän muodosta ja riskin arvosta.

5.6.5 Tekijöiden painottaminen

Eri tekijöiden painottaminen on suoritettava riippumatta päätöksentekomallin valinnasta. Bayesialainen menetelmä perustuu hyötyfunktioon, jossa kaikille tekijöille on määritetty rahallinen arvo eli esimerkiksi kuolemaan tai loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet, tunnelin vaurioituminen, tienkäyttäjille aiheutuvat haitat ja ympäristövaikutukset on kukin hinnoiteltu. Painotuksista päätettäessä on mahdollista erotella esimerkiksi tienkäyttäjien ja paikallisten asukkaiden kuolemantapaukset. Voidaan ajatella, että kolmansia osapuolia koskevat onnettomuudet ovat vakavampia (ks. riskien arvottaminen) ja että kolmansien osapuolten kuolemantapauksilla on suurempi painoarvo verrattuna tienkäyttäjien kuolemiin, koska tienkäyttäjien katsotaan saavan hyötyä tienkäyttämisestä. Painokertoimia määritettäessä voidaan käyttää esimerkiksi SP^6 - ja RP^7 -tutkimuksien tuloksia.

5.6.6 Päätöksentekomallien rajoitukset

Päätöksentekomalleissa vertaillaan päätöksenvaihtoehtoja ja pyritään löytämään paras päätösvaihtoehto. Yksilöön kohdistuvan riskin osalta nämä menetelmät eivät kuitenkaan takaa tyydyttävää lopputulosta. Siksi on aina erikseen laskettava yksilöön kohdistuva riski ja näin varmistettava, että se on yleisesti hyväksyttävällä tasolla.

⁶ Stated Preference

⁷ Revealed Preference

6 MALLIEN LÄHTÖTIEDOT JA TULOSTEET

6.1 Riskianalyysimallin lähtötiedot

Mallin käytön työläin vaihe on lähtötietojen kerääminen ja syöttö. Seuraavia tietoja tarvitaan:

Tunnelireitin ominaisuustietoja:

- Keskimääräinen henkilömäärä ajoneuvotyyppiä kohti
- Raskaan liikenteen ja VA-kuljetusten määrä (ajon/h)
- VA-kuljetusten jakautuminen vaarallisen aineen perusteella
 - Polttonesteet
 - Nestekaasu (pulloissa)
 - Nestekaasu (säiliössä)
 - Kloori
 - Ammoniakki

Tunnelireitti jaetaan osiin (tunneliosuudet ja avoin osuus) ja kullekin osuudelle määritetään:

- Sijainti
- Kokonaispituus
- Taajama/haja-asutus
- Liikennemäärä
- Nopeudet ajoneuvotyypeittäin
- Liikenteen pysäyttämisen viive
- Kaistojen määrä
- Onnettomuusaste
- Aukastiheys
- Maa
- Tunnelin geometriatiedot
- Ilmanvaihtojärjestelmä (virtausnopeudet)
- Onnettomuustilanteen ilmanvaihto (määrät, virtausnopeudet)
- Viemärointi
- Liikennetietoja (liikenteen suunta ja liikennetiheys)
- Hätäpoistumisteiden välimatka, hätäpuhelimet
- Tunnelin rakenne (rakennetyyppi, maaperän tyyppi, seinämien paksuudet paloluokitus jne.)

Avoimen reitin ominaisuustietoja:

- Keskimääräinen henkilömäärä ajoneuvotyyppiä kohti
- Raskaan liikenteen ja VA-kuljetusten määrä (ajon/h)
- VA-kuljetusten jakautuminen vaarallisen aineen perusteella
 - Polttonesteet
 - Nestekaasu (pulloissa)
 - Nestekaasu (säiliössä)
 - Kloori
 - Ammoniakki

Myös avoin reitti jaetaan osiin ja kullekin osuudelle määritetään:

- Sijainti
- Kokonaispituus
- Taajama/haja-asutus
- Liikennemäärä
- Nopeudet ajoneuvotyypeittäin
- Viivytykset pysähtyvälle liikenteelle
- Kaistojen määrä
- Onnettomuusaste
- Aukastiheys
- Maa

6.2 Tiedonsiirto QRA-mallista DSM-malliin

Seuraavissa kappaleissa esitetyjä QRA-mallin tuloksia käytetään DSM-prosessissa. Tiedonsiirto QRA-mallista DSM-malliin tapahtuu automaattisesti.

Kuolemantapaukset ja loukkaantumiset

Käsiteltäessä kuolemantapauksia ja loukkaantumisia malliin tuodaan FN-käyrät. Kun kukin FN-käyrä kuvataan 300 luokassa, saadaan otosavaruus, joka kattaa onnettomuuksien erilaiset seuraukset. FN-käyrä on teoriassa matriisi kooltaan 300 kertaa 4 (n:n tapahtuman esiintymistiheys, yhdistetty esiintymistiheys ja esiintymistiheyden ja n:n tulo (n = onnettomuuden uhrien lukumäärä)).

Kussakin 13 skenaariosta määritetään kuolemantapauksille FN-käyrä:

- Tunnelireitti / avoin reitti
- Tienkäyttäjät / paikalliset asukkaat
- Loukkaantumiset (QRA-mallista) muunnetaan kuolemien ja loukkaantumisten yhdistetyiksi FN-käyriksi.

FN-käyrien kokonaismäärä on $13 \times 2 \times 2 \times 2 = 104$ (sis. kuolemien ja loukkaantumisten yhdistetyt FN-käyrät). Jos edelleen jaetaan malli esimerkiksi neljään aikajaksoon ja kahteen ajosuuntaan, saadaan FN-käyrien määräksi $104 \times 4 \times 2 = 832$.

Mallissa 13 skenaariota on yhdistetty viideksi rajoitusstrategiaksi (ryhmät A–E), jonka jälkeen kuolemantapausten ja loukkaantumisten määrät ja skenaarioiden todennäköisyydet määritetään. Riskien arvokertoimet määritetään ryhmien FN-käyrien perusteella. Näin menettelemällä käsiteltävän tiedon määrää saadaan vähennettyä huomattavasti.

Ympäristö

QRA-mallin ympäristövaikutusarviot saadaan taulukkomuodossa. QRA-mallin ohjekirjassa on taulukoitu ympäristövaikutusarviot 13 skenaariolle. Taulukko ilmaisee haitalliset ympäristövaikutukset termein "merkityksetön", "pieni", "kohtalainen" ja "suuri". Taulukossa on otettu huomioon vaihtelut mm. onnettomuuspaikkojen ympäristön herkkyydessä. QRA-mallin tuloksia täytyy muokata tai täydentää, jotta ne voidaan siirtää DSM-malliin.

Liikenne vaihtoehdoisella reitillä ja liikennehäiriöt

QRA-mallissa käytettyjä lähtötietoja vaihtoehdoisista reiteistä ja liikennehäiriöistä käytetään myös DSM-mallissa. Esimerkiksi seuraavia lähtötietoja tarvitaan: jaksojen pituudet, onnettomuustiheydet, matkanopeudet, vaarallisten aineiden kuljetusten määrät ja kuljetettavien aineiden jakauma, henkilömäärä ajoneuvoissa jne.

Näitä tietoja käytetään määrittäessä esimerkiksi kuinka monta VA-kuljetusta rajoitukset koskisivat ja kuinka monta ajoneuvoa joutuisi alttiiksi onnettomuuden aiheuttamalle häiriölle.

Jaettaessa tarkastelu aikajaksoille tulee huomioida vastaavat liikennemäärien aikavaihtelut yms.

Aineelliset vahingot

Aineelliset vahingot kussakin 13 skenaariossa on ilmoitettu prosentteina kokonaisrakennuskustannuksista.

6.3 DSM-mallin lähtötiedot

6.3.1 Päätöksentekomenetelmän valinta

- Bayesialainen DSM (suositeltava)
- SMART
- Edellisten yhdistelmä

6.3.2 QRA-mallista DSM-malliin siirrettävät tiedot

Tietojen määrä riippuu skenaarioiden lukumäärästä, aikajaksojen määrästä, suunnista jne. Seuraavia tekijöitä tarvitaan:

VAK-onnettomuuden vaikutukset ihmisiin

Tienkäyttäjien kuolemat

Paikallisten asukkaiden kuolemat

Tienkäyttäjien loukkaantumiset

Paikallisten asukkaiden loukkaantumiset

Suunnitellut vaihtoehdot VAK-reitit

Pituus (ajoneuvokilometrit)

Aika (ajotunnit)

Onnettomuuksien aiheuttamat vaihtoehdot VAK-reitit

Kiinniolopäivät

Ajoneuvojen lisäkilometrit

Henkilötunnit, ajoneuvotunnit

Tunnelin vaurioituminen VAK-onnettomuudessa

rakenne

kunnallistekniikka (m)

suojatut laitteet

suojaamattomat laitteet

Ympäristövahingot VAK-onnettomuuksissa

Merkityksetön

Pieni

Kohtalainen

Suuri

Yksilöön kohdistuva riski

Käyttäjät [kuolemantapausta/ajokilometri]

Paikalliset asukkaat [kuolemantapausta vuodessa]

6.3.3 Lähtöarvojen syöttäminen

DSM-malliin sisältyy eri tekijöiden lähtöarvojen syöttämistä varten palaute- ja opastustoiminnot sekä ohjekirja.

- Kuolemantapausten ja loukkaantumisten yksikkökustannukset
- Kiertoteille ohjaamisen aiheuttamat kustannukset (lisää ajokilometrejä ja -tunteja)
- Tunnelirakenteiden ja -laitteiden kustannukset (€/metri)
- Ympäristövahinkojen kustannukset
- Yksilöön kohdistuvien riskien sietorajat (kuolemantapausta/km tai kuolemantapausta/vuosi)

7 PÄÄTÖKSENTEKOPROSESSIN TULOSTEN TULKINTA

Päätösvaihtoehtojen lopullinen määrä riippuu aikajaksojen ym. tekijöiden lukumäärästä. Jotkut rajoitusten yhdistelmät voidaan sulkea pois jo DSM-mallin lähtötietoja määriteltäessä. Tämä yksinkertaistaa prosessia. Jos yhtäkään yhdistelmää ei suljeta pois, on minimivaihtoehtojen määrä 5 (ryhmät A–E, taulukko 1). Jos erotellaan kolme ajanjaksoa ja kaksi ajosuuntaa, on päätösvaihtoehtojen maksimimäärä $5^6=15\ 625$.

Kun tiedot on käsitelty DSM-mallissa, voidaan päätösvaihtoehdot laittaa paremmuusjärjestykseen. Bayesialaisessa mallissa järjestys määräytyy arvioidun rahamääräisen hyödyn perusteella ja SMART-mallissa tekijöiden pisteytyksen perusteella.

Näin saadaan esille useita vaihtoehtoja ja erot eri vaihtoehtojen välillä on selvästi nähtävissä. Kunkin vaihtoehdon sijoitukseen johtaneet syyt (tekijöiden painoarvot, pisteytys, yksikköhinta jne.) on nähtävissä prosessin dokumentoinnista. Myös objektiivisten ja subjektiivisten lähtötietojen vaikutukset lopputulokseen ovat nähtävissä.

DSM on työkalu riskianalyysin tulosten arviointiin ja jälkiprosessointiin. Se on siis päätöksentekoa *tukeva* malli, joka voi antaa päätöksentekijälle arvokasta tietoa ja joka dokumentoinnin ansiosta helpottaa päätökseen johtaneiden syiden perustelemista. Vastuu päätöksestä on kuitenkin aina päätöksentekijällä.

8 TULOKSET

8.1 Tulosten rakenne

DSM-malli käyttää hyväkseen QRA-mallin tuloksia ja lisäksi käyttäjää opastetaan syöttämään tapauskohtaisia painotuksia. DSM-mallin optimointiprosessin tuloksena esitetään kolmisivuinen taulukkolaskentaohjelman työkirja⁸. Kaksi ensimmäistä sivua sisältävät lähtöoletuksia (tekijät ja painotukset). Viimeisellä sivulla esitetään arvioidut haitat ja päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestys.

8.2 Lähtöoletusten dokumentointi

Lopputulosten perustan muodostavat lähtöoletukset on esitetty kahdella sivulla: QRA-mallista saadut tulokset (tekijät) sekä käyttäjän syöttämät painotukset. Kuvissa 5 ja 6 on esimerkit näiden tekijöiden ja painotusten dokumentoinnista.

[Help about the sheet...](#)

Direction-Period	Grouping	Category	Route	
		Consequence [per year]	Tunnel	Open
A1	A	<i>Human consequence from DG accidents</i>		
A2		Road user fatalities	5.57E+00	-
A3		Population fatalities	6.96E-03	-
B1		Road user injuries	1.10E+00	-
B2		Population injuries	8.36E-04	-
B3		Aversion factor for road user fatalities	1.9	-
		Aversion factor for population fatalities	1.4	-
		Aversion factor for road user injuries	1.0	-
		Aversion factor for population injuries	1.0	-
		<i>Intentional diversion of DG traffic</i>		
		Distance [veh km]	-	
		Time [vehicle hours]	-	
		<i>Diversion of traffic due to DG Accidents</i>		
		Accidental closure [days]	4.206	
		Cars [veh km]	4550833	
		Cars [person hours]	163401	
		HGVs [veh km]	570632	
		HGVs [vehicle hours]	8254	
		Buses [veh km]	54708	
		Buses [person hours]	31652	
		DG traffic [veh km]	702	
		DG traffic [vehicle hours]	1.02E+01	
		<i>Tunnel Damage from DG accidents</i>		
		Structure [m]	2.8	
		Internal civil [m]	3.2	
		Protected equipment [m]	16.0	
		Unprotected equipment [m]	43.5	
		<i>Env. damage from DG accidents</i>		
		Insignificant	1.31E-04	-
		Small	7.00E+00	-
		Medium	1.40E+00	-
		High	1.04E-02	-
		<i>Individual risk</i>		
		Users [fat/user km]	8.40E-09	-
		Population [fat per year]	2.28E-04	-

Kuva 5. Esimerkki DSM-mallin tekijöiden dokumentoinnista.

⁸ Spread sheet

[Help about the sheet...](#)

Selected groupings

[Help](#)

A1: Direction A - Period 1	A
A2: Direction A - Period 2	
A3: Direction A - Period 3	
B1: Direction B - Period 1	
B2: Direction B - Period 2	
B3: Direction B - Period 3	

Individual risk

Users	
Tunnel:	ok
Open:	ok
Population	
Tunnel:	ok
Open:	ok

Run optimisation to ensure consistent results

[Help about disutilities...](#)

Category	Disutility [GBP]		
	Tunnel	Open	Total
Human consequence from DG accidents	7,162,232	0	7,162,232
Road user fatalities (incl. aversion)	7,464,924	0	7,464,924
Population fatalities (incl. aversion)	6,740	0	6,740
Road user injuries (incl. aversion)	77,242	0	77,242
Population injuries (incl. aversion)	-386,674	0	-386,674
Intentional diversion of DG traffic	0	0	0
Distance [veh km]	0	0	0
Time [vehicle hours]	0	0	0
Diversion from DG Accidents	1,591,099	0	1,591,099
Loss of tolls	0	0	0
Cars [veh km]	455,083	0	455,083
Cars [person hours]	817,006	0	817,006
HGVs [veh km]	142,658	0	142,658
HGVs [vehicle hours]	99,044	0	99,044
Buses [veh km]	13,677	0	13,677
Buses [person hours]	63,304	0	63,304
DG traffic [veh km]	175	0	175
DG traffic [vehicle hours]	152	0	152
Tunnel Damage from DG accidents	415,570	0	415,570
Structure	223,032	0	223,032
Internal civil	32,198	0	32,198
Protected equipment	160,339	0	160,339
Unprotected equipment	0	0	0
Env. damage from DG accidents	220,570	0	220,570
Insignificant	0	0	0
Small	69,996	0	69,996
Medium	140,220	0	140,220
High	10,354	0	10,354
Total	9,389,471	0	9,389,471

Kuva 6. Esimerkki DSM-mallin painotuksista käytettäessä bayesialaista menetelmää.

8.3 Tulokset

Esimerkki tyypillisestä tuloslomakkeesta on esitetty kuvassa 7. Korostettuina ovat päätöksentekovaihtoehtojen paremmuusjärjestys (4), valitun strategian kuvaus (3), valitun päätösvaihtoehdon kustannusten arvioitu summa (2), jossa parhaaksi arvioitu vaihtoehto on oletuksena. Alue (1) osoittaa laskennassa (2) käytetyt VAK-rajoitusyhdistelmät.

Oheisissa kuvissa esitetyt esimerkkitulokset ovat bayesialaista menetelmää hyödyntävästä DSM-mallista. Yhtälailla voitaisiin käyttää myös SMART-menetelmää tai SMART-menetelmän ja bayesialaisen menetelmän yhdistelmää. Tulosten esitystapa on kaikilla kolmella menetelmällä samanlainen.

The screenshot shows a complex spreadsheet interface. Callout 1 points to a table of 'Selected groupings' with columns for direction and period. Callout 2 points to a large table of costs and disutilities, similar to the one in Kuva 6. Callout 3 points to a table with columns for 'Strategy' and 'Cost'. Callout 4 points to a table with columns for 'Alternative' and 'Ranking'.

Kuva 7. Esimerkkituloste DSM-mallin tuloksista.

Optimisation Strategy [Help](#)

Possible Grouping	Direction & Period
A B C D	A1
A B C D E	
A B C D E	
A B C D E	
A B C D E	
A B C D E	
A B C D E	

Independent variables: 1
Number of combinations: 4

Kuva 8. Esimerkki valitusta strategiasta. On mahdollista sulkea pois eri yhdistelmiä sekä aikajaksojen ja suuntien ryhmittelyjä. Tässä kuvassa esitetään yksinkertainen lomake, jossa ei ole eroteltu ajosuuntia ja jossa on vain yksi ajanjakso. Malli sallii kaikki ryhmät paitsi ryhmän E. Yhdistelmien lukumäärä on tässä tapauksessa siis neljä.

Optimisation Result Overview [Help](#)

Direction & Period	Total Disutility [GBP]	Human	Diversion	Acc. Div	Tun. Dmg.	Env. Dmg.	Indiv. Risk violations
A1 A2 A3							
A	9,776,226	7,548,987	0	1,591,099	415,570	220,570	No
B	9,803,846	7,560,141	17,062	1,590,913	415,062	220,668	No
C	9,871,218	7,600,967	37,537	1,586,796	409,780	236,137	No
D	10,152,986	7,625,043	286,648	1,582,292	408,943	250,060	No

Kuva 9. Päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestys. Vasemmalla olevassa taulukossa näkyy kokonaisjärjestys. Tästä nähdään, että suositeltava vaihtoehto on ryhmä A ja että ryhmien B ja C kokonaishaitat ovat hyvin lähellä ryhmän A kokonaishaittaa. Oikealla olevassa taulukossa on esitetty kokonaishaitat jaoteltuna viiteen osioon sekä mahdollisen yksilöön kohdistuvan riskin raja-arvon ylitys.

Disutility [Help about disutilities...](#)

Category Consequence type	Disutility [GBP]		
	Tunnel	Open	Total
Human consequence from DG accidents	7,548,987	0	7,548,987
Road user fatalities (incl. aversion)	7,464,924	0	7,464,924
Population fatalities (incl. aversion)	6,740	0	6,740
Road user injuries (incl. aversion)	77,242	0	77,242
Population injuries (incl. aversion)	81	0	81
Intentional diversion of DG traffic	0		0
Distance [veh km]	0		0
Time [vehicle hours]	0		0
Diversion from DG Accidents	1,591,099		1,591,099
Loss of tolls	0		0
Cars [veh km]	455,083		455,083
Cars [person hours]	817,006		817,006
HGVs [veh km]	142,658		142,658
HGVs [vehicle hours]	99,044		99,044
Buses [veh km]	13,677		13,677
Buses [person hours]	63,304		63,304
DG traffic [veh km]	175		175
DG traffic [vehicle hours]	152		152
Tunnel Damage from DG accidents	415,570		415,570
Structure	223,032		223,032
Internal civil	32,198		32,198
Protected equipment	160,339		160,339
Unprotected equipment	0		0
Env. damage from DG accidents	220,570	0	220,570
Insignificant	0	0	0
Small	69,996	0	69,996
Medium	140,220	0	140,220
High	10,354	0	10,354
Total	9,776,226	0	9,776,226

Kuva 10. Paremmuusjärjestyksessä ensimmäisen vaihtoehdon kokonaiskustannusten yksityiskohtainen erittely. Suositeltava vaihtoehto on ryhmä A eli kaikki VA-kuljetukset tunnelissa on sallittu (siksi avoimen reitin kokonaishaitta on nol-la).

9 SOVELLUKSISTA SAADUT KOKEMUKSET JA PALAUTE

9.1 QRA-mallin arviointi

Ensimmäiset kokemukset QRA-mallin soveltamista saatiin arviointiryhmältä. Nähtiin välttämättömäksi testata QRA-mallia asiantuntijoilla, jotka eivät olleet mukana mallin kehittämisessä, mutta joilla oli kuitenkin kokemusta tulosten arvioinnista. Arviointiprosessissa oli mukana yhteensä kuusi maata Keski-Euroopasta ja pohjolaista, joiden edustajina prosessissa toimivat kansalliset viranomaiset tai tunnelioperaattorit.

Sama arviointiryhmä ohjasi QRA-mallin kehittämistä. Muutamia virheitä poistettiin ja käyttöliittymää parannettiin. Ryhmä arvioi myös mallin käyttökelpoisuutta. Suunnitteilla on *on-line*-aputoiminto, mutta sitä ei toistaiseksi ole saatavilla.

QRA-mallin käyttäjäverkosto on muodostettu ja kokouksia on suunniteltu pidettävän vuosittain.

Arviointiryhmän avulla on varmistettu, että QRA-mallin antamat tulokset (riskit) vastaavat lähtöolettamuksia. DSM-mallin tuottamat suositukset ja rajoitukset, eivät ole aina samoja kuin vallitsevat rajoitukset, mikä juuri on mallin tarkoituksin.

9.2 DSM-mallin käyttö

DSM-mallin käyttökokemukset osoittavat, että päätöksentekijät suhtautuvat myönteisesti QRA-mallin lähtötietojen syöttämiseen ja rahamääräisten yksikköhintojen määrittelyyn (bayesialainen menetelmä). SMART-menetelmästä ja SMART-menetelmän ja bayesialaisen mallin yhdistelmästä on vain vähän käyttökokemuksia.

DSM-mallin käytännön sovelluksissa on huomattu, että paikalliset olosuhteet voivat vaatia mallin muokkaamista ja aiheuttaa myös ongelman yksinkertaistamisen. Esimerkiksi keskellä suurta kaupunkia sijaitsevan tunnelin sulkeminen voi aiheuttaa valtavia liikenneuhkia. Tällaisten ongelmien käsittelemistä varten malliin lisättiin uusi tekijä. Suuressa kaupungissa voi olla lukuisia tunnelireittejä, joille kullekin on useita vaihtoehtoisia reittejä. Jotta malli voitaisiin ajaa läpi kohtuullisessa ajassa, voidaan mallia yksinkertaistaa asiantuntija-arvioiden perusteella (voidaan esimerkiksi valita malliin vain todennäköisimmät tai kriittisimmät reitit).

QRA- ja DSM-mallit käsittelevät VA-kuljetusten rajoittamista tunnelissa tai tunneleissa. Perusoletus on, että jos VA-kuljetukset kielletään tunnelissa, löytyy niille vaihtoehtoinen reitti. Malleja voidaan käyttää myös yleisesti liikennepoliitikasta keskusteltaessa, mutta tämä ei ole ollut niiden kehittämisen tarkoitus.

Se, mitkä tekijät ovat määrääviä rajoituksia määriteltäessä, riippuu paikallisista olosuhteista tunnelireitillä tai vaihtoehtoisella reitillä. Lähes kaikissa tapauksissa vaikutukset ihmisiin (onnettomuuksissa kuolleet ja loukkaantuneet) ovat päätök-

senteossa tärkeimmässä asemassa, mutta myös muilla tekijöillä (ajokustannukset yms.) on merkittävä vaikutus.

Malleja käyttäneet viranomaiset ja tunnelioperaattorit ovat olleet erittäin tyytyväisiä niihin. Erityisesti viranomaiset ovat arvostaneet päätöksenteon rationaalisuutta ja sitä, että lopputulokseen vaikuttaneet tekijät on selkeästi dokumentoitu. Samoin käyttäjät ovat olleet myös tyytyväisiä DSM-mallin interaktiiviseen käyttöliittymään. Osoittautui myös, että painotusten arviointi kävi jouhevasti DSM-mallin palaute- ja opastustoimintoja sekä ohjekirjaa käyttämällä.

9.3 Kansainväliset säännökset

Mallien kehittämisen päätarkoituksena on ollut luoda yhtenäinen perusta VAK-rajoituksille OECD-maissa. Malleja käyttämällä varmistetaan, että rajoitusten taustalla on samat perusteet ja menetelmät. Yhtenäistämistavoitteesta huolimatta mallit ovat riittävän joustavia ottaakseen huomioon paikalliset olosuhteet ja tavoitteet.

Mallien arviointiprojektin päätyttyä asiantuntijaryhmä suositteli YK:n vaarallisten aineiden kuljetuskomitean asiantuntijoille, että kehitetty mallijärjestelmä sisällytettäisiin YK-suosituksiin (UN's Model Regulations). Lisäksi ryhmä totesi, että järjestelmän eteenpäin viemiseksi yhtenä työfoorumina voisi toimia YK:n Euroopan talouskomission (UNECE) työryhmä WP.15 (the Transport of Dangerous Goods Working Party 15), joka vastaa ADR-sopimuksesta.

Vuoden 2002 lopussa julkaistiin direktiiviehdotus TERN-verkon tietunnelien vähimmäisvaatimuksista. Ehdotuksen yhtenä tieteellisenä taustana mainitaan OECD/PIARC-selvitys. Ehdotuksessa tähdennetään, että VAK-rajoitukset tunneleissa on voitava perustella riskianalyysin avulla. Tämä riskianalyysi voidaan tehdä esim. tässä käsitellyllä QRA- ja DSM-mallilla.

Menetelmä mainitaan myös saksalaisen RABT⁹:n VAK-rajoitusten arviointiohjeissa.

Edellä mainitut kansainväliset viitteet ovat esimerkkejä kehityksestä kohti yhtenäistä VAK-rajoitusten arviointia.

⁹ Richtlinien fuer die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln

10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tunnelien kuljetusrajoituksista päätettäessä tulee asiaa tarkastella yhteiskuntataloudellisesta näkökulmasta. Huomioon on otettava liikenneturvallisuus tunneleissa ja vaihtoehtoisilla reiteillä sekä onnettomuuksien yhteiskunnalliset kustannukset, kiertoteiden aiheuttamat ajokustannukset, ympäristövaikutukset jne.

Tähän asti tunneliliikenteen rajoitukset on päätetty paikallisesti kansallisissa säännöksissä tai yksittäisen tunnelin pitäjän toimesta. OECD:n ja PIARC:n kehittämät mallit vaarallisten aineiden tunnelikuljetuksien turvallisuuden arvioimiseksi mahdollistavat kuljetusrajoitusten seurausten järjestelmällisen arvioinnin. Tämän pohjalta voidaan yhtenäistää rajoituskäytäntöä niin kansallisella tasolla kuin kansainvälisestikin.

Käyttäjä määrittelee mahdollisia rajoitusvaihtoehtoja ja mallien päätuloksena on esitys näiden vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksestä yhteiskunnallisten kustannusten perusteella. Tulokset on esitetty siten, että eri kustannustekijät on eritelty, joten päätöksentekijä voi arvioida vaihtoehtojen kokonaiserojen taustoja.

Mallin käytön huonona puolena voidaan pitää sen vaatimaa kohtuullisen suurta työmäärää. Lähtötietojen määrä on suuri, minkä vuoksi mallin käyttö yhdessä tunnelissa vaatii arviolta kahden henkilötyökuukauden panoksen. Toisaalta tästä aiheutuva kustannus on häviävän pieni suhteutettuna tunnelin suunnittelu- tai toteuttamiskustannuksiin tai mahdollisen onnettomuuden aiheuttamiin kustannuksiin.

Lähtötietojen syöttämisen jälkeen erilaisten rajoitus- ym. vaihtoehtojen laskenta sujuu helposti. Siten voidaan esim. suunnitteluvaiheessa tarkastella eri tekijöiden vaikutusta onnettomuuksien seuraamuksiin.

Käytettäessä QRA- ja DSM-malleja päätöksenteon tukena, tärkein mallien tuottama tulos on lista päätösvaihtoehdoista. Paras vaihtoehto on se, jolla tuottaa pienimmän arvioidun haitan. Tulokseen johtanut prosessi on läpinäkyvästi dokumentoitu ja paremmuusjärjestyksen perusteet on kuvattu.

Mallit on valmisteltu usean vuoden kansainvälisenä yhteistyöhankkeena laajan asiantuntijaryhmän voimin. Mallissa otetaan monipuolisesti huomioon erilaiset onnettomuustilanteet ja käyttäjällä on hyvät mahdollisuudet säätää mallit ottamaan huomioon paikalliset olosuhteet ja näkemykset erilaisten vaikutusten painoarvoista. **Mallien käyttöönottoa yhtenäisenä menetelmänä arvioimaan vaarallisten aineiden tietunnelikuljetusten turvallisuusvaikutuksia voidaan tukea.**

Se, mitkä tekijät ovat määrääviä rajoituksia määriteltäessä, riippuu paikallisista olosuhteista tunnelireitillä tai vaihtoehtoisella reitillä. Niinpä on käytännössä mahdotonta mallia koekäyttämättä sanoa, mihin rajoituksiin suomalaiset tunnelit sijoittuisivat. Suomessa tavoitteena olisi, ettei vaarallisten aineiden kuljetusta tunneleissa tarvitsisi rajoittaa (ryhmä A). Mallin avulla voidaan analysoida, millä toimenpiteillä tähän eri tunneleissa kustannustehokkaimmin päästään.

Mallien käytöstä tulisi hankkia suomalaisia kokemuksia. Tämän työn puitteissa ei ollut mahdollisuuksia varsinaiseen koekäyttöön. **Mallia voitaisiin koekäyttää esim. Vuosaaren sataman tieliikennetunnelin suunnittelun yhteydessä.**

Malleja ei voida käyttää tunnelien yleisen liikenneturvallisuustason arviointiin vaan siinä käytetään lähtötietona mallin tietokannassa olevia tai käyttäjän syöttämiä onnettomuusasteita. On esitetty, että malliin olisi hyödyllistä tehdä linkki johonkin hyväksi havaittuun yleiseen onnettomuusarviointiohjelmaan.

Jotta kuljetusrajoituksista voitaisiin helpommin tiedottaa, vaaralliset aineet on mallissa ryhmitelty räjähdysriskin, myrkyllisten aineiden päästöjen ja tulenarκουuden perusteella viiteen ryhmään A-E. YK:n (UNECE:n) Inland Transport Committee:n WP.15:ssä Itävalta on ehdottanut, että tämä luokittelu (A...E) vietään ADR-sopimukseen käytettäväksi vaarallisten aineiden kuljetuksiin tunneleissa. Ehdotus on perusteltu.

Liite 1. OECD:n mallissa käytetty kuljetusten ryhmittely aineiden ADR-luokan mukaisesti

Class	Grouping A	Grouping B	Grouping C	Grouping D	Grouping E
	All dangerous goods permitted to be transported by ADR.	All dangerous goods except those with very large explosion hazard.	All dangerous goods except those with very large explosion, large release of toxic gas or liquid or risk of cold BLEVE hazard.	All dangerous goods except those with very large explosion, large release of toxic gas or liquid or risk of cold BLEVE and large fire hazard.	No dangerous goods above ADR 10 011 threshold.
1	All	Below ADR 10 011 threshold only.	Below ADR 10 011 threshold only.	Below ADR 10 011 threshold only.	Below ADR 10 011 threshold only.
2	All	A, O, T, TC, TO, TOC Gases in tanks and cylinders only.	A, O and F gases in cylinders only.	A, O, F gases in cylinders only.	Below ADR 10 011 threshold only.
3	All	All except 6°, 7°.	All except 6° and 7° and 1° -5°, 31° -34° in tanks/tank containers.	All except 6° and 7° and substances in tanks/tank containers.	Below ADR 10 011 threshold only.
4.1	All	All except 21° -25°, 31°, 32°, 41°, 42°.	All except 21° -25°, 31°, 32°, 41°, 42°.	All PG II and III substances except 21° -25°, 31° -50°.	Below ADR 10 011 threshold only.
4.2	All	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	Below ADR 10 011 threshold only.
4.3	All	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	Below ADR 10 011 threshold only.
5.1	All	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	All PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	Below ADR 10 011 threshold only.
5.2	All	All except 1°, 2°, 11° and 12°.	All except 1°, 2°, 11° and 12°.	Below ADR 10 011 threshold only.	Below ADR 10 011 threshold only.
6.1	All	ADR items 11° -28°, 31° -36°, 41° -44°, 51° -68°, 71° -73° and 90° in tanks/tank containers and packaging.	All ADR items in Grouping B in packaging, PG II and III in tanks/tank containers.	All ADR items in Grouping B in packaging, PG II and III in tanks/tank containers.	Below ADR 10 011 threshold only.
6.2	All	Items 3°, 4°.	Items 3°, 4°.	Items 2°, 3°, 4°.	Below ADR 10 011 threshold only.
7	All	All	All except UN Nos. 2977 and 2978.	All except UN Nos. 2977 and 2978.	Below ADR 10 011 threshold only.
	All dangerous goods permitted to be transported by ADR.	All dangerous goods except those with large explosion Hazard.	All dangerous goods except those with large explosion, large release of toxic gas or liquid or risk of cold BLEVE hazard.	All dangerous goods except those with large explosion, large release of toxic gas or liquid or risk of cold BLEVE hazard.	No dangerous goods above ADR 10 011 threshold.
8	All	All	PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	PG II and III substances in tanks/tank containers. All substances in packages.	Below ADR 10 011 threshold only.
9	All	All	All	All except item 4 in tanks/tank containers.	Below ADR 10 011 threshold only.

Key: PG = Packing Group; A = Asphyxiant; C = Corrosive; F = Flammable; O = Oxidising; T = Toxic.

Note: Empty uncleaned tanks/tank containers and packaging shall be treated as if full or part-full.

Liite 2 Päätöksenteon prosessikaavio

