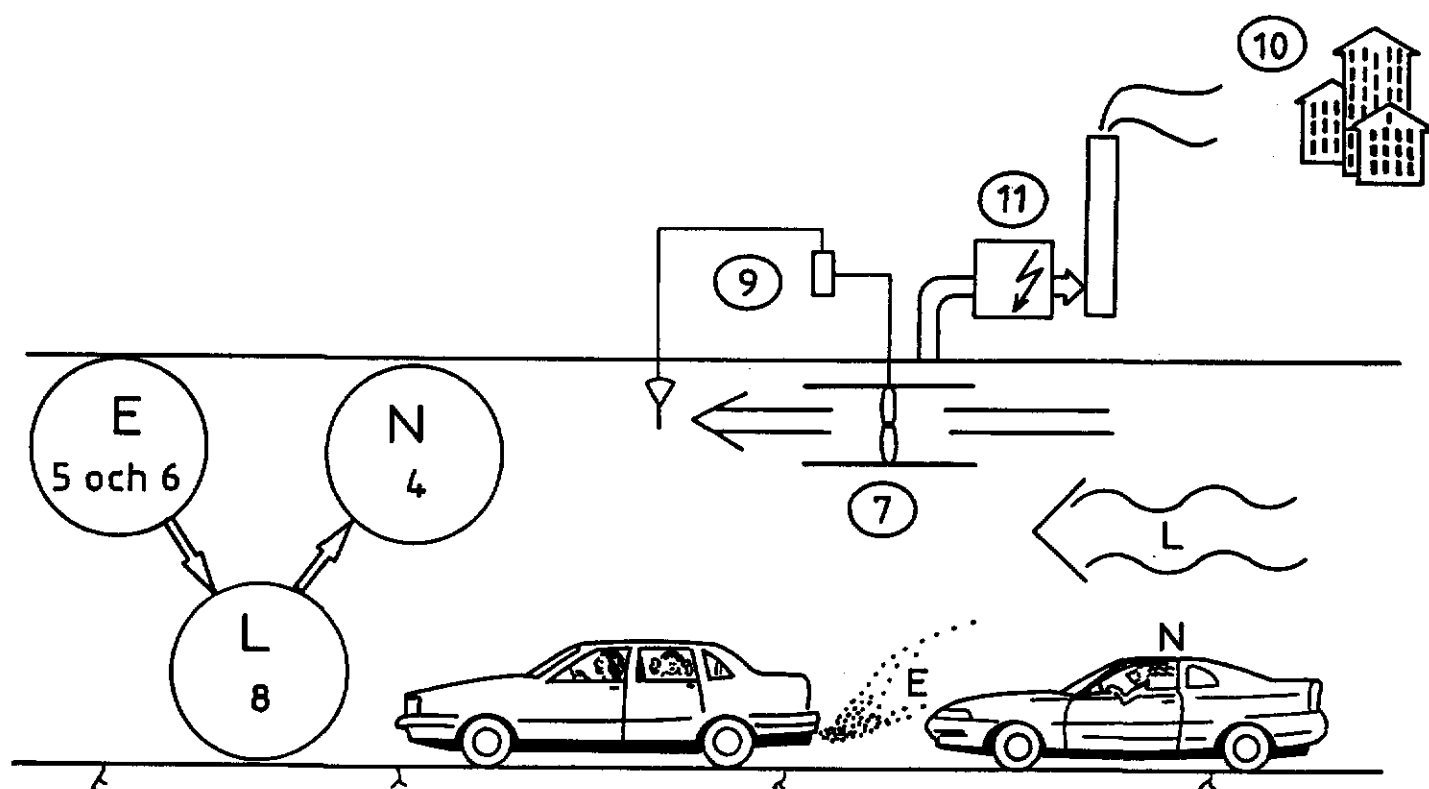


# Ventilation av vägtunnlar



Denna rapport ingår i Nordiska Vägtekniska Förbundets rapportserie.

Utskott 61 Broar och tunnlar, underutskott om tunnlar.

Rapport 6 : 1993

ISBN 951-47-7681-X

Nordiska Vägtekniska Förbundet, Helsingfors

Tryckt hos

TRYCKERICENTRALEN AB, HELSINGFORS 1993

beställningar

Vägverket, Broservice

## Innehållsförteckning

1.	<b>FÖRORD</b> .....	1-1
1.1	Preface .....	1-2
2.	<b>SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER</b>	2-1
2.1	Conclusion and recommendations .....	2-4
2.2	Yhteenveto ja suosituksia .....	2-6
3.	<b>INLEDNING</b> .....	3-1
3.0	Bakgrund – varför ventilation .....	3-1
3.1	Emissioner från trafiken .....	3-3
3.2	Val av gränsvärden .....	3-3
3.3	Ventilationssystem .....	3-3
4.	<b>NIVÅER – GRÄNSVÄRDEN</b> .....	4-1
4.0	Allmänt .....	4-1
4.1	Exempel på internationella riktvärden .....	4-2
4.2	Exempel på nordiska bestämmelser och riktvärden .....	4-9
	Danmark .....	4-9
	Finland .....	4-11
	Norge .....	4-12
	Sverige .....	4-15
5.	<b>EMISSIONER</b> .....	5-1
5.0	Allmänt .....	5-1
5.1	Trafik .....	5-1
5.2	Emission från fordon .....	5-4
6.	<b>BRAND</b> .....	6-1
6.0	Allmänt .....	6-1
6.1	Brandens storlek .....	6-1
6.2	Uteluftsbehov och lufthastigheter i tunneln .....	6-2
6.3	Ventilationsprincip vid brand .....	6-3
6.4	Ventilationssystemets utformning .....	6-5
6.5	Dimensionering av ventilationssystemet .....	6-6
6.6	Styrning och instruktioner .....	6-7

## Innehållsförteckning

7.	VENTILATIONSSYSTEM .....	7-1
	7.0 Olika ventilationssystem .....	7-1
	7.1 Mekanisk ventilation .....	7-2
	7.2 Säkerhet i ventilationssystemet .....	7-3
	7.3 Styrning av ventilationssystemet .....	7-6
	7.4 System för drifttidsmätning .....	7-6
	7.5 Buller .....	7-6
	6.6 Kostnader .....	7-7
8.	LUFTFLÖDEN .....	8-1
	8.0 Allmänt .....	8-1
	8.1 Beräkning av luftbehov .....	8-1
	8.2 Utsläppsfaktorer för CO och NO .....	8-2
	8.3 Beräkning av impuls kraft vid längsventilation .....	8-6
9.	STYRNING OCH ÖVERVAKNING .....	9-1
	9.0 Allmänt .....	9-1
	9.1 Säkerhet och kontroll .....	9-2
	9.2 Styrning .....	9-3
	9.3 Övervakning .....	9-5
	9.4 Specialtransporter och risktransporter .....	9-5
	9.5 Underhåll .....	9-6
10.	FÖRORENINGAR MOT OMGIVNINGEN .....	10-1
	10.0 Allmänt .....	10-1
	10.1 Föroreningar .....	10-1
	10.2 Beslutade gränsvärden för luftkvalitet i omgivningen .....	10-1
	10.3 Värdering och beräkning av luftföroreningar från vägtunnlar .....	10-1
11.	RENING .....	11-1

## 1. FÖRORD

NVF beslutade 1988 att utskott 61 skulle utvidga sitt arbetsområde till att också omfatta trafiktunnlar.

Utskott 61 tillsatte därför ett underutskott för tunnlar med uppgift att lägga fram förslag till riktlinjer för projektering, byggande, drift och underhåll av trafiktunnlar.

Vid förbundsutskottets möte i Bergen, mars 1989, fastlades slutligen uppgifterna för underutskottet. En av deluppgifterna var "Kartläggning av existerande större vägtunnlar i Norden", som avrapporterats som NVF Delrapport A 1991.

Med hänvisning till beslutet vid mötet i NVF-utskott 61 i Korsør den 26 augusti 1991 har underutskottet utarbetat följande rapport om tunnelventilation.

Underutskottet har haft följande sammansättning:

Tekn.direktör Johnny Andersson	Scandiaconsult AB	Sverige
Civilingenjör Bernt Freiholtz	Vägverket	Sverige
Överingenjör Jan Eirik Henning	Vegdirektoratet	Norge
Civilingenjör Torben Monrad	Vejdirektoratet	Danmark
Diplomingenjör Olli Niskanen	Vägstyrelsen	Finland
Överingenjör Erik Norstrøm	Vegdirektoratet	Norge
Civilingenjör Egon Sørensen	Comar Engineers A/S	Danmark
Akademiing. Jens Vejlbj Thomsen	Vejdirektoratet	Danmark

I rapporten redogörs för principerna för tunnelventilation, där tyngdpunkten läggs på längsventilation. Dessutom redogörs för gällande praxis i de olika nordiska länderna samt för regler och praxis, som gäller i en rad andra länder.

Rapporten var ursprungligen tänkt att utgöra ett underlag till gemensamma nordiska riktlinjer för tunnelventilation. Förutsättningarna och miljökraven i de nordiska länderna är emellertid så olika, att detta inte varit möjligt.

Underutskottet hoppas emellertid, att den föreliggande rapporten kan ge inspiration till dem, som projekterar och underhåller vägtunnlar samt utgöra ett diskussionsunderlag då det gäller att fastställa likartade riktlinjer och miljökrav på luften i trafiktunnlar och deras omgivning.

## 1.1 PREFACE

NVF decided 1988 that Section 61 should widen its scope of work to include also traffic tunnels.

Section 61 therefore appointed a *Subsection For Tunnels* with the purpose to present proposals for guidelines for the design, construction, operation and maintenance of traffic tunnels.

At the meeting of Section 61 at Bergen, Norway, in March 1989, the final scope of work for the subsection was decided. One task was "Review of existing larger traffic tunnels in the Nordic countries," that was reported as NVF Sub-Report B 1991.

Referring to the decision at the meeting of NVF Section 61 at Korsør, Denmark, August 26 1991, the Subsection has prepared the following report on tunnel ventilation.

The *Subsection For Tunnels* has had the following members:

Techn. Director Johnny Andersson	Scandiaconsult AB	Sweden
M.Sc. Bernt Freiholtz	Vägverket	Sweden
Chief Engineer Jan Eirik Henning	Vegdirektoratet	Norway
M.Sc. Torben Monrad	Vejdirektoratet	Denmark
M.Sc. Olli Niskanen	Vägstyrelsen	Finland
Chief Engineer Erik Norstrøm	Vegdirektoratet	Norway
M.Sc. Egon Sørensen	Comar Engineers A/S	Denmark
M.Sc. Jens Vejlbj Thomsen	Vejdirektoratet	Denmark

In the Report the principles for tunnel ventilation are presented with special emphasis put on longitudinal ventilation. The Report also presents rules and practice for tunnel ventilation in the Nordic countries, also in several other countries.

The Report was originally intended to form a basis for common Nordic guidelines for tunnel ventilation. Background and environmental demands vary however to such an extent between the Nordic countries that this has not been possible.

The members of the Subsection hope however that this Report will give inspiration to those who design and maintain road tunnels and that will form also a basis for discussions about common guidelines and environmental demands for the air in traffic tunnels and in their environment.

## **2. SAMMANFATTNING OCH REKOMMENDATIONER**

Existerande vägtunnlar i de nordiska länderna ventileras med få undantag med längsventilation och det kan förväntas att den ventilationsprincip också i fortsättningen kommer att vara den normala.

För de flesta tunnlar kommer det normalt att vara möjligt att arrangera frånluftsschakt. Alternativt kan luftreningssystem vara aktuella.

Ventilationssystemet dimensioneras dels för luftföroreningarna i tunneln och dels för de krav som uppstår vid en brand i tunneln.

Emissionen av hälsofarliga ämnen från fordonsmotorerna är den direkta orsaken till luftföroreningarna i tunneln. Under de kommande åren kan skärpta bestämmelser för fordonsemissioner förväntas leda till lägre föroreningshalter i tunnlarna. Detta motverkas dock av en förväntad ökad trafikmängd. I avsnitt 4 redovisas riktlinjer för beräkning av fordonsemissioner på basis av nu gällande krav vilka i stort sett alla fordon kan förutsättas uppfylla inom den närmaste framtiden.

Nästa viktiga faktor vid dimensionering av tunnelns ventilationssystem är de maximalt accepterade koncentrationerna av skadliga ämnen i tunnelluften.

Som framgår av avsnitt 3 är det en väsentlig skillnad på kraven inom detta område mellan de olika länderna. Speciellt stor är skillnaden i praxis när det gäller NO<sub>2</sub>, där det visat sig vid undersökningar att även mycket låga koncentrationer kan skapa problem för astmatiker.

När den dimensionerande emissionen och den maximalt tillåtna koncentrationen i tunnelluften har bestämts, kan det erforderliga tilluftsflödet beräknas och därmed storleken på ventilationssystemet bestämmas enligt de riktlinjer som ges i avsnitt 6.

En speciellt farlig situation kan uppstå vid brand i tunneln. För att motverka detta bör ventilationssystemet utformas och dimensioneras så, att rökspridningen vid en brand kan kontrolleras i rimlig omfattning. För detta redogörs närmare i avsnitt 5.

Om tunnelmynningarna ligger i närheten av bebyggelse kan den förorenade tunnelluften medföra att koncentrationen av skadliga ämnen blir oacceptabelt hög om tunnelluften enbart blåses ut via tunnelmynningarna.

I sådana fall kan det vara nödvändigt att komplettera systemet med tillräckligt höga avlufttorn, likaså kan det bli aktuellt med att rena tunnelluften. Dessa problem och möjligheter beskrivs närmare i avsnitten 9 och 10.

Under arbetet med rapporten har det visat sig, att de regler och den praxis för dimensionering av tunnelventilationssystem som tillämpas i de olika nordiska länderna och internationellt varierar på en rad punkter.

Det gäller speciellt två förhållanden, som har stor betydelse för dimensionering och drift av ventilationssystem i tunnlar:

- Gränsvärdena för NO<sub>2</sub>-koncentration
- Krav på ventilationssystemet vid brand i tunneln.

Inom det förstnämnda området är kraven i Sverige, som tillämpar WHO's riktlinjer, högre än de som tillämpas i Danmark medan de norska kraven ligger mellan de två andra.

Utanför Norden är det få länder som ställer krav på NO<sub>2</sub> och, i de länder där så görs, tillåts värden som är betydligt högre än de svenska.

I de flesta länder dimensioneras ventilationssystemen efter tillåten CO-koncentration och krav på sikt och det förutsätts att NO<sub>2</sub> inte utgör något problem så länge dessa andra värden innehålls.

Skärpta krav på fordonsemissioner kommer gradvis att medföra att föroreningarna minskar. Speciellt gäller detta CO och i mindre grad också NO<sub>2</sub> och sotpartiklar. Då det dessutom förekommer att tunnlar med högre trafik och/eller belägna i känslig miljö förses med reningssystem där sotpartiklarna avskiljs (Norge och Japan) blir slutresultatet, att NO<sub>2</sub> som förorening får en allt större betydelse som dimensionerande faktor. Det är därför utomordentligt viktigt, att värden för tillåtna koncentrationer fastställs.

För att kunna kontrollera rökspridningen vid brand i en tunnel ställs i Sverige och Danmark krav på att ventilationssystemet skall kunna skapa en viss minsta lufthastighet i båda riktningarna i tunneln. I Norge ställs, bl.a. motiverat med att många norska tunnlar har låga trafikflöden, inga speciella krav på dimensionering av ventilationssystemen med hänsyn till brand i tunnlar.

Då de ovan redovisade förhållandena har väsentliga ekonomiska konsekvenser såväl på anläggs- som driftkostnader för tunnelventilationssystemen vore det önskvärt att dessa frågor klarades av.



Rening av tunnelluft studeras för närvarande intensivt i Norge. Offentliga instanser i de övriga nordiska länderna kan kanske vara intresserade av att medverka eller bidra med egna prov. Ett närmare samarbete inom detta område bör övervägas.

### **Referenser**

- [1] Rijkswaterstaat: Ventilatie van Autotunnels, juli 1991.
- [2] PIARC: Technical Committee Report No.5, XVIIIth World Road Congress, Bryssel 13–19 September 1987.
- [3] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, Report No.5, XIXth World Road Congress, Marrakesh 22–28 September 1991.
- [4] Stockholmsleder AB: Tunnelstandard för Ringen, 6 mars 1992.

## **2.1 CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS**

Existing road tunnels in the Nordic countries are, with few exceptions, longitudinally ventilated. This ventilation principle is also anticipated to be the normal one in the future.

For most tunnels it will normally be possible to arrange shafts for the extract air. Air cleaning systems may otherwise be an alternative.

The ventilation system is dimensioned both to handle the air impurities in the tunnel and to provide safety during a fire in the tunnel.

The emission of health dangerous substances from the vehicle engines is the direct ground for the air impurities in the tunnel. During the forthcoming years stronger demands for lower vehicle emissions are expected to lead to lower contaminant levels in the tunnels. This force will however be weakened by an anticipated increased traffic flow. Guidelines for the calculation of vehicle emissions are given in chapter 4. These guidelines are based on the demands in force today who will be covered by all vehicles in the near future.

The maximum accepted concentration levels for health hazardous substances in the tunnel air is the next important factor when designing the ventilation system for the tunnel.

There is a big difference in decided demand levels within this area in different countries. The difference in accepted practice is especially large when it comes to nitrogen dioxide, NO<sub>2</sub>, for which substance test has shown that even very low concentration levels can cause problems for asthmatics.

When the dimensioning emission concentration level and the maximum permissible concentration level in the tunnel air has been decided, the necessary supply air flow can be calculated and the size of the ventilation system be decided according to the guidelines given in chapter 6.

A fire in the tunnel can create a special danger. To counteract this, the ventilation system should be designed and dimensioned so that the dispersion of smoke from the fire is controlled in an acceptable manner. This is described in chapter 5.

When the tunnel portals are situated near buildings the contaminated air from the tunnel can result in unacceptable high concentration levels if the air only is exhausted through the portals.

In such cases it might be necessary to add extract air stacks of sufficient height to the system and to consider installation of dust precipitators for cleaning the tunnel air. These problems and possibilities are described in chapters 9 and 10.

During the work with this report it has been clear that the rules and the established practice for dimensioning tunnel ventilation systems vary in many ways both in the Nordic countries and internationally.

This is valid especially for two situations having great importance for the dimensioning and operation of ventilation systems in tunnels:

- Threshold values for NO<sub>2</sub>-concentration
- Demands on the ventilation system during a fire in the tunnel.

Within the former area the demands in Sweden, using the WHO's guidelines, are higher than those in practice in Denmark while the Norwegian demands are between the other two.

Outside the Nordic countries very few countries have any demands on NO<sub>2</sub> and, where this is the case, the accepted values are considerably higher than the Swedish.

In most countries the ventilation system is dimensioned according to the permissible CO-concentration and to demands on sight level. It is anticipated then that NO<sub>2</sub> will not cause any problem as long as these other values are kept within boundaries.

Stronger demands on vehicle emissions will gradually lead to reduced contaminant emissions. This is especially valid for CO and to a less degree also for NO<sub>2</sub> and soot particles. As some tunnels with high traffic flows and/or located in a sensible environment are equipped with dust precipitating systems where the soot particles are removed (Norway and Japan) the result will be that NO<sub>2</sub> as a contaminant will be more important as a dimensioning factor in the future. It is therefore of vitally importance that acceptable concentration levels are established.

In order to control the smoke spread in a tunnel during a fire, the ventilation system shall be able to create a minimum air speed in both directions in the tunnel according to the demands in Sweden and Denmark. In Norway no special demands for dimensioning the ventilation system for fires in the tunnel are given; this is among other things based on the fact that many Norwegian tunnels have low traffic flows.

As the circumstances related above have considerable economic consequences both for the ventilation system investment costs and for the operation costs it would be an advantage if these questions were dealt with.

Methods and systems for cleaning tunnel air are now studied intensively in Norway. Official authorities in the other Nordic countries might be interested to participate or contribute with own tests. A closer cooperation within this field should be considered.

### **References**

- [1] Rijkswaterstaat: Ventilatie van Autotunnels, July 1991.
- [2] PIARC: Technical Committee Report No.5, XVIIIth World Road Congress, Brussels 13–19 September 1987.
- [3] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, Report No.5, XIXth World Road Congress, Marrakesh 22–28 September 1991.
- [4] Stockholmsleder AB: Tunnelstandard för Ringen, 6 March 1992.

## 2.2 YHTEENVETO JA SUOSITUKSIA

Tietunnelit ovat Pohjoismaissa harvoja poikkeuksia lukuunottamatta varustettu pitkittäisilmanvaihdolla ja jatkossakin voidaan tämän ilmanvaihtopriaatteen olettaa tulevan useimmiten kysymykseen.

Useimpiin tunneleihin on mahdollista järjestää poistoilmakuiluja. Vaihtoehdoisesti voivat ilmanpuhdistusjärjestelmät tulla kysymykseen.

Ilmanvaihtojärjestelmät mitoitetaan toisaalta ilman tunnelissa olevien epäpuhtauksien ja toisaalta tulipalon synnyttämien vaatimusten mukaan.

Pakokaasupäästöjen sisältämät terveydelle vaaralliset yhdisteet ovat suoraan syy tunneleiden ilman epäpuhtauksille. Tulevina vuosina voidaan tiukkojen ajoneuvojen pakokaasupäästövaatimusten odottaa johtavan pienempiin tunneli-ilman epäpuhtauspitoisuuksiin. Liikenteen odotettavissa oleva kasvu toisaalta lisää niitä. Kappaleessa 4 selvitetään ajoneuvopäästöjen määrää lähtökohtana nykyisin voimassa olevat vaatimukset, jotka kaikkien ajoneuvojen voidaan lähitulevaisuudessa suurimmaksi osaksi olettaa täyttävän.

Seuraava tärkeä tekijä tunnelin ilmanvaihdon mitoituksessa on tunneli-ilman vahingollisten aineiden hyväksyttävät suurimmat pitoisuudet.

Kuten luvussa 3 käy ilmi, on eri maiden vaatimuksissa oleellisia eroja sallittaville epäpuhtauksille. Eriyisen suuri ero on käytännössä  $\text{NO}_2$ :n ollessa kyseessä. Sen hyvinkin pieni pitoisuus voi tutkimusten mukaan aiheuttaa ongelmia astmaatikoille.

Kun mitoittavat päästöt ja suurimmat sallitut pitoisuudet tunnelin ilmassa on määrätty, voidaan laskea ulkoa tuotava vaadittava ilmamäärä ja siten ilmanvaihtojärjestelmän koko luvussa 6 annettujen ohjeiden mukaisesti.

Eriyisen vaarallinen tilanne tunnelissa voi syntyä tulipalon vuoksi. Siltä varalta ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltava ja mitoitettava niin, että savun leviäminen saadaan pidetyksi hallinnassa riittävän hyvin. Luvussa 5 käsitellään lähemmin palotilannetta.

Jos tunnelin suu on asutuksen lähellä ja ilma puhalletaan ulos yksinomaan tunnelin suun kautta, voi likaantunut tunnelin ilma aiheuttaa vahingollisten yhdisteiden pitoisuuden nousun yli hyväksyttävän tason.

Tällaisissa tapauksissa voi olla välttämätöntä täydentää järjestelmää korkeilla poistopiipuilla samoin ilman puhdistaminen voi tulla ajankohtaiseksi. Näitä ongelmia ja mahdollisuuksia käsitellään tarkemmin luvuissa 9 ja 10.

Tätä ohjetta tehtäessä on osoittautunut, että eri Pohjoismaissa ja kansainvälisesti noudatettavat tunnelin ilmanvaihdon mitoitusarvot ja tavat eroavat monissa kohdin.

Erytyisesti kahdella seuraavalla tekijällä on suuri vaikutus tunneleiden ilmanvaihtojärjestelmien mitoitukseen ja käyttöön:

- NO<sub>2</sub> - pitoisuuden raja-arvot
- ilmanvaihdolle palotilanteessa asetettavat vaatimukset

Ruotsissa, joka noudattaa WHO:n ohjeita, ovat vaatimukset ensinmainitussa kohdassa korkeammat kuin Tanskassa, kun taas Norjassa vaatimukset ovat edellämainittujen välillä.

Harvoissa maissa Pohjoismaiden ulkopuolella asetetaan vaatimuksia NO<sub>2</sub>-pitoisuuksille, ja niissä maissa, joissa niitä on, ovat vaatimukset selvästi ruotsalaisten alapuolella.

Useimmissa maissa ilmanvaihtojärjestelmät mitoitetaan CO-pitoisuuden ja näkyvyyden perusteella ja oletetaan ettei NO<sub>2</sub>-pitoisuus aiheuta ongelmia niinkauan, kun muut arvot pysyvät rajoissa.

Ajoneuvopäästöjen tiukentuvat vaatimukset tulevat asteittain vähentämään epäpuhtauksien määrää. Erytyisesti tämä koskee CO-pitoisuutta ja vähäisemmässä määrin myös NO<sub>2</sub>-pitoisuutta ja noen määrää. Kun sitäpaitsi tulee entistä yleisemmäksi varustaa tunnelit puhdistuslaittein, joilla poistetaan pölyä, lopputuloksena on, että NO<sub>2</sub>-pitoisuudella epäpuhtautena tulee mitoitavana tekijänä entistä suurempi merkitys. Tämän takia on erityisen tärkeää määritellä sallitut pitoisuudet.

Jotta savun leviämistä tulipalon tapahtuessa tunnelissa voidaan hallita, asetetaan Ruotsissa ja Tanskassa vaatimukset ilmavirtauksen vähimmäisnopeudelle molempiin suuntiin. Norjassa ei aseteta ilmanvaihdon mitoitukseen erityisvaatimuksia palotilanteen varalta perusteluna monien tunneleiden vähäinen liikennemäärä.

Koska yllä selostetuilla seikoilla on oleellinen vaikutus ilmanvaihtojärjestelmien hankinta- ja käyttökustannuksiin, tulisi nämä kysymykset selvittää.

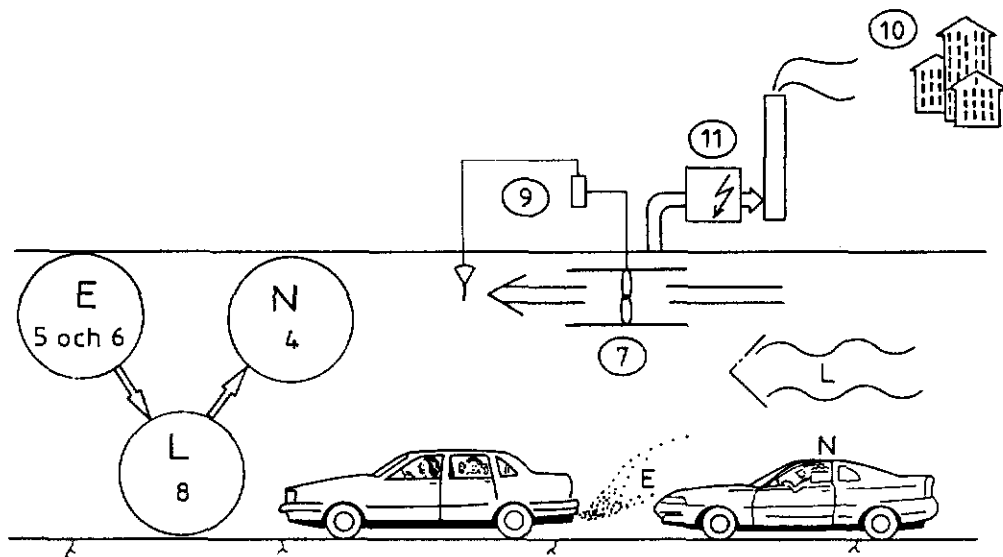
Ilman puhdistamista tunneleissa tutkitaan tällä hetkellä Norjassa mielenkiinnolla. Muissa pohjoismaissa virallisilla tahoilla löytynee mielenkiintoa myötävaikuttaa asiassa tai auttaa omin kokein. Lähempää yhteistyötä tällä alueella on syytä harkita.

### 3. INLEDNING

#### 3.0 Bakgrund – varför ventilation?

Skälet till att man förser tunnlar med ventilation är primärt:

- att tunnelluftens innehåll av hälsoskadliga ämnen skall hållas på en acceptabel nivå
- att sikten i tunneln skall vara tillfredsställande trots att damm och partiklar avges från trafiken
- att trafikanters och räddningspersonals säkerhet skall kunna säkerställas vid bränder i tunneln
- att bidra till att arbetsmiljön i tunneln blir acceptabel både för driftpersonalen vid underhålls- och reparationsarbeten och för räddningspersonalen vid olyckor.



färdtiden genom tunneln och luftutbytet mellan kupéutrymme och omgivningsluft. Det kommer att uppstå en eftersläpning som till sin storlek beror av antalet luftväxlingar i bilen. Utförda försök [1] visade att värden mellan 0,9–80 luftväxlingar per timme kunde erhållas. Variationerna beror på körförhållanden och på hur ventilationsutrustningen och fönstren etc. hanterades. Försöken visade att om man stoppade kupéfläkten och ventilationsöppningarna vid inträdet i tunneln kunde dosen som trafikanten utsätts för reduceras väsentligt.

I längre tunnlar med hög andel tung trafik kan sikten nedsättas av partiklar i luften, i sådana fall kan stoftavskiljare minska behovet av utspädningsluft. Någon praktiskt fungerande gasrenare finns inte än för de stora luftflöden och de besvärande driftförhållanden man har i trafik tunnlar – men försök pågår att finna lösningar.

### **3.1 Emissioner från trafiken**

Bilavgaser innehåller en mängd skadliga ämnen, bl a kväveoxider ( $\text{NO}_x$ ) av vilka en del utgörs av kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ), kolmonoxid (CO), svaveldioxid ( $\text{SO}_2$ ), kolväten (CH), bly (Pb) och sot. Beroende på bränsle- och motortyp kan endera av kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ) eller kolmonoxid (CO) anses vara dominerande ur hälso- och miljösynvinkel och därför luftflödesdimensionerande för ventilationssystemen.

### **3.2 Val av gränsvärden**

Vid val av gränsvärden för kvävedioxid och kolmonoxid är det viktigt att ta hänsyn till den samlade effekten av de ämnen som förekommer i avgaser inklusive cancerframkallande ämnen.

### **3.3 Ventilationssystem**

Valet av ventilationsprincip – längsventilation, tvärventilation eller mellanformer – påverkas av en mängd faktorer, såsom tunnallengd, tunneltvärsnitt, byggmetoder, nationella traditioner, investerings- och driftkostnader, brandkrav m.m. som varierar för olika tunnelprojekt.

#### Planläggningsförutsättningar

Sätten att driva projekt, ansvarsförhållanden, myndighetskrav och behandling av ärenden, beslutsprocesser, upphandlingssätt, entreprenadjuridik med mera, varierar kraftigt mellan olika länder. Det har därför inte varit möjligt eller meningsfullt att beskriva dessa frågor i denna rapport.

#### Drift- och underhåll

Den tekniska utrustningen i tunnlar, t.ex. ventilationssystemen, utsätts för stora påfrestningar och korrosiv miljö; det är viktigt att det förebyggande och avhjälpande underhållet är dimensionerat för detta. Det är viktigt att tänka på att investeringsbeslutet om systemen direkt också måste leda till ett



Ventilationen har till uppgift att späda ut föroreningar till en acceptabel nivå. Sambandet mellan dessa tre storheter, emission, utspädning och resulterande föroreningsnivå kan synas trivialt:

1. Fordonens motorer avger föroreningar – Emissionen
2. Människan är känslig för dessa föroreningar vid viss föroreningshalt – Nivån
3. Genom utspädning av föroreningen med luft sänks nivån – Luftflödet

$$E/L = N \quad (\mu\text{g/s})/(\text{m}^3/\text{s}) = (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

dvs om emissionen är hög och/eller den accepterade nivån är låg så krävs det större utspädning eller rening.

Denna rapport beskriver de områden som schematiskt visas med sina avsnittsnummer i figuren ovan. Den inleds med en sammanfattning i avsnitt 2. De nivågränsvärden som idag tillämpas internationellt och inom de nordiska länderna – N i figuren ovan – beskrivs i avsnitt 4, emissionerna – E ovan i avsnitt 5, och metoder för beräkning av de ventilationsluftflöden – L, som krävs för utspädning av föroreningarna till acceptabel nivå i avsnitt 8.

Utspädningen av föroreningarna kan ske på flera sätt, exempel på ventilationsprinciper som tillämpas i vägtrafiktunnlar ges i avsnitt 7. De luftflöden som erfordras för utspädningen varierar med trafikflöde och emissionsbelastning och måste styras med hjälp av ett styr- och övervakningssystem som bland annat kontrollerar att föroreningsnivåerna inte överskrider i tunneln, detta redovisas i avsnitt 9.

Hur omgivningen skall skyddas mot föroreningar från tunneln beskrivs i avsnitt 10. Möjligheterna att minska föroreningsnivåerna i tunnel och mot omgivningen genom stoftrening redovisas i avsnitt 11. Avsnitten redovisar i slutet en förteckning över litteratur inom respektive område till hjälp för den som vill tränga djupare.

I detta inledande avsnitt vill vi visa på det samband som gäller mellan emissionerna från trafiken, de tillåtna föroreningsnivåerna och utspädningen. Det är viktigt att skilja på de riktvärden som gäller för trafikanten i tunneln – där exponeringstiden ofta är relativt kort – och för de boende i omgivningen, som påverkas av föroreningarna i omgivningen kring boendemiljön under lång tid.

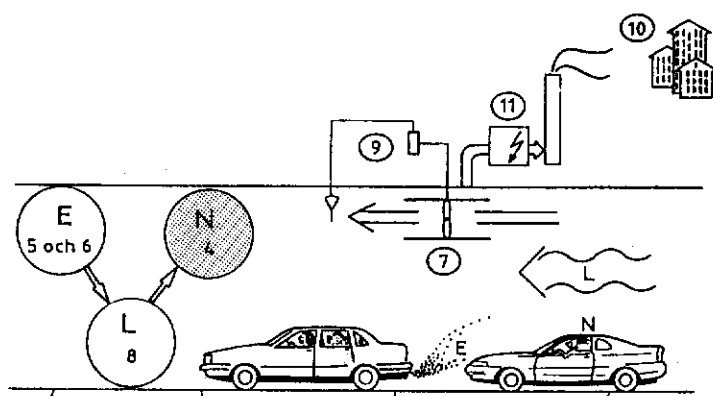
Den föroreningshalt som en fordonstrafikant i tunneln utsätts för beror av koncentrationsgradienten i tunneln och luftväxlingen mellan fordonets kupéutrymme och utsidan. Varaktigheten av den högre halten beror av

beslut om att säkerställa resurser för drift och underhåll av systemen under lång tid framöver. Val av system och komponenter bör därför baseras på en bedömning av s.k. life-cycle-cost, dvs. de totala framtida kostnaderna under utrustningens ekonomiska livslängd.

Planering av driftutrymmen, placering av utrustning skall utföras så, att underhållsarbetena underlättas och kan ske säkert och i god arbetsmiljö.

### **Referenser**

- [1] Gideon Gerhardsson: Koloxid från bilavgaser som riskfaktor i stadstrafik, Statens luftvårdsnämnds meddelande 6701.



## 4. NIVÅER - GRÄNSVÄRDEN

### 4.0 Allmänt

Utvecklingen under senare år har gått mot lägre gränsvärden.

Skäl till detta har varit att man konstaterat att allt fler människor har tenderat att bli allt mer känsliga för föroreningar i omgivningen. Toleranströskeln för föroreningarna har sänkts hos dessa människor, i skrämmande många fall har överkänsligheten utvecklats till astma och allergier. Orsaken till att så skett anses till del vara att vi vistas mer inomhus idag än tidigare, i en inomhusmiljö som försämrats – i bland så kraftigt att byggnaderna klassificerats som "sjuka" – genom användning av olämpliga byggnads- och inredningsmaterial kombinerat med tätare hus och minskad ventilation. För människor som är känsliga kan ämnen i bilavgaser, främst kvävedioxid utlösa till exempel astmaanfall. Nedan kommer att redovisas gränsvärden för föroreningar i bilavgaser som tillämpas i olika länder.

**Kolmonoxid, CO**, är den "klassiska" föroreningen från förbränningsmotorer och har tidigare alltid använts som dimensionerande förorening vid bestämning av erforderligt ventilationsluftflöde i tunnlar. CO försämrar syretransporten i blodet och är då hälsovådlig. Det successiva införandet av katalysatorrening på fordon har kraftigt minskat halten CO i bilavgaserna.

Detta faktum, tillsammans med en ökad insikt om **kvävedioxidens, NO<sub>2</sub>**, hälsoeffekter – NO<sub>2</sub> kan påverka lungfunktionen hos känsliga personer – har lett till att NO<sub>2</sub> nu alltmer kommit att bli dimensionerande för ventilationsluftflödena i tunnlar. Övergången från kolmonoxid till kvävedioxid som dimensionerande förorening har, med de normalt valda tillåtna föroreningsnivåerna, lett till högre luftflöden än vad som hittills varit brukligt.

Den följande redovisningen ger exempel på nivåvärden för kvävedioxid och kolmonoxid, i och utanför tunneln, som tillämpas i nordiska och internationella tunnelprojekt för att dimensionera tunnelventilationssystemen. Vidare redovisas de värden som rekommenderas av Världshälsoorganisationen,

WHO. Som jämförelse redovisas värden som tillämpas på arbetsmiljökrav i några länder.

## 4.1 Exempel på internationella riktvärden

### 4.1.1 Världshälsoorganisationen, WHO

#### *Air Quality Guidelines for Europe* [1]

Världshälsoorganisationens, WHO's, riktlinjer för föroreningar i utomhusmiljön.

Tidsviktade medelriktvärden för ett antal ämnen redovisas, t ex för CO och NO<sub>2</sub>:

Ämne	Tidsviktat medelvärde	Expositionstid	Kapitel i AQGE
CO	100 mg/m <sup>3</sup>	15 min	20
	60 mg/m <sup>3</sup>	30 min	
	30 mg/m <sup>3</sup>	60 min	
	10 mg/m <sup>3</sup>	8 h	
NO <sub>2</sub>	400 µg/m <sup>3</sup>	1 h	27
	150 µg/m <sup>3</sup>	24 h	

I kapitlen 20 resp 27 i WHO-publikationen redovisas bakgrunden och ges motiven för val av dessa värden; för t ex NO<sub>2</sub> har man kunnat konstatera viss (återgående) påverkan på personer med lätt astma då de utsätts för en NO<sub>2</sub>-koncentration av 560 µg/m<sup>3</sup> under 30 min vid intermitterant arbete.

Den ovan redovisade WHO-publikationen, *Air Quality Guidelines for Europe*, är ett exempel på internationella rekommendationer för luftkvalitet. Nedan ges ytterligare några exempel på föroreningsnivåer som tillämpas i utländska tunnelprojekt.

En bra och aktuell sammanställning med data för fordonsemissioner och nationella krav på emissionsnivåer (bl a för EG) har nyligen redovisats i en sammanfattning [2].

### 4.1.2 Permanent International Association of Road Congresses (PIARC)

PIARC träffas vart fjärde år till kongresser, World Road Congress. De senaste har varit: "XIX" i Marrakesch 1991 [3], "XVIII" i Bryssel 1987 [4]

och "XVII" i Sydney 1983 [5]. Vid kongresserna presenteras föredrag bl a om tunnelventilation. En del hänvisningar till sådana skrifter har gjorts i denna rapport.

Vid kongresserna presenteras också resultat från arbeten i PIARC's tekniska kommittéer, t ex från den för vägtunnlar. Dessa rapporter, benämnda efter respektive kongressår, ger uppdaterade synpunkter och råd för t ex bestämning av ventilationsflöden för tunnlar och föroreningsmängder, främst för CO, som emitteras från olika fordon under olika förutsättningar, t ex motlut.

Fram till 1987 hade man inom PIARC rekommenderat samma emissionsfaktorer för alla fordon oavsett var de fanns – i själva verket angav man då värden som var medelvärden för Europa. I PIARC 1987 tog man hänsyn till de olika krav som började komma i de olika länderna och införde i stället nationsskisser i fyra steg (A – D) beroende av hur starka krav som ställdes och hur väl och hur ofta man kontrollerade emissionskraven. Man redovisade också värden för minskning av CO-emissionen som följd av dessa nationella krav. I den högsta standarden "A" beräknade man t ex minskningen till en fjärdedel mellan 1987 och 2000.

I den senaste utgåvan (PIARC 1991) har man åter tagit bort nationsskisserna med motiveringen att, trots att indelningssättet blivit allmänt accepterat, erfarenheten har visat att det tänkta genomförandet av emissionsminskningar inte alltid har uppnåtts. För att undvika konflikter rekommenderar därför PIARC att man beräknar emissionerna på basis av verkliga, nationella lagar för emissionskontroll.

I PIARC 1991 har man också, i jämförelse med PIARC 1987:

- infört hänsyn till åldersfördelningen inom en fordonspopulation i förhållande till införda emissionskrav, t ex katalysatorrening. Man tar därvid också hänsyn till att äldre fordon körs kortare sträcka per år än nyare.
- ökat hastighetsfaktorn (emissionsökningen) vid högre hastigheter
- ökat lutningsfaktorn; man ger inte någon reduktion (för CO-emissionen) för utförsbackar

#### **Rekommenderade CO-halter**

CO-halten varierar för olika tunneltyper (stad eller land) och trafikförhållanden från ett nedre gränsvärde vid högtrafik på 100 ppm (motsvarande ca 125 mg/m<sup>3</sup>) upp till extremvärdet 250 ppm (motsvarande ca 312 mg/m<sup>3</sup>) (för onormalt fall med kötrafik eller stillastående trafik i stadstunnel).

#### **Rekommenderade NO<sub>2</sub>- eller NO<sub>x</sub>-halter**

PIARC anger inga rekommendationer för NO<sub>2</sub> eller NO<sub>x</sub> men anger underlag för beräkning av emissioner.

#### 4.1.3 Commonwealth of Massachusetts (Bostontunneln)

I Boston, USA, byggs för närvarande ett mycket stort tunnelprojekt, Central Artery Tunnel och Third Harbour Tunnel, som kopplar ihop två amerikanska riksvägar inne i Bostons centrala delar (I-90 från västkusten tvärs den amerikanska kontinenten och I-93 som kommer längs östkusten upp från Florida).

##### Några dimensioneringsvärden för ventilationen:

- NO<sub>2</sub>-koncentrationen får inte överstiga 3 ppm (motsvarande ca 5 600 µg/m<sup>3</sup>). Man hänvisar till att detta utgör riktvärde från ACGIH (American Conference of Governmental/Industrial Hygienists). ACGIH-riktlinjer kan anses motsvara våra svenska gränsvärden från ASS, se 4.2.4.
- NO-koncentrationen får inte överstiga 25 ppm (motsvarande ca 30 mg/m<sup>3</sup>)
- Medelvärdena för CO-koncentrationen får inte överskrida:

120 ppm (ca 137 mg/m <sup>3</sup> )	vid en exponeringstid av	15 minuter
65 ppm (ca 75 mg/m <sup>3</sup> )	vid en exponeringstid av	30 minuter
45 ppm (ca 51 mg/m <sup>3</sup> )	vid en exponeringstid av	45 minuter
35 ppm (ca 40 mg/m <sup>3</sup> )	vid en exponeringstid av	60 minuter

#### 4.1.4 Der Bundesminister für Verkehr, Tyskland

Den tyske kommunikationsministern har fastställt "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln, RABT" utarbetad av Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen.

Tillåtna immissionsvärden i tunneln anges för CO-koncentration och sikt försämring. För CO anges följande värden:

Trafiktyp	CO-koncentration ppm
Flytande normaltrafik (v = 80 km/h)	100
Flytande maximaltrafik (v = 80 km/h), stockning, stillastående trafik på en eller flera farbanor	150
Undantagsvis kortvarig kösituation och helstopp under maximalt 20 minuter	250
Underhållsarbeten i ett tunnelrör under längre tid vid ringa trafik	30

Man anger följande värden för tillåten lufthastighet i tunneln:

- vid trafik i en riktning 12 m/s
- vid dubbelriktad trafik i samma tunnelrör 8 m/s

Inga värden anges för tillåten NO<sub>2</sub>-koncentration i tunneln.

#### 4.1.5 Nederländerna

Krav på luftkvalitet i och utanför tunnlar i Nederländerna styrs av gränsvärden (grenswaarden) och riktvärden (richtwaarden).

##### Gränsvärden för luftkvalitet utomhus

De gränsvärden för luftkvalitet utomhus som tillämpas i Nederländerna framgår (i utdrag) av följande tabell (Stoffen en Normen 1990, Ministerie van Volkshuisvesting)

Ämne	Gränsvärde µg/m <sup>3</sup>	Typ av krav	Expositionstid	Percentil av helår <sup>*)</sup>
NO <sub>2</sub>	135	gränsvärde	1 h	98
	80	riktvärde	1 h	98
	175	gränsvärde	1 h	99,5
	300	gränsvärde	1 h	100
CO	6.000	gränsvärde	8 h	98
	40.000	gränsvärde	1 h	99,99

<sup>\*)</sup> Hos ämnen som vid höga koncentrationer kan skada vid korta expositionstider anges 98-percentilvärden, dvs. värdena får överskridas maximalt under 2% av årets timmar.

##### Krav på arbetsmiljön

Kraven på arbetsmiljö överensstämmer t.ex. med de svenska värdena (se avsnitt 4.2.4) och anges dels som maximalkoncentrationer och dels som tidsvägda medelkoncentrationer för expositionstiden max 8 h per dag och max 40 h per vecka (*nivågränsvärden*). De senare värdena får kortvarigt överskridas under förutsättning att medelvärdet för 8 timmarsdagen innehålls. För vissa ämnen anges också korttidsvärden (*takgränsvärden*) som tidsvägda medelkoncentrationer för expositionstiden 15 minuter.

De gränsvärden för arbetsmiljön som tillämpas i Nederländerna ges (i utdrag) nedan:

(Arbeidsinspectie Zakboek MAC-waarden 1989, Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid)

Ämne	Nivågränsvärde för 8 h-dag $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO <sub>2</sub>	2.000
CO	29.000
Respirabelt damm	5.000

I den holländska tunnelnormen [5] påpekas som kommentar till dessa värden att de endast får tillämpas inom arbetsmiljön, att de inte gäller för andra befolkningsgrupper som är känsligare, t.ex. barn, sjuka och äldre, och att värdena, med undantag för CO är betydligt högre än de som tillämpas för luftkvalitet utomhus, jfr. med värdena i föregående tabell. I tunnelnormen hänvisas också till ett antal andra luftkvalitetsnormer:

- Världshälsoorganisationen beträffande NO<sub>2</sub>, CO och SO<sub>2</sub>. (se även 4.1.1)
- Bestämmelser från den Europeiska Gemenskapen EG (EF)
- Värde i basisdokument betr. fint stoft ( $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

#### Värden för luftkvalitet som tillämpas i och omkring tunnlar

De gällande normerna för utomhusmiljön har tillämpats dels på tre trafiksituationer i tunnlar och dels på långtidspåverkan på omgivningen enligt nedanstående tabell. De värden som anges som 98-percentiler får således överskridas under 2% av tiden.

I tunnelnormen anges att, även om inverkan av avgasföroreningarna på människan inte alltid är linjärt beroende av expositionstiden, så tillåts en höjning av värdena om de i tabellen angivna expositionstiderna underskrids (halterna är angivna i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Ämne	Kortvarig expositionstid (minimum 15 min och maximum 1 h)			Långvarig expositionstid	
	Situation 1 kö-körning	Situation 2 underhåll	Situation 3 olyckor	Situation 4 Omgivning	
NO <sub>2</sub>	300	4.000	400	135	(98-perc.)
CO	40.000	58.000	100.000	6.000	(98-perc.)
Fint stoft	-	10.000	-		

Vid bedömning av hälsorisker skall den största vikten läggas på fotgängar- och bostadsområden på grund av den längre expositionstiden.



#### 4.1.6 Schweiz

Schweiziska vägverket har i sina rekommendationer [1] angivit luftflödeskrav för utspädning av kolmonoxid CO och av dieselavgaser för att säkerställa god sikt i tunneln.

Följande beräkningsformler (baserade på PIARC) används:

##### Beräkning av CO-utspädning

$$Q_z = \frac{q_{CO} \times f_v \times f_i \times f_H}{3600} \times D \times L \times \frac{10^6}{CO_{till}}$$

##### Beräkning av dieslrökutspädning

$$Q_z = \frac{q_T \times m \times f_v \times f_H}{3600} \times D \times L \times \frac{10^6}{K_{till}}$$

där

$Q_z$	=	Erforderligt uteluftsflöde [m <sup>3</sup> /s]
$q_{CO}$	=	Basvärde för CO-emission
$q_T$	=	Basvärde för rök-emission [m <sup>-1</sup> · m <sup>3</sup> /h,ton = m <sup>2</sup> /h,ton]
$m$	=	Fordonens medelvikt [ton/fordon]
$f_v$	=	Hastighetsfaktor [-]
$v$	=	Fordonens medelhastighet [km/h]
$f_i$	=	Stigningsfaktor [-]
$i$	=	Tunnellutning [%]
$f_{iv}$	=	Kombinerad hastighets- och stigningsfaktor [-]
$f_H$	=	Höjdfaktor [-]
$H$	=	Höjd över havet [m]
$D$	=	$M/v$ = antal fordon per km [fordon/km]
$M$	=	Antal fordon per h [fordon/h]
$L$	=	Tunnellängd, avsnittslängd [km]
$CO_{till}$	=	tillåten CO-koncentration [ppm]
$K_{till}$	=	tillåten dämpningsfaktor för en ljusstråle som passerar genom tunnelluften enligt

$$\frac{E}{E_0} = e^{-Kl}$$

$E_0$  = ljusflödet vid mottagaren, efter att ha passerat avståndet  $l$  [m<sup>-1</sup>].

**Tillåten CO-koncentration**

Trafiktyp	CO <sub>gill</sub> [ppm]
flytande trafik under högbelastning	150
extrem trafikstockning eller stillastående trafik	250
dagligen inträffande trafikstockning, stillastående trafik i ett eller flera körfält	150

**Tillåten dämpningsfaktor**

Trafiktyp	K <sub>gill</sub> [m <sup>-1</sup> ]	Subjektiv siktvärdering
flytande trafik under högbelastning med v ≈ 60 km/h	7,5·10 <sup>-3</sup>	svagt synlig dieselryk
flytande trafik under högbelastning med v ≈ 80 km/h	5·10 <sup>-3</sup>	klar sikt
dagligen inträffande trafikstockning och stillastående trafik	5·10 <sup>-3</sup>	klar sikt
extrem trafikstockning eller stillastående trafik	9·10 <sup>-3</sup>	dieselryk minskar sikten till under 100 m

Vid flytande trafik ligger dämpningsfaktorn i tunneln normalt mellan 5 och 7·10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup>.

Ventilationssystemet dimensioneras normalt för K = 7,5·10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup>. Ett värde på K = 5·10<sup>-3</sup> m<sup>-1</sup> bör endast användas för tunnlar som dagligen har högbelastning under längre perioder.

### Gränsvärden för luftkvalitet utomhus

De gränsvärden för luftkvalitet utomhus som tillämpas i Schweiz framgår (i utdrag) av följande tabell

Ämne	Långtidsvärde IGW <sub>long</sub> <sup>1)</sup> medelvärde	Långtidsvärde IGW <sub>long</sub> <sup>2)</sup> 1/2-timmes maxvärde per dag
Kvävedioxid NO <sub>2</sub>	27 ppb <sup>*)</sup> (= 150 µg/m <sup>3</sup> )	161 ppb (= 900 µg/m <sup>3</sup> )
Kolmonoxid CO	9 ppm (= 10 mg/m <sup>3</sup> )	45 ppm (= 75 mg/m <sup>3</sup> )

<sup>\*)</sup> ppb = parts per billion; 1 ppm (parts per million) = 1000 ppb

<sup>1)</sup> Årsmedelvärde för samtliga 1/2-timmesvärden i en given punkt

<sup>2)</sup> 95-percentil av samtliga 1/2-timmesvärden i en given punkt

## 4.2 Exempel på nordiska bestämmelser och riktvärden

### 4.2.1 Danmark

#### Luftkvalitet i omgivningen

Gränsvärden och mätmetoder för kvävedioxid, NO<sub>2</sub>, i utomhusluften regleras i *Miljøministeriets bekendtgørelse nr.119 av den 12 mars 1987 (85/203/EØF)*:

Referensperiod <sup>1)</sup>	Gränsvärde för kvävedioxid µg/m <sup>3</sup>
År	200
	98-percentil beräknad på grundval av timmedelvärden spridda över hela året <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Kalenderår, 1 januari – 31 december

<sup>2)</sup> För att beräkningen av 98-percentilvärdet skall godkännas krävs att minst 75% av samtliga möjliga mätvärden – jämnt fördelade under året – skall ha mätts.

Gränsvärden och mätmetoder för (svaveldioxid och) **svävstoft** i utomhus-luften regleras i *Miljøministeriets bekendtgørelse nr.119 av den 24 mars 1983*:

Mätperiod	Gränsvärde för svävstoft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
År	150 (Aritmetiskt medelvärde av dygnsmedelvärdena mätt i loppet av ett år)
År (uppdelat i mätperioder på 24 h)	300 (95-percentil för alla dygnsmedelvärden mätt i loppet av ett år)

### Luftkvalitet i tunnlar

I danska vägtunnlar tillämpas för närvarande följande riktlinjer för styrning av ventilationssystemen:

CO	startnivå	45-50 ppm (= ca 50-60 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
	stoppnivå	30-35 ppm (= ca 35-40 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
	alarmgräns	70-75 ppm (= ca 80-85 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
NO	startnivå	40 ppm (= ca 50 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
	stoppnivå	30 ppm (= ca 35 $\text{mg}/\text{m}^3$ )
	alarmgräns	60 ppm (= ca 70 $\text{mg}/\text{m}^3$ )

Följande kommentarer ges. Registrering av  $\text{NO}_x$  mäts enbart på  $\text{NO}$ -koncentrationen. Vid förbränning av dieselolja alstras  $\text{NO}$  som, om den utsätts för ozon, omvandlas till  $\text{NO}_2$ . Då det inte förekommer höga ozonhalter kommer omvandlingen av  $\text{NO}$  till  $\text{NO}_2$  inte att vara särskilt stor - förmodligen i storleksordningen 5-10%.

För alarmgränserna ovan gäller i övrigt att om nivån överskrids under fastställd period så kommer trafikstyrningsanläggningen automatiskt att stoppa trafiken.

Det finns inga fastställda specifika riktlinjer för buller i danska trafik-tunnlar. Vid inköp av tunnelfläktar krävs dock att den maximala ljudnivån för varje fläkt inte får överskrida 75 dBA mätt på ett avstånd av 5 m. För Öresunds-förbindelsens danska landdel ställs följande krav på maximal bullernivå i bostadsområden: 55 dBA utomhus och 30 dBA inomhus.

### Arbetsmiljö

För danska arbetsplatser tillämpas följande värden:

CO	gränsvärde	35 ppm (= ca 50 mg/m <sup>3</sup> )
NO	gränsvärde	25 ppm (= ca 30 mg/m <sup>3</sup> )
NO <sub>2</sub>	gränsvärde	3 ppm (= ca 5.500 µg/m <sup>3</sup> )
	takvärde	5 ppm (= ca 9.300 µg/m <sup>3</sup> )

Dessa värden förväntas bli antagna som EG-standard (direktiv 88/642/EØF).

För gränsvärdena gäller i övrigt, att koncentrationen aldrig, inte ens inom en kort tidsperiod (högst 15 min.), får överskrida takvärdet eller 2 gånger gränsvärdet.

### 4.2.2 Finland

#### Luftkvalitet i omgivningen

Hittills gällande riktvärden för luftkvalitet i omgivningen har varit baserade på Statsrådets utslag av 28 juni 1984.

Inom miljöministeriet har upprättats ett förslag till nya gränsvärden för tillåtna föroreningar i utomhusmiljön. Enligt utlåtanden från statsrådet kommer dessa nya medelriktvärden för luftkvalitet att fastställas i slutet av 1993.

*Tabell: Riktvärden för luftkvalitet*

Ämne	Exponeringstid	Nuvarande riktvärde	Anm	Föreslaget riktvärde	Anm
Kolmonoxid	1 timme	30 mg/m <sup>3</sup>		20 mg/m <sup>3</sup>	D
CO	8 timmar	10 mg/m <sup>3</sup>		8 mg/m <sup>3</sup>	D
Kvävedioxid	1 timme	300 µg/m <sup>3</sup>	A	150 µg/m <sup>3</sup>	A
NO <sub>2</sub>	1 dygn	150 µg/m <sup>3</sup>	B/C	70 µg/m <sup>3</sup>	C

#### Anmärkningar:

- A Värdet får överskridas 1% av tiden
- B Värdet får överskridas 2% av tiden
- C Värdet får överskridas en gång i månaden
- D Värdet får inte överskridas

Ventilationssystemet i en tunnel får maximalt svara för 40% av ovanstående halter i tätbebyggda områden respektive för 60% av ovanstående halter i glesbygd.

#### Luftkvalitet i tunnlar

I Finland saknas speciella gränsvärden för luftkvalitet i tunnlar. Vid dimensionering av tunnelventilationssystem tillämpas följande värden:

Ämne	Tillåten halt	Anmärkning
Kolmonoxid CO	70 ppm	i undantagsfall
	100 ppm	
Kväveoxider NO <sub>x</sub>	25 ppm	enligt PIARC 87

#### 4.2.3 Norge

##### Krav på utomhusmiljön

För vägtunnlar kommer ventilationslösningen att ha avgörande betydelse för hur mycket och var föroreningarna släpps ut ur tunneln mot omgivningen. Den praxis som tillämpas i Norge när det gäller att bestämma miljökonsekvenserna för omgivningen beskrivs närmare i avsnitt 10.

De gränsvärden för luftkvalitet i uteluft som gäller är:

Medelvärden över tiden				
1 timme			8 timmar	
Enheter	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm
CO	25	21	10	9
NO <sub>2</sub>	0,20 – 0,35	0,10 – 0,17	–	–

##### Krav på luftkvalitet i tunnlar

*Statens Vegvesen* har nyligen (mars 1991) utkommit med en handbok om vägtunnlar, som bl a innehåller ett avsnitt om krav på luftkvaliteten i tunnlar:

### Allmänt

Ventilationssystemet skall dimensioneras för den trafikmängd som förväntas 10 år efter öppningsåret.

Med den normala sammansättning som avgaserna har, är det enbart nödvändigt att fastställa gränser för den tillåtna koncentrationen av kolmonoxid (CO) och kvävedioxid (NO<sub>2</sub>). Koncentrationen av de övriga giftiga gaserna kommer inte att ge några hälsomässiga faromoment så länge utspädningen av CO- och NO<sub>2</sub>-gaserna säkerställs.

Hälsomyndigheterna arbetar för närvarande med en översyn av gränsvärdena för CO och NO<sub>2</sub> i vägtunnlar.

### Gränsvärden för kolmonoxid

Ventilationsflödet dimensioneras efter CO-koncentrationen,  $C_{CO} = 200$  ppm (ca 250 mg/m<sup>3</sup>), vid slutet av tunnelavsnittet. Tillåten CO-koncentration som funktion av var man befinner sig i tunneln visas i figur 4.1.

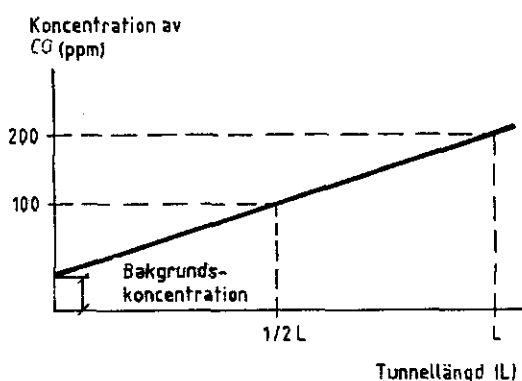


Fig. 4.1 Gränsvärde för CO i tunnlar. Bakgrundskoncentrationen varierar från plats till plats.

Följande förutsättningar gäller för de givna gränsvärdena:

- 1) Vid drift skall koncentrationen 100 ppm endast undantagsvis uppnås mitt i tunneln och värdet får inte överskridas ens vid ogynnsamma trafikförhållanden. Om CO-mätare placerade i halva tunnelns längden ( $\frac{1}{2}L$ ) registrerar 100 ppm i mer än 15 min, skall tunneln stängas för trafik.
- 2) Vid normal trafik skall CO-innehållet i luften vara väsentligt lägre. Detta uppnås genom att ventilationssystemet styrs så, att fläktarna kopplas in i grupper och stegvis. Så t.ex. startar första steget vid 25–50 ppm, andra steget vid 75 ppm och alla tre stegen vid 100 ppm. Detta gäller när styrning sker från CO-mätaren placerad i  $\frac{1}{2}L$ .

### Gränsvärden för kolmonoxid i tunnlar som är öppna för gående och cyklande

För tunnlar som är öppna för gående och cyklande gäller följande gränsvärden för kolmonoxid:

0 – 1 km	100 ppm
1 – 4 km	25 ppm

I tunnlar som är längre än 4 km får gående och cyklande bara undantagsvis släppas igenom. Alternativ framkomstmöjlighet måste då undersökas.

### Gränsvärden för kvävedioxid

För beräkning av ventilationsbehovet används  $C_{NO_x} = 15$  ppm.

Tillåten  $NO_2$ -koncentration som funktion av var man befinner sig i tunneln visas i figur 4.2.

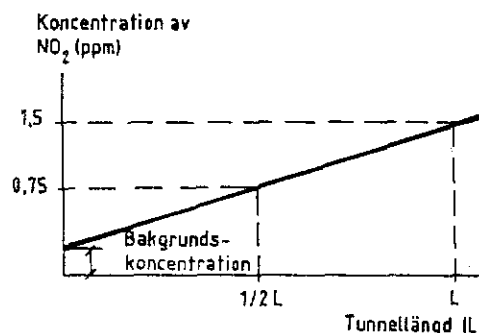


Fig. 4.2 Gränsvärde för  $NO_2$  i tunnlar. Bakgrundskoncentrationen varierar från plats till plats.

Kväveoxid (NO) bildas vid förbränning i bilmotorn. Denna gas omvandlas till kvävedioxid ( $NO_2$ ) vid oxidation i luften. Det antas att andelen  $NO_2$  utgör 10% av  $NO_x$  ( $NO_x$  är en samlingsbeteckning på kvävedioxider och består huvudsakligen av NO och  $NO_2$ ).

Om  $NO_2$ -koncentrationen överstiger 0,75 ppm (motsvarande ca  $1400 \mu g/m^3$ ) i mer än 15 min mätt i  $1/2L$ , skall tunneln stängas för trafik.

Gränsvärdet gäller oavsett om tunneln har gång- och cykeltrafik eller inte.



### Gränsvärde för tillåten siktnedsättning

Gränsvärdet för tillåten siktnedsättning är  $C_{\text{sikt}} = 1,5 \text{ mg/m}^3$ .

Vid siktproblem kommer bättre och mer systematiskt underhåll av tunneln att ge positivt resultat.

### Gränsvärde för tillåten lufthastighet

Lufthastigheten skall vid envägstrafik inte överskrida 10 m/s och vid dubbelriktad trafik inte överskrida 7 m/s.

Vid brand och rökutveckling skall lufthastigheten i tunneln kunna reduceras till 2 m/s.

### Krav på arbetsmiljön

Arbetsstilsynet har fastställt följande krav för arbetsplatser:

Ämne	Tillåten halt	Exponeringstid
Kolmonoxid CO	35 ppm	8 timmar
Kvävedioxid NO <sub>2</sub>	2 ppm	8 timmar

#### 4.2.4 Sverige

##### Krav som gäller mot omgivningen

Statens naturvårdsverk, SNV, har fastställt följande

*"Riktvärden för luftkvalitet i tätorter – allmänna råd"* [10]

SNV anger här riktvärden – mätta eller beräknade – för platser där människor normalt uppehåller sig – utanför bostäder, arbetsplatser, torg etc. Man konstaterar att det finns ett omfattande underlag både nationellt och internationellt när det gäller hälsoeffekter av CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (svaveldioxid) och sot. Man konstaterar vidare att ett stort antal länder har infört rikt/gränsvärden för dessa ämnen.

De angivna riktvärdena (åtgärdsnivåer) är i första hand avsedda att skydda mot hälsoeffekter av luftföroreningar men syftar också till att minska korrosionen hos olika material.

För vinterhalvåret (oktober–mars) anger man följande:

**"Riktvärden (åtgärdsnivåer) för luftkvalitet i tätorter":**

Ämne	Riktvärde	Medelvärdestid	Anmärkning
CO	6 mg/m <sup>3</sup>	8 h	98-percentil för vinterhalvår. Glidande medelvärde <sup>1</sup>
NO <sub>2</sub>	110 µg/m <sup>3</sup>	1 h	98-percentil för vinterhalvår
	75 µg/m <sup>3</sup>	1 dygn	98-percentil för vinterhalvår
	50 µg/m <sup>3</sup>	vinterhalvår	aritmetiskt medelvärde

Inriktningen på allt luftvårdsarbete, både utomhus och inomhus, är att minska och helst eliminera föroreningarna redan vid källan.

Detta framgår bl a av naturvårdsverkets "Riktvärden för luftkvalitet i tätorter":

*"Den grundläggande principen i svenskt luftvårdsarbete är att utsläpp och annan påverkan skall minskas vid källan och därvid med bästa tillgängliga och ekonomiskt rimliga åtgärds teknik."*

**Krav som gäller på arbetsplatser**

Arbetskyddsstyrelsen uppdaterar regelbundet sin författning *Hygieniska gränsvärden* [11].

Föreskriften trädde, bl a beträffande det avsnitt om avgaser som redovisas nedan, i kraft den 1 juli 1991. Vid samma tidpunkt upphörde motsvarande delar av de tidigare föreskrifterna om hygieniska gränsvärden (AFS 1989:4) att gälla.

<sup>1</sup> För kolmonoxid avses glidande 8-timmarsmedelvärde vilket innebär man att bildar medelvärdet och flyttar 8-timmarsgruppen i steg på en timme framåt i tiden och bildar nytt medelvärde för varje steg. På så sätt erhålls lika många glidande 8-timmars medelvärdet som timmedel-värden under ett halvår.

## Avgaser

Detta är ett nytt "ämne" som tagits med följande nivågränsvärden:

Ämne	NGV <sup>1)</sup>			TGV <sup>2)</sup>			KTV <sup>3)</sup> mg/m <sup>3</sup>
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	(=µg/m <sup>3</sup> )	ppm	mg/m <sup>3</sup>	(=µg/m <sup>3</sup> )	
Avgaser för CO	20	25	(=25.000)	-	-	-	-
för NO <sub>2</sub>	1	2	(= 2.000)	-	-	-	-

1) **nivågränsvärde (NGV)**

det hygieniska gränsvärde som gäller för exposition under en hel arbetsdag

2) **takgränsvärde (TGV)**

det värde som gäller för exposition under en period av 15 minuter (eller annan period som anges). (Redovisas ej för CO och NO<sub>2</sub>.)

3) **korttidsvärde (KTV)**

ett ungefärligt värde med vilket en uppmätt genomsnittshalt (tidsvägt medelvärde under 15 minuter) av luftförorening i inandningsluften kan jämföras. (Redovisas ej för CO och NO<sub>2</sub>.)

### Till värdena ges följande kommentarer:

"Tabellens särskilda gränsvärden för kvävedioxid och kolmonoxid är avsedda att ta hänsyn till den samlade effekten av de ämnen som förekommer i avgaser inklusive cancerframkallande ämnen. Dessa ämnen används alltså som indikatorsubstanser. Expositionen skall vara godtagbar med hänsyn till båda värdena. Det är därför troligt att vid exposition för avgaser från bensin- och gasol drivna motorer blir koloxidvärdet dimensionerande, medan för dieselavgaser kvävedioxidvärdet får motsvarande funktion. Däremot skall man inte räkna additiv effekt mellan koloxid och kvävedioxid."

Samma värden och samma kommentarer upprepas också i AFS under **koloxid (kolmonoxid)** och **kvävedioxid** i båda fallen med tillägget "om källan är avgaser gäller".

### Hur uttrycks gränsvärden?

Ett **hygieniskt gränsvärde** för ett ämne som förtecknats i föreskriften anger den högsta halt av en luftförorening under vilken en för föroreningen exponerad person avses vara skyddad mot ohälsa. Detta gäller även för långvarig exposition, dvs under ett helt arbetsliv, för all verksamhet där ämnet bildas eller hanteras.

Gränsvärdet anger högsta godtagbara genomsnittshalt (tidsvägt medelvärde) av en luftförorening (ett ämne eller en blandning av ämnen) i inandningsluften. Värdet uttrycks antingen som NGV, TGV eller KTV (se förklaring ovan).

För arbetsmiljöer är de hygieniska gränsvärdena avsedda att kunna användas som underlag för planering, t ex vid val av arbetsmetoder och dimensionering av luftbehandlingsinstallationer. Det är viktigt att dimensionering av luftflöden, utformning av infångningsanordningar vid föroreningskällor m.m. inriktas på att gränsvärdet kommer att underskridas.

Upptaget i kroppen av luftföroreningar genom exposition via inandning kan ofta påverkas av arbetstyngden.

Ju tyngre arbete desto häftigare andas vi in och ju mer föroreningar får vi i oss.

Gränsvärdena avses ange en expositionsnivå, som normalt inte leder till ohälsa ens vid tungt arbete. Vid höga halter av luftföroreningar i luften finns det dock allmänt sett helt naturligt en större risk än vid låga halter att man överskrider gränsen för vad som kan godtas. Risken kan accentueras av att arbetet är tungt och att lungventilationen därvid ökar.

Det är därför särskilt viktigt att undersökning av halten luftföroreningar görs med omsorg vid tungt arbete.

AFS 1990:13 anger exempel på lungventilation vid olika arbetstyngd. Värdena varierar, i sex klasser, mellan:

Lungventilation	Typ av arbete
<10 l/min	Sittande arbete, t ex läs- och skrivarbete
<b>10-15 l/min</b>	<b>Mycket lätt arbete, t ex <i>bilkörning</i></b>
upp till	
>50 l/min	Mycket tungt arbete, t ex tungt stuveriarbete, rökdykning

#### Valda immissions- och emissionsvärden - sammanställning

För de planerade tunnlarna i Stockholmsringen gäller följande immissions- och emissionsvärden:

**Dimensionerande immissions-/emissionsvärden för Stockholmsringen**

	Enhet	Exponeringstid	Omgivning	Tunnel
<b>Gaser</b>				
NO <sub>2</sub>	µg/m <sup>3</sup>	1 h	110	400 <sup>2</sup>
CO	mg/m <sup>3</sup>	1 h	–	30 <sup>3</sup>
	mg/m <sup>3</sup>	8 h	6	–
<b>Buller<sup>4</sup></b>				
Dag	dBA <sub>cq</sub>	07–18	50	90 <sup>5</sup>
Kväll	dBA <sub>cq</sub>	18–22	45	90
Natt	dBA <sub>cq</sub>	22–07	40 <sup>6</sup>	90
Dygn	dBA <sub>cq</sub>	00–24	30 <sup>7</sup>	–

Värdena för NO<sub>2</sub> och CO i tunneln får överskridas 0,5% av tiden (99,5-percentil), dvs under de timmar som är värre än den dimensionerande 40:e timmen.

Genom val av driftstrategi för fläktdrift kan nivåvärdena för NO<sub>2</sub> under normala förhållanden, dvs vid driftfall som inte är dimensionerande, sänkas i takt med minskande trafikbelastning ner till hälften av de värden som anges i tabellen ovan.

<sup>2</sup> I tidigare redovisningar för Ringens ventilationssystem har detta värde gällt för varje tunnelsträckas mittpunkt. Senare har kraven skärpts till att gälla för varje tunnelsträckas slutpunkt vilket kräver ett större ventilationsluftflöde, jämför figur 4.2.

<sup>3</sup> Medelvärde för tunnelsträcka

<sup>4</sup> För tunnelfläktbullrets spridning mot omgivningen gäller SNV 1978:5 "Riktvärden för externt industribuller". Område: "Bostäder och rekreationsytor i bostäders grannskap samt utbildnings- och vårdlokaler". Ljudnivåvärdena är angivna i ekvivalentnivåer i dBA.

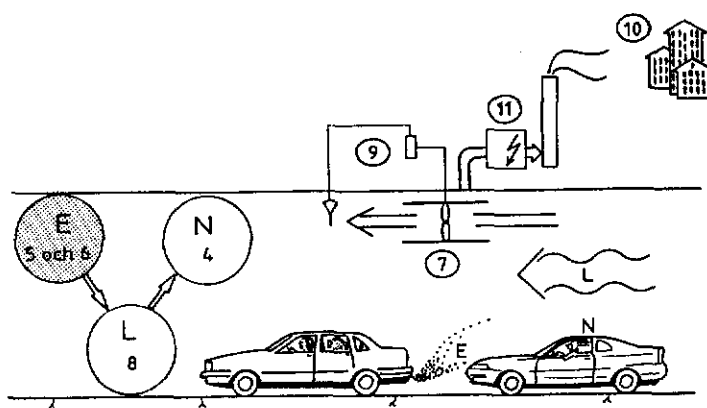
<sup>5</sup> Maxvärde i dBA då samtliga fläktar – impuls- och huvudfläktar – i tunnelavsnittet är i drift. För varje impulsfläktstation utförs mätning på 1,5m höjd över vägbanan i 11 punkter fördelade med 5m avstånd längs tunnelns centrumlinje och med den mittersta mätpunkten belägen rakt under impulsfläktstationen. Det logaritmiska medelvärdet för dessa mätvärden får ej överstiga 85 dBA.

<sup>6</sup> Högsta momentana ljudnivå under natt = 55 dBA

<sup>7</sup> Högsta momentana ljudnivå av vibrationer, s k stomljud.

## Referenser

- [1] World Health Organisation (WHO), Publication No.23, 1987. *Air Quality Guidelines for Europe* är under revidering men någon tidpunkt för färdigställandet har ej angivits.
- [2] Exhaust Gas Legislation and Exhaust Gas Emissions of Motor Vehicles – a global survey, R. Pischinger, G. Staska, Graz University of Technology, 7th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, Brighton UK, Nov 1991.
- [3] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, Report, XIXth World Road Congress, Marrakesh 22–28 September 1991.
- [4] PIARC: Technical Committee Report No.5, XVIIIth World Road Congress, Bryssel 13–19 September 1987.
- [5] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, XVIIth World Road Congress, Sydney, Australia, 1983.
- [6] Commonwealth of Massachusetts, Central Artery Tunnel and Third Harbour Tunnel.
- [7] Der Bundesminister für Verkehr, Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln, RABT, utarbetad av Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen.
- [8] Rijkswaterstaat: Ventilatie van Autotunnels, juli 1991.
- [9] Swiss Federal Office of Highways: Basic Principles for the Ventilation of Road Tunnels (prepared by Schindler Haerter AG, Zürich), maj 1983.
- [10] Arbejdstilsynets grænseværdier for arbejdsmiljø (AT-anvisning Nr.3.1.0.2, januari 1992).
- [11] Statens Vegvesen, "021: Normaler om vegtunneler", juli mars 1991.
- [10] Statens naturvårdsverk, SNV 1990:9 – "Riktvärden för luftkvalitet i tätorter – allmänna råd".
- [11] Arbetskyddsstyrelsens författningssamling, AFS 1990:13.
- [12] Statens naturvårdsverk, SNV 1978:5 "Riktvärden för externt in-dustribuller".



## 5. EMISSIONER

### 5.0 Allmänt

Alla motordrivna fordon avger under drift hälsofarliga ämnen i större eller mindre omfattning. En stor mängd faktorer avgör hur stor föroreningshalten i tunneln kommer att vara vid en viss tidpunkt:

- antalet fordon i tunneln
- motortyper
- fördelning mellan tunga och lätta fordon
- bilparkens ålder och skick
- fordonens hastighet
- vägens lutning
- höjd över havet

Vidare gäller, att införandet av strängare krav när det gäller fordonsemissioner kommer, om alla andra förhållanden är lika, att leda till att halten av skadliga ämnen kommer att minska under kommande år.

### 5.1 Trafik

#### 5.1.1 Allmänt

Kraven på maximalt tillåten föroreningshalt i tunneln kommer normalt att vara beroende av den rådande trafiksituationen. Man skiljer härvid på normala och extrema situationer. De senare kan till exempel inträffa vid vägarbeten, olyckor och trafik vid helger.

I det följande anges riktlinjer för fastställande av den dimensionerande trafiken vid de olika situationer som kommer att ligga till grund för beräkningen av föroreningsnivåerna i tunneln. Då det inte är givet, att samma trafiksituation är dimensionerande för alla typer av föroreningar (CO,

NO<sub>x</sub> och sikt) kommer det normalt att vara nödvändigt att undersöka flera situationer för att bestämma vilken, som är den farligaste.

### 5.1.2 Trafikflöden under normal drift

Prognoser över trafikflöden och fordonssammansättning är det viktigaste underlaget för att bestämma dimensioneringskriterierna för tunnelventilationssystemet under normal drift.

Prognosåret fastställs ofta till 10 år efter tunnelns öppningsår vilket ungefär motsvarar halva livstiden för tunnelventilationssystemet (ca. 20 - 25 år).

För detta prognosår fastställs följande data för beskrivning av trafikflöde och trafiksammansättning:

- trafikflöde under årsmedeldygn
- 40:e högsta timme
- andel tung trafik
- fördelning mellan bränsletyper (bensin, diesel, gas samt motorer med och utan katalysator).

Ventilationssystemet dimensioneras för den 40:e mest föroreningsbelastade timmen under året. Trafikbelastningen under denna timme fås som trafiken under den 40:e högsta timmen multiplicerad med faktorn 1,1.

### 5.1.3 Trafikflöde under extrema förhållanden

Som extraordinarie situationer förutsätts:

- Maximal trafik
- Långsamtkörande kötrafik
- Stillestånd vid kötrafik

För flytande trafik gäller följande sammanhang:

$$M = v \cdot D$$

där

$M$	= trafikflöde	(personbilar/h/körfält)
$D$	= trafiktäthet	(personbilar/km/körfält)
$v$	= hastighet	(km/h)

I en **tunnel med enkelriktad trafik** kommer det maximala trafikflödet normalt att vara [2]:

$M = 2.000$  personbilar/h/körfält vid en hastighet av  $v = 40 - 60$  km/h. Detta ger en trafiktäthet av  $D = 50 - 33$  personbilar/km/körfält.



Vid hastigheten  $v = 0$  kommer trafiktätheten att bli ca  $D = 160$  personbilar/km/körfält.

För hastigheter mellan 0 och 60 km/h antas värdena i tabell 5.1 gälla:

**Tabell 5.1 Hastighet/trafikflöde/trafiktäthet**

Hastighet $v$ (km/h)	Trafikflöde $M$ (personbilar/h)	Trafiktäthet $D$ (personbilar/km)
60	2.000	33,3
50	2.000	40
40	2.000	50
30	1.800	60
20	1.400	70
10	1.000	100
0	-	160

För en **tunnel med dubbelriktad trafik** och två körfält kommer det maximala trafikflödet i de båda körfälten att maximalt bli ca  $M = 1.600$  personbilar/h/körfält [2]. Fördelningen mellan de två körriktningarna kommer dock sällan att vara större än 60:40, det vill säga  $M = 1.600$  personbilar/h i den ena riktningen och  $M = 1.070$  personbilar/h i den motsatta körriktningen. Med detta som utgångspunkt kan de olika trafiksituationerna beräknas på motsvarande sätt som för en tunnel med enkelriktad trafik.

Om trafiken är sammansatt av personbilar och lastbilar gäller:

$$D_L = \frac{D}{\frac{100}{P_L} + G_L - 1} \quad (\text{lastbilar/km/körfält})$$

$$D_P = D - G_L \times D_L \quad (\text{personbilar/km/körfält})$$

där

$G_L$  = antalet personbilssekvalenter, det vill säga det antal personbilar som motsvarar en lastbil.

$P_L$  = antal lastbilar i procent av totalt fordonsantal.

$D$  = trafiktäthet vid  $P_L = 0$ .

$D_L$  = trafiktäthet för lastbilar vid aktuellt värde på  $P_L$ .

$D_P$  = trafiktäthet för personbilar vid aktuellt värde på  $P_L$ .

#### **5.1.4 Drift och underhåll**

I samband med drift- och underhållsarbeten tvingas man ofta tillgripa trafikrestriktioner till exempel hastighetsbegränsningar, spärrning av körfält eller eventuellt avstängning av tunnelrör. Föroreningen beräknas då med utgångspunkt från dessa situationer. Under det arbetena pågår kan det finnas behov av ventilation för att föra bort de föroreningar som underhållsarbetet själv skapar.

### **5.2 Emission från fordon**

#### **5.2.1 Allmänt**

Sammansättning och mängd av avgasemissionerna från fordon beror på en mängd olika förhållanden:

- Motortyp.
- Fördelning mellan tunga och lätta fordon.
- Bilparkens ålder och skick.
- Nationella lagar och bestämmelser gällande fordonskontroll och emissionsgränser.
- Fordonshastighet
- Vägbanans lutning.
- Höjd över havet.

PIARC [3] anger följande samband mellan dessa förhållanden:

$$Q = q^o \times f_v \times f_l \times f_H$$

där

$Q$  = emission per fordon och timme

$q^o$  = basemission per fordon och timme vid en hastighet av 60 km/h

$f_v$  = hastighetsfaktor

$f_l$  = lutningsfaktor

$f_H$  = höjdfaktor

Basemissionen beror av fordonsparkens sammansättning och ålder – samt de styrande bestämmelser som gäller i de olika länderna.

Då lagbestämmelserna generellt sett skärps successivt, gäller det vid dimensionering att fastställa det dimensionerande prognosåret som till exempel kan vara tio år efter tunnels öppnande.

NO<sub>2</sub>-andelen i tunnelluften utgör normalt 5 – 10% av den samlade NO<sub>x</sub>-emissionen, jämför avsnitt 3.

### 5.2.2 Basemission

För de nordiska länderna kan antas att huvudparten av fordonen om tio år kommer att uppfylla följande krav:

- personbilar: EEC 89/458
- lastbilar och bussar: EEC 88/77

För fordon som uppfyller dessa krav kan de värden för basemissioner som ges i tabell 5.2 och 5.3 antas gälla för CO, NO<sub>x</sub> och rök.

För lastbilar och bussar (dieseldrivna) räknas med samma emissionsvärden för CO som för bensindrivna personbilar.

Vid tomgång kan man räkna med följande NO<sub>x</sub>-emission: 1 g/h för bensindrivna personbilar och 20 g/h för dieseldrivna personbilar.

PIARC [3] ger närmare anvisningar för de fall där man önskar bestämma emissionen för en fordonspark som påverkas av skilda bestämmelser.

**Tabell 5.2 Emissioner från personbilar<sup>3</sup>**

Motortyp	CO-emission (q°) (m <sup>3</sup> /h/fordon)	NO <sub>x</sub> -emission (q°) (g/h/fordon)
Bensin	0,16	60
Diesel	0,08	40

OBS: NO<sub>x</sub> (= NO + NO<sub>2</sub>) ges som NO<sub>2</sub>

**Tabell 5.3 Emissioner från lastbilar och bussar (dieseldrivna)<sup>3</sup>**

Rök-emission q° (m <sup>2</sup> /h/fordon)				NO <sub>x</sub> -emission q° (g/h/fordon)		
Fordonsvikt (t)				Fordonsvikt (t)		
5	10	20	40	5	20	40
50	100	160	200	360	1.000	1.400

OBS: NO<sub>x</sub> (= NO + NO<sub>2</sub>) ges som NO<sub>2</sub>

### 5.2.3 Hastighetsfaktorer

Hastighetsfaktorer för beräkning av CO och NO<sub>x</sub> emission för personbilar och lastbilar ges i figur 5.1 och för beräkning av rökemission från lastbilar och bussar i figur 5.4.

### 5.2.4 Lutningsfaktorer

Lutningsfaktorer för beräkning av CO och NO<sub>x</sub> emission för personbilar och lastbilar ges i figur 5.2 och för beräkning av rökemission från lastbilar och bussar i figur 5.4.

### 5.2.5 Höjdfaktor

Höjdfaktorer för beräkning av CO och NO<sub>x</sub> emission för personbilar och CO, NO<sub>x</sub> och rökemission för lastbilar och bussar ges i figur 5.3.

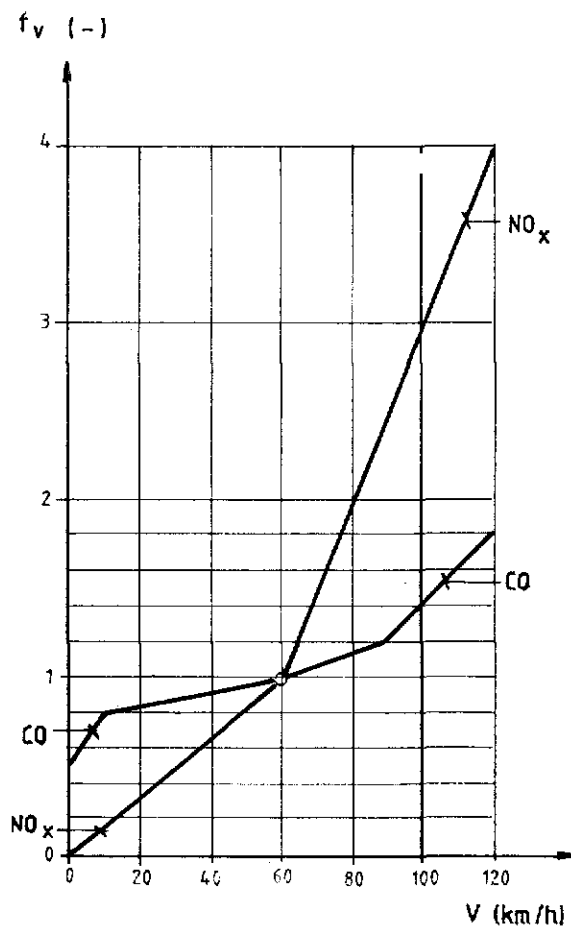


Fig. 5.1 Hastighetsfaktor för personbilar, lastbilar och bussar [3]

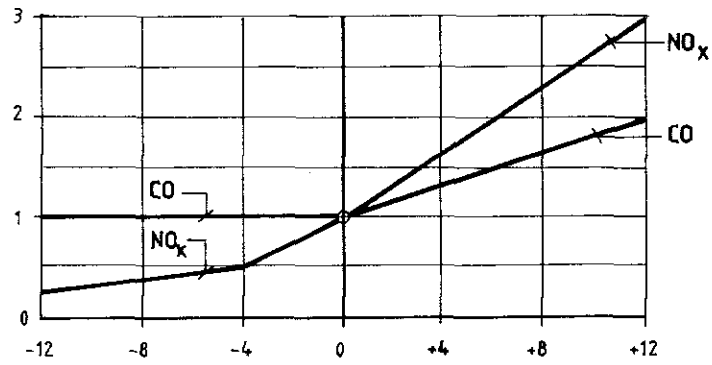


Fig. 5.2 Lutningsfaktor för personbilar, lastbilar och bussar [3]

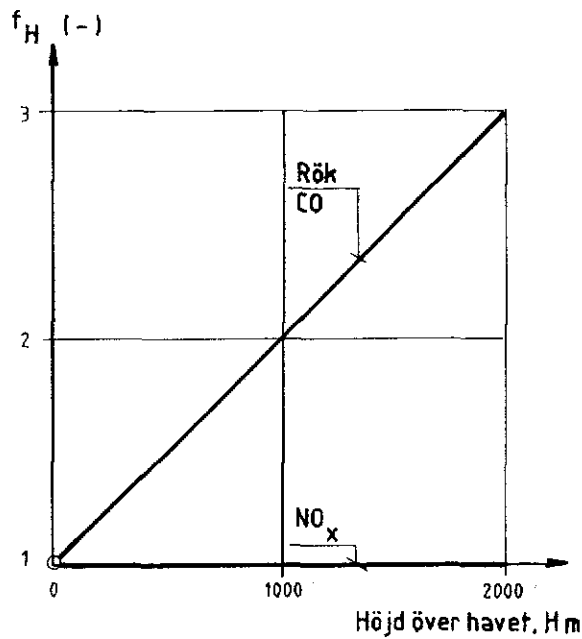


Fig. 5.3 Höjdfaktor för personbilar, lastbilar och bussar [3]

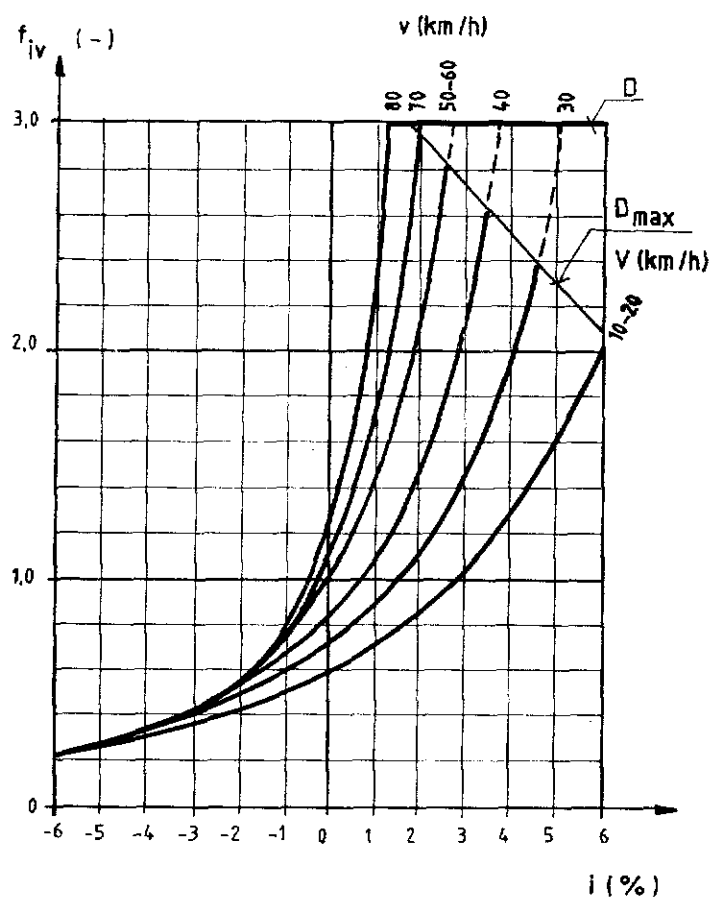
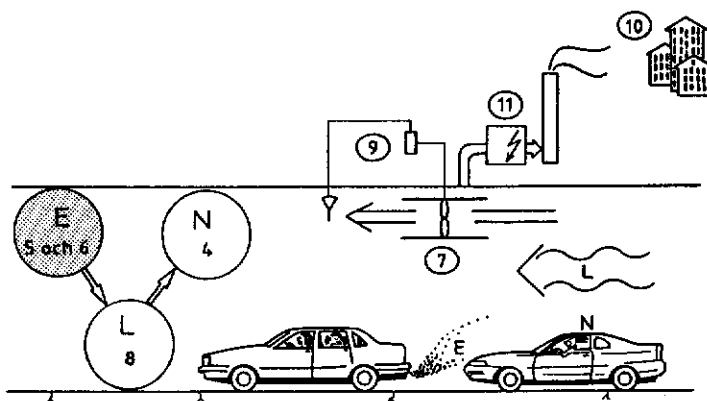


Fig. 5.4 Hastighets- och lutningsfaktor för rökemission för lastbilar och bussar [3]

### Referenser

- [1] Rijkswaterstaat: Ventilatie van Autotunnels, juli 1991.
- [2] PIARC: Technical Committee Report No.5, XVIIIth World Road Congress, Bryssel 13-19 September 1987.
- [3] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, Report, XIXth World Road Congress, Marrakesh 22-28 September 1991.



## 6. BRAND

### 6.0 Allmänt

Konsekvenserna av en brand i en trafiktunnel beror bland annat på:

- Brandens storlek
- Brandplatsens placering i tunneln
- Luftströmningen genom tunneln
- Enkelriktad eller dubbelriktad trafik i tunneln
- Ventilationssystemets utformning.

I det följande beskrivs hur ventilationssystemet bör utformas och dimensioneras för att man i rimlig grad skall kunna kontrollera rökutbredningen i händelse av en brand i tunneln.

De rekommenderade åtgärderna har i huvudsak syftet, i tur och ordning:

att reducera risken för personskador

att säkerställa att en effektiv brandbekämpning kan genomföras

att reducera omfånget av materiella skador.

I händelse av en större brand kan det vara nödvändigt att snabbast möjligt evakuera människorna ur tunneln. För att detta skall kunna ske krävs ett informationssystem, det kan till exempel bestå av ljusskyltar och lokal radioanläggning. Det krävs också säkra utrymningsvägar, till exempel via tvärförbindelser med luftslussar till det parallella tunnelröret.

Tunnlar med dubbelriktad trafik och med en längd av över 1 – 2 km förses ofta med vändplatser, där trafikanter som blivit stoppade av en brand kan köra tillbaka samma väg, som de kommit.

## **6.1 Brandens storlek**

För brand i tunnlar skiljer man normalt mellan olika brandkategorier. Olika nationella och internationella riktlinjer definierar därvid typiska brandfall på olika sätt:

### **6.1.1 Brandkategorier enligt PIARC**

PIARC [2] definierar en personbilsbrand som en brand med brandbelastningen ca. 5 MW.

Brand i en lastbil eller buss definieras som en brand med en brandbelastning av ca. 20 MW.

Slutligen definieras en brand i en tankbil som en brand med en brandbelastning av ca. 100 MW.

### **6.1.2 Brandkategorier enligt holländska riktlinjer**

I [1] beskrivs följande tre brandkategorier:

#### "Liten brand"

En sådan brand kan till exempel vara en brinnande personbil som helt brinner ut. Brandbelastningen vid en sådan brand har vid försök kunnat bestämmas till ca. 2 MW och varaktigheten till ca. 25 min. En normalt utrustad brandman kan närma sig branden och utföra släckning. Rök-gastemperaturen kommer att ligga under 150°C på några meters avstånd från branden vid en lufthastighet i tunneln på ca. 1,5 m/s.

#### "Medelstor brand"

En sådan brand kan till exempel vara en brinnande trälastad lastbil som helt brinner ut. Brandbelastningen vid en sådan brand har kunnat bestämmas till ca. 100 MW. En brandman kan normalt inte komma närmare branden än ca. 10–20 m. Rök-gastemperaturen kommer att vara ca. 800°C på ett avstånd av 50 m från branden och ca. 250°C på avstånd av 150–300 m räknat i luftströmmens riktning vid en lufthastighet i tunneln på ca. 1,5 m/s.

#### "Stor brand"

En sådan brand kan till exempel vara en brinnande tankbil lastad med 50 m<sup>3</sup> bensin, som helt brinner ut. Brandbelastningen vid en sådan brand har bestämts till ca. 300 MW och varaktigheten av en sådan brand till ca. 2 h. Rök-gastemperaturen vid brandstället och på ett avstånd av upp till 20 m från detta kan vara upp till 1.400°C. Vid en lufthastighet i tunneln på ca. 1,5 m/s kan man förvänta sig en temperatur på över 250°C i 300–500 m avstånd från branden räknat i luftströmmens riktning.



### 6.1.2 Brandkategorier enligt svenska riktlinjer

I [4] klassificeras följande tre brandkategorier: Bränder med brandbelastningar av 50 MW, 10 MW och 3 MW.

### 6.2 Uteluftsbehov och lufthastigheter i tunneln

Om lufttillförseln till branden inte är tillräcklig för att säkerställa en fullständig förbränning, kan man riskera att rökgaserna blir brännbara eller explosiva och att man därför löper risken av att branden sprider sig till andra delar av tunneln. För fallet "stor brand" räknas [1] i ett exempel med ett minimiluftflöde av ca. 90 m<sup>3</sup>/s för att säkerställa fullständig förbränning.

Uppvärmningen av luften vid brandstället medför att denna utvidgar sig. Denna volymökning utgör vid en "stor brand" ca. 3–5 gånger den ursprungliga volymen. En tillförsel av 90 m<sup>3</sup> medför alltså att 250–450 m<sup>3</sup> skall föras bort från brandstället. Den varma luften har en tendens utbreda sig både med och mot luftströmmen från ventilationssystemet. Det krävs därför en viss minsta lufthastighet för att säkerställa att röken enbart utbreder sig i den ena riktningen från brandplatsen.

I de ovannämnda riktlinjerna anges de lufthastigheter som erfordras för att säkerställa att röken enbart utbreder sig i luftströmmens riktning:

*Lufthastigheter (m/s) enligt olika riktlinjer:*

Brandkategori	PIARC [2]	Holländska riktlinjer [1]	Svenska riktlinjer [4] <sup>*)</sup>
Personbil	1 – 2	–	1
Lastbil/buss	2 – 3	3	3
Tankbil	5 – 8	5	5

<sup>\*)</sup> Gäller för 12,5 m brett tunnelrör

### 6.3 Ventilationsprincip vid brand

#### 6.3.1 Tunnlar med enkelriktad trafik

I en tunnel med enkelriktad trafik kan man normalt utgå från att de fordon, som befinner sig mellan brandplatsen och utfartsportalen på egen hand snabbast möjligt kommer att lämna tunneln.

Man måste däremot räkna med att de fordon, som befinner sig i tunneln framför brandplatsen kommer att stoppas av branden. Ett brandalarm bör därför alltid medföra, att trafiken stoppas framför tunneln. Det är likaså viktigt att vägsystemet efter tunneln har sådan kapacitet, att trafiken kan föras bort ur tunneln utan att det uppstår kö som kan sprida sig in i tunneln.

Med en bilfri tunneldel efter brandplatsen bör ventilationsriktningen normalt väljas så, att röken blåses ut genom utfartsportalen.

Undantagsvis kan det vara lämpligt att välja den motsatta ventilationsriktningen. Detta kan till exempel vara fallet när branden uppstår nära infartsportalen. Likaså kan det vara fördelaktigt att vända luftriktningen mot trafikriktningen när tunnelröret med branden har tömts på trafikanter då det kan vara lättare för räddningstjänsten att nå brandplatsen från utfartsportalen. Fläktarna skall därför utföras reverserbara.

Om ventilationssystemet styrs så, att luften i båda tunnelrören blåses i trafikriktningen kan det vara risk för att röken från det tunnelrör där det brinner sugas in i det andra tunnelröret varifrån brandbekämpningen normalt utförs. Ventilationsriktningen bör därför vara densamma i båda tunnelrören. Dessutom bör lufthastigheten vara störst i det tunnelrör där branden finns varigenom man får ett undertryck i detta rör i förhållande till det andra röret vilket medför att rök inte tränger in i grannröret via nödutrymningsförbindelserna.

I de flesta tunnelar används längsventilation, som kan säkerställa en längsgående luftströmning i tunneln av det slag som beskrivits ovan.

I några fall används tvärventilation eller halv tvärventilation - dessa ventilationsprinciper beskrivs i avsnitt 6. Vid en brand i tunneln har dessa system olägenheten, att de inte kan skapa den längsgående luftrörelsen i tunneln och att de normalt inte heller har tillräcklig kapacitet för att kunna bortföra rökgaserna från brandplatsen vid större bränder. Vid dessa fall kommer dessa system inte att kunna förhindra att röken utbreder sig i tunneln såväl med som mot trafikriktningen. En förbättring av systemet kan uppnås om tunnelns frånluftskanal förses med luckor som automatiskt öppnar vid högre temperaturer så att utsugningen i närheten av brandplatsen ökas. Trots detta bör tvärventilationssystem förses med reverserbara impulsfläktar, som vid en brand kan förbättra möjligheterna att kontrollera rökutbredningen.

Ett halv-tvärventilationssystem, där det enbart är anordnat inblåsning av friskluft från en kanal i tunneln, är helt otillräckligt i händelse av en brand i tunneln eftersom man varken har möjlighet att suga ut röken eller påverka riktningen på den längsgående luftströmningen i tunneln. Ett sådant system skall därför förses med reverserbara fläktar, så att systemet kan ändras till ett utsugningssystem vid brand. Det bör dessutom också vara försett med de brandluckor som beskrivits ovan. Dessa bör vara placerade vid tak eftersom brandgaserna kommer att samlas där.

### **6.3.2 Tunnlar med dubbelriktad trafik**

Vid brand i en tunnel med dubbelriktad trafik kan det lätt uppstå en för trafikanterna farlig situation eftersom man måste räkna med att tunneln blockeras av fordon på båda sidor om brandplatsen och det inte heller kommer att vara möjligt att blåsa ut röken ur en bilfri tunneldel. I en sådan situation kan det vara fördelaktigt att begränsa lufthastigheten i tunneln av följande skäl. Nära brandplatsen kommer rökens temperatur att vara betydligt högre än tunnelluftens temperatur vilket medför att röken samlas uppe under tunneltaket och utbreder sig åt båda sidorna. Härigenom kan man under en kortare period (ca. 10 min.) få en rökfri zon på 2–3 m höjd över vägbanan på en sträcka av flera hundra meter från brandplatsen [2].

En del tunnlar, t.ex. S:t Gotthardstunneln i Schweiz, har utrustats med skyddsrum till vilka trafikanterna kan evakueras via den parallella service-tunneln.

En annan möjlighet, som bl.a. används i Norge, är att förse tunneln med vändplatser, så att bilarna har möjlighet att vända och köra tillbaka ut samma väg de kom in.

### **6.4 Ventilationssystemets utformning**

Fläktar som används i tunnlar bör försees med brandtröga motorer och kablar. Dessa fläktar bör inte innehålla rörliga delar av plast.

Ett typiskt krav för en sådan fläkt är att den skall kunna motstå temperaturer på upp till 250°C under en timme.

För att säkerställa elförsörjningen till fläktarna bör elkablarna placeras på ett brandsäkert sätt, till exempel i ingjutna kabelrör eller i sandfyllda kabelkanaler.

Med hänvisning till det som angivits ovan i avsnittet om brandlaster bör man därför ta med i beräkningen av ventilationssystemet för brandfallet att ett antal fläktar kan slås ut på grund av värmepåverkan. Vid en "medelstor brand" gäller detta de fläktar som är placerade närmare brandplatsen än 150–300 m i luftströmmens riktning. Vid en "stor brand" är motsvarande avstånd 300–500 m från brandplatsen. I en kort tunnel kan detta tyvärr medföra att man i värsta fall blir av med de flesta fläktarna. Detta förhållande bör man ta hänsyn till vid projekteringen av ventilationssystemet.

Fläktar, som placeras uppströms om brandplatsen kan antas fungera under en brand. Den bästa placeringen kommer att vara nära infartsportalen där enbart en brand omedelbart under fläktarna kan sätta dessa ur drift. Denna placering har dock den olägenheten, att fläktarna bara är effektiva när luften blåses in i tunneln. De kan alltså inte användas då luftriktningen reverseras.

Placeringen av fläktarna påverkar också på annat sätt deras effektivitet vid brand:

När luften uppvärms från till exempel 20°C till 250°C faller densiteten till 60% av värdet vid 20°C. Eftersom fläktarnas impuls är proportionell mot luftens densitet kommer de fläktar, som arbetar i den uppvärmda luften inte att kunna ge sitt fulla bidrag till ventilationen. Detta talar också för att fläktarna bör placeras i närheten av infartsportalen.

Ju större lufthastighet som väljs, desto längre bort från brandplatsen kommer det att uppträda höga temperaturer beroende på att avkylningen mot tunnelkonstruktionen blir mindre. I det aktuella brandfallet bör fläktarna därför styras så, att lufthastigheten inte blir större än vad som erfordras för kontroll av rökutbredningen och för att säkerställa att förbränningen blir fullständig.

Tunnelns lutning vid brandstället har betydelse för rökens naturliga utbredning. Den kommer, om allt annat är lika, att söka sig i den riktning som lutar uppåt (skorstensverkan).

## **6.5 Dimensionering av ventilationssystemet**

### **6.5.1 Dimensioneringskriterier**

Dimensioneringskriterier för brandfall bör väljas efter en värdering av de faktorer som gäller för den aktuella tunneln.

De viktigaste faktorerna är:

- trafikflöde
- antal risktransporter
- tunnellängd
- evakueringsmöjligheter för trafikanter
- en- eller tvårörstunnel.

Följande kriterier kan utgöra ett förslag:

En tunnel med trafikflöde till exempel över 15.000 fordon/dygn (enligt norsk tunnelklass E – se figur 7.6) och utan restriktioner för bensintransporter bör dimensioneras för en brand i en tankbil.

Tunnlar med ett trafikflöde mellan 5.000 och 15.000 fordon/dygn (tunnelklass C och D) bör dimensioneras för en brand i en lastbil/buss.

Övriga tunnlar (tunnelklass A och B) bör dimensioneras för en personbilsbrand.

### 6.5.2 Tunnlar med längsventilation

I den första fasen av en brand är det viktigt, att röken kan utbreda sig i en riktning – normalt i körriktningen – så att evakuering av personer från de bilar som spärrats av branden i tunneln kan ske säkert. I denna första fas av branden kan man räkna med att fläktarna ännu fungerar möjligen med undantag för den fläktgrupp som är närmast brandstället.

För denna situation bör man därför enligt avsnitt 6.2 kunna upprätthålla följande lufthastigheter i tunneln ("uppströms" om brandplatsen):

Brand i en personbil	1,5 m/s
Brand i en lastbil/buss	3 m/s
Brand i en tankbil	5 m/s

I nästa fas av branden, när evakueringen från tunneln kan förutsättas vara avslutad, måste man räkna med, att alla fläktar, inom ett avstånd av upp till 400 m räknat i luftströmmens riktning för till exempel en brand i en tankbil är utslagna på grund av värmeutvecklingen.

För denna situation är det väsentligt, att man även i fortsättningen kan säkerställa tillräcklig lufttillförsel till brandstället så att man får en fullständig förbränning. Man riskerar annars att det blir rökgasexplosioner i tunneln. Den fungerande delen av ventilationssystemet bör därför kunna tillföra ett friskluftsflöde av minst 90 m<sup>3</sup>/s vid denna typ av brand, jämför avsnitt 6.2.

Vid beräkning av lufthastigheten i tunneln bör man ta hänsyn till ett möjligt yttre vindtryck på utblåsningsportalen, till exempel till ett vindtryck motsvarande 10 m/s vindhastighet mätt på 10 m höjd över marken.

Fläktarna skall vara reverserbara.

### 6.5.3 Tunnlar med tvärventilation och halv tvärventilation

Uteluftsbehovet för en "stor brand" är ca. 90 m<sup>3</sup>/s. På grund av uppvärmningen vid brandplatsen "producerar" branden en rökgasflöde, se avsnittet 6.2 ovan, på upp till 450 m<sup>3</sup>/s. Då det knappast är möjligt att suga ut dessa stora brandgasflöden vid brandplatsen även om frånluftskanalen förses med rökkluckor bör tvärventilation kombineras med möjlighet att blåsa luft i tunnelns längdriktning så, att rökutbredningen kan kontrolleras på motsvarande sätt, som gäller för en tunnel med längsventilation.

### 6.6 Styrning och instruktioner

Vid utlösning av brandalarm i en tunnel bör ventilationssystemet startas automatiskt på ett i förväg planerat sätt, samtidigt som tunneln spärras för inkörande trafik.

Efter behov i det aktuella fallet skall det dessutom var möjligt att styra ventilationssystemet manuellt, till exempel från paneler som kan vara placerade vid tunnelmynningarna så, att situationen i tunneln kan observeras direkt.

Förutom att tunnelns ventilationssystem bör utformas så, att olika brandsituationer kan kontrolleras, är det väsentligt, att utarbeta instruktioner för polisen, räddningstjänsten/brandväsendet och tunnelns driftpersonal så, att den manuella styrningen av ventilationssystemet kan ske på ett optimalt sätt.

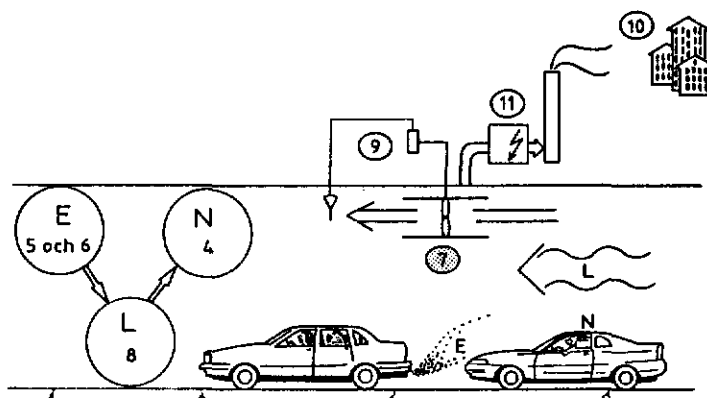
Personalen bör tränas regelmässigt i brandövningar, till exempel en gång per år.

I Norge är det praxis att man genomför brandövningar före tunnelns öppning.

I Danmark utförs brandövningar efter bedömt behov. I Limfjordstunneln genomför man varje år en brandövning, där brandväsendet övas i styrning av ventilationssystemet.

## **Referenser**

- [1] Rijkswaterstaat: Ventilatie van Autotunnels, juli 1991.
- [2] PIARC: Technical Committee Report No.5, XVIIIth World Road Congress, Bryssel 13–19 September 1987.
- [3] PIARC: Technical Committee on Road Tunnels, Report, XIXth World Road Congress, Marrakesh 22–28 September 1991.
- [4] Stockholmsleder AB: Tunnelstandard för Ringen, 6 mars 1992.



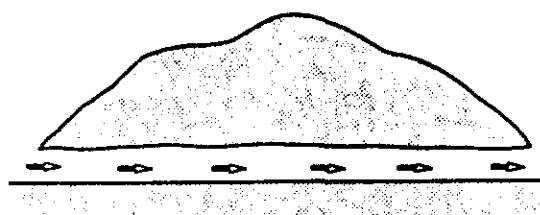
## 7. VENTILATIONSSYSTEM

### 7.0 Olika ventilationssystem

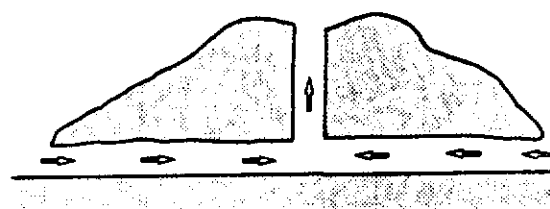
Vägtunnlar kan ventileras enligt tre olika huvudprinciper:

#### 1. Längsventilation

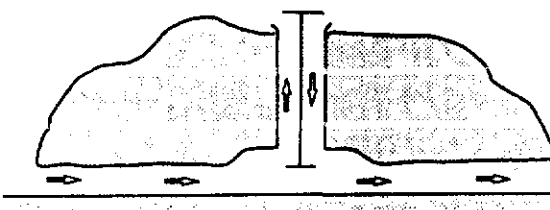
Luft tillförs via den ena mynningen, transporteras i tunnelns längdriktning och lämnar tunneln via den andra mynningen. Tunneln kompletteras ibland med ventilationstorn såsom visas på de undre figurerna.



Figur 7.1 Längsventilerad tunnel



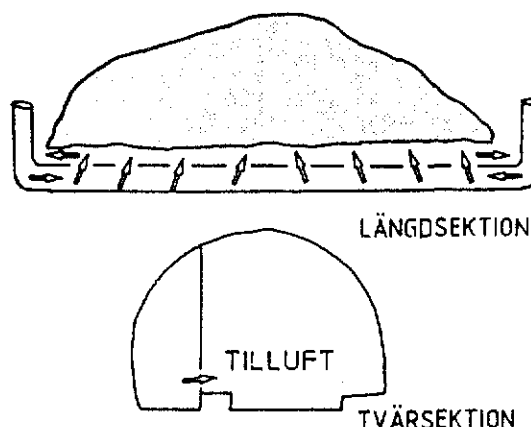
Figur 7.2 Längsventilation med avluft-torn på tunnelns mittpunkt



Figur 7.3 Längsventilation med tilluft och avluft via torn på mitten

## 2. Halv-tvärventilation

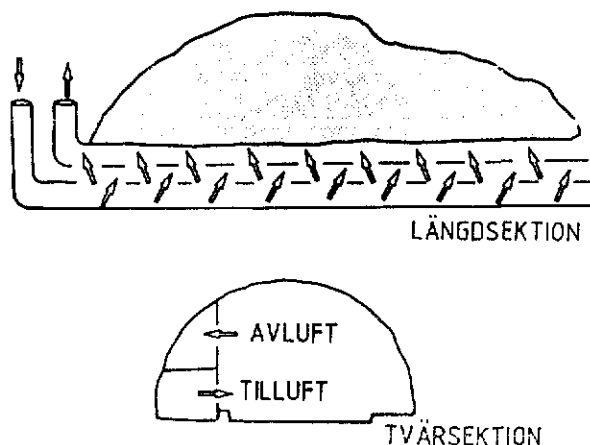
I detta system tillförs uteluf-  
ten genom en kanal med  
spalter nedtill vid vägbanan  
längs tunnelns hela längd.  
Den förorenade luften förs ut  
från tunneln tillsammans med  
trafiken.



Figur 7.4 Halv-tvärventilation med tilluft

## 3. Tvärventilation

I detta system både till-  
och bortförs luften via  
separata kanaler längs  
tunnelns hela längd.



Figur 7.5 Tvärventilation

## 7.1 Mekanisk ventilation

### 7.1.0 Allmänt

Mekanisk ventilation baseras huvudsakligen på användning av impulsfläktar. I långa eller starkt trafikerade tunnar eller där fastställda föroreningskrav gäller vid tunnelmynningarna, kommer ventilation via ventilationstorn att bli aktuellt. Även om det byggs ventilationstorn kommer impulsfläktar ändå att erfordras för att man skall kunna kontrollera luftflödena i tunneln.



### **7.1.1 Impulsfläktar**

Fläktarna monteras normalt i tunneltaket, en eller flera i bredd om utrymmet så tillåter. Avståndet mellan fläktarna i tunnelns längdriktning bör vara så stort, att man erhåller en stabil och jämn hastighetsprofil mellan var fläkt eller fläktgrupp. I Norge anses ca 70–80 m vara tillräckligt avstånd (baserat på egna försök), medan PIARC rekommenderar ett inbördes avstånd på 80–120 m.

I tunnlar med trafik i en körriktning kommer luftriktningen för ventilationsluften normalt att vara densamma som trafikens körriktning. Behovet av reversibla impulsfläktar i dessa tunnlar bör avgöras från fall till fall.

### **7.1.2 Fläktar placerade i ventilationstorn**

Genom att dela upp en tunnel i flera ventilationsavsnitt med hjälp av schakt kan man förnya luften i ett längsventilationssystem. Anläggningar med ventilationstorn leder emellertid till att luftrörelserna i tunneln blir mer komplicerade. Det kräver detaljerade beräkningar och planläggning anpassad till det konkreta projektet.

### **7.1.3 Korrosionsskydd av teknisk utrustning**

Luften i tunneln är korrosiv. Det beror på att varm och fuktig luft kondenserar i tunneln. Det kondenserade vattnet kan vara svagt surt på grund av det innehåller salpetersyrighet och salpetersyra som härrör från de nitrösa gaserna i fordonsavgaserna. Utrustningen skall därför korrosionsskyddas.

Generellt gäller att allt stål skall vara varmförzinkat. Detta utförs efter det att de enskilda delarna är färdigtillverkade i verkstaden. I Norge krävs en zinkbeläggning av 400 – 500 g/m<sup>2</sup>. Efter slutmontering, men före montering i tunneln, skall alla ståldetaljer erhålla ett ytterligare korrosionsskydd bestående av ett lager primer med skiktjocklek ca. 60 µm, och ett lager epoxibaserad färg med skiktjocklek ca. 60 µm påfört med högtrycksspruta.

Alternativt kan annat korrosionsskydd väljas. Detta skall då vara likvärdigt med det som beskrivits ovan.

För tunnlar under vatten behöver korrosionsskyddet bedömas speciellt. Syrafast metall är här ett tänkbart alternativ.

## **7.2 Säkerhet i ventilationssystemet**

### **7.2.1 Strömförsörjning – säkerhet mot strömavbrott**

Behovet av nödströmsutrustning skall värderas och beslutas för varje tunnelprojekt. Styrsystemet för ventilationen måste fungera i nödsituationer

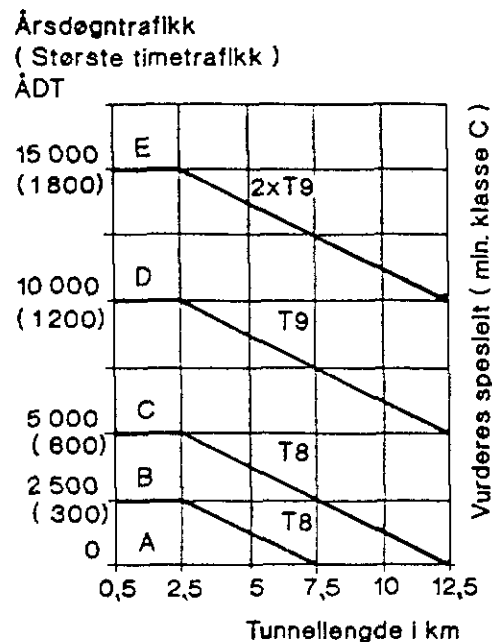
vilket ställer krav på kabelförläggningen. Alla kommunikationskablar till styrsystemet måste förläggas skyddad så att den inte skadas av brand eller fordonskollisioner.

(Fläktarna som strömförsörjes via en matning kan programmeras så, att de blåser med viss effekt i en i förväg definierad riktning vid avbrott på kommunikationskabeln. Detta medför dock faran att en eller flera avskurna kommunikationsmatningar motarbetar den styrning som brandkåren etc. manuellt väljer för ventilationssystemet. Samtidigt har man heller ingen kontroll av vad som pågår i de avskurna styrdelarna.)

Normalt är säkerheten mot strömavbrott tillräcklig om tunneln har separat strömförsörjning genom de bägge tunnelmynningarna. En brand som ödelägger en kabel eller en fläkt får inte medföra att all ventilation stoppas. Fläktarna i andra delar av tunneln måste fortfarande kunna köras.

De delar av tunnelns tekniska utrustning som förutsätts fungera vid en brand och deras strömförsörjning, styrning osv. skall kunna motstå en temperaturutveckling som motsvarar en ISO-brand med en varaktighet av:

- 10 minuter för tunnelklass A, B och C
- 20 minuter för tunnelklass D
- 30 minuter för tunnelklass E

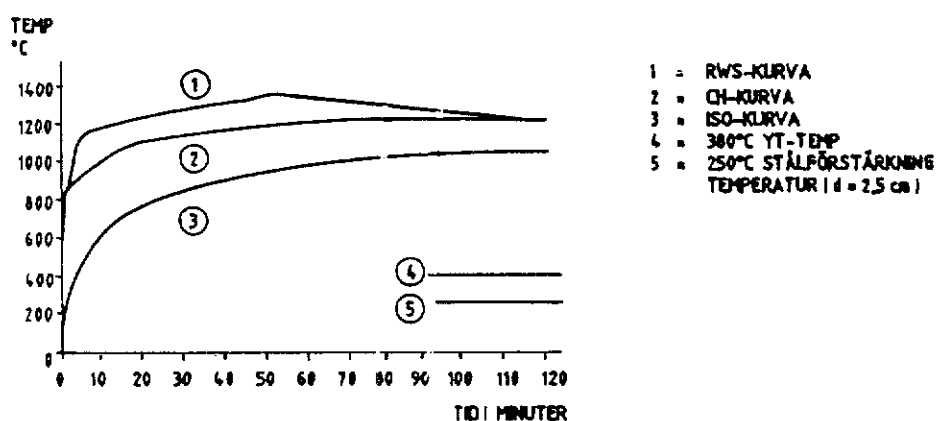


Figur 7.6 Tunnelklasser enligt den norska indelningen

### 7.2.2 Batterier eller dieselaggregat

Batterier eller dieselaggregat som säkerställer strömförsörjning till nödutrustning, pumpar, osv. är nödvändiga i högtrafikerade tunnlar och i undervattenstunnlar. Utrustningen bör dimensioneras för att också kunna hålla en minimiventilation i gång.

Vid installation av nödström bör man vara uppmärksam på att det idag installeras UPS-reservsystem för PLS och styrsystem i de flesta större tunnlar. Man brukar numera ofta låta bli att installera nödströmsaggregat för fläktdrift vid strömavbrott. (I undervattenstunnlar är det självklart att man



Figur 7.7 Brandförlopp vid ISO-brand (kurva 3)

förser pumparna med nödströmsförsörjning.)

(Ofta installeras UPS-systemet som reserv för styrsystemet (PLS) utan att därför leverera 230V systemspänning till hela fördelningsutrustningen. På detta sätt kommer PLS-utrustningen att fungera utmärkt vid strömavbrott dock utan att den kan utföra något produktivt därför att de enheter som den skall styra och de givare (gaser, ljus och vind) som den skall avläsa är strömlösa. Detta medför att installationen av UPS-systemet är totalt bortkastat och att man inte kan lita på de mätvärden man får sedan strömmen fallit bort.)

Sammanfattningen av detta blir att det finns tre alternativ till nödströmsförsörjning i tunnlar med hänsyn till ventilationen:

1. Inget nödströmsaggregat eller UPS-utrustning installeras
2. Det installeras en UPS-utrustning som strömförsörjer både PLS-system och hela styr- och fördelningskåpen och tillhörande givare. Motorer och vanlig tunnelbelysning får inte nödström.
3. Det installeras självstartande nödströmsaggregat som strömförsörjer hela fördelningskåpen. I detta fall kan man slopa UPS-utrustningen såvida man inte önskar en dubbel säkerhet.

Se även avsnitt 9.1 beträffande nödströmsförsörjning för tunnlar.

### 7.2.3 Krav på batterier

Om det installeras batterier bör dessa vara garanterade att klara minst 8 års drift vid ett uppskattat antal inkopplingar av 20 st á 60 minuter per år.

### **7.2.3 Brandsäkring av fläktarna**

Det är i praktiken svårt att brandisolera fläktar som hänger uppe under tunneltaket och det finns därför heller inga krav att så skall göras. Detta gäller också kablarna till varje enskild fläkt.

Fläktarna hängs upp i grupper och/eller är placerade på stort avstånd från varandra. Detta gör det troligt att bara ett begränsat antal av fläktarna kommer att skadas och slås ut vid brand. Som nämnts tidigare bör dock huvudströmsförsörjningen förläggas skyddat, t.ex. nedgrävd.

Vid brand med rökutveckling i tunneln bör rökgaserna från brandplatsen kunna ventileras ut mot närmaste tunnelöppning så att huvuddelen av tunneln blir rökfri. Det krävs därför att impulsfläktarna skall vara reverserbara.

### **7.3 Styrning av ventilationssystemet**

Ventilationen skall normalt styras automatiskt av värden baserade på realtidsmätningar av CO och NO<sub>x</sub>. Hur detta sker redovisas närmare i avsnitt 8.

Som tillägg till detta skall det vid varje tunnelmynning finnas möjlighet att manuellt kunna styra fläktarna i valfri flödesriktning.

Om tunneln övervakas eller styrs av en datoranläggning skall det finnas möjlighet att också därifrån kunna manuellt ingripa för direkt styrning av fläktarna.

### **7.4 System för drifttidsmätning**

För att det förebyggande underhållsarbetet skall kunna bedrivas systematiskt krävs att fläktarna är utrustade med drifttidsmätare. Dessa räkneverk bör registrera antalet drifttimmar för varje enskild fläkt eller fläktgrupp. Eftersom tunnlar med ventilationssystem idag förses med datoriserade styrsystem bör man ställa krav på att drifttidsmätarna skall vara försedda med alarm som kan nollställas vid service eller inspektion för att åter larma vid nästa underhållsintervall. Detta är till stor hjälp för drift- och underhållspersonalen och mycket lätt att åstadkomma.

### **7.5 Buller**

Buller från fläktarna kan vara ett stort problem för den personal som skall arbeta i tunnarna, t.ex. för underhållspersonal och för räddningspersonal efter olyckor. Kraftigt buller i långa tunnlar kan också ha en negativ psykologisk effekt på trafikanterna. Detta är speciellt viktigt om tunnarna skall kunna trafikeras av cyklister och fotgängare.

Detta gäller också personal som använder nödtelefoner om inte telefonhytterna utförs bullerdämpade. I sådana fall bör fläktarna i närheten av varje nödtelefon kopplas så, att när dörren till öppnas eller telefonen lyfts så skall de närmaste fläktarna stoppas.

Fläktarna skall utformas och väljas så, att de bidrar till en låg ljudnivå i tunneln.

## 7.6 Kostnader

Kostnader för tunnelventilation påverkas av en mängd olika faktorer varför det inte går att ge några generella värden uttryckt i kronor eller mark. Däremot kan man påvisa en del faktorer som påverkar kostnadsbilden.

### 7.6.1 Investeringskostnader

Investeringskostnaderna för ett tunnelventilationssystem påverkas först och främst av dimensioneringen och av anläggningens tekniska utförande. Kostnaden påverkas bland annat av följande faktorer:

- Tunnelns längd
- Trafikflöde
- Krav på luftrenhet i tunneln
- Krav på den utgående luftens renhet
- Teknisk övervakning och utformning av styrsystem
- Tunnelns fysiska förhållanden

De olika lösningarna för utformning av ventilationssystemen kan få ett inbördes kostnadsförhållande enligt följande tabell:

Typ av ventilationssystem	Faktor för kostnadsrelation
Längsventilation	1
Halvtvärventilation	10
Tvärventilation	12–15

### 7.6.2 Drift- och underhållskostnader

Driftkostnaderna varierar också i någon mån med vald utrustning men framförallt med ventilationssystemets installerade eleffekt. Detta visar på att kostnaden för elenergi utgör en väsentlig andel av driftkostnaderna även om elkostnaderna för fläktdrift bara utgör en begränsad del av de totala elenergikostnaderna i en längsventilerad tunnel.

Vid tvärventilation kommer driften av ventilationssystemet att svara för en större andel av de totala elkostnaderna.

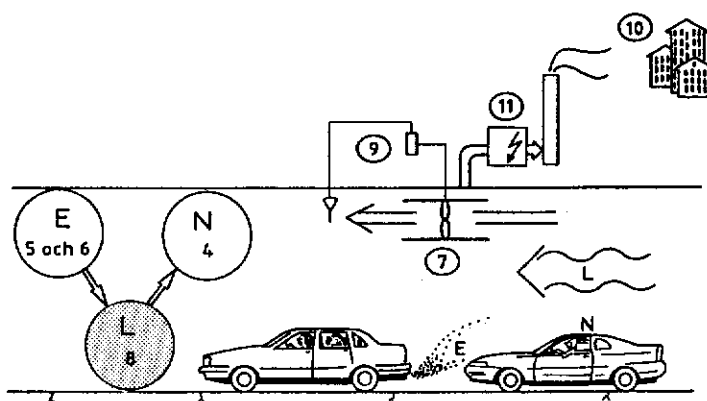
Kostnaderna för drift varierar för en och samma tunnel med trafikflöden, kösituationer, vindförhållanden osv. vilket medför att det är svårt att i förväg kunna bedöma de resulterande eldriftkostnaderna med någon större noggrannhet.

I Norge särskiljer man normalt inte elförbrukningen för fläktdrift från strömkostnaderna för belysning och pumpar.

I trånga tunnlar orsakas ofta kostsamma skador på impulsfläktarna av påkörande fordon.

Fläktarna kommer förr eller senare - beroende på driftförhållandena och beroende av hur de körs i förhållande till varandra - att behöva bytas ut på grund av förslitning.

Ett systematiskt förebyggande underhåll kommer att kunna påvisa fläktarnas optimala livslängd, dvs. när lämplig utbytestidpunkt närmar sig. Man bör därför ägna uppmärksamhet åt uppläggning av lämpligt system för underhållsrutiner.



## 8. LUFTFLÖDEN

### 8.0 Allmänt

Tunnelventilationen skall kunna:

- späda ut bilavgaserna i tunneln till en för trafikanterna acceptabel nivå
- skydda omgivningen i närheten av tunneln för luftföroreningar från tunneln
- kunna påverka rökspridningen i tunneln i händelse av brand.

Det krävs specifika data för vart och ett av dessa uppgifter vid utformningen av ett ventilationssystem.

### 8.1 Beräkning av luftbehov

Utvecklingen går stadigt mot en minskning av giftiga eller obehagliga avgasutsläpp. Enskilda länder har redan fått strängare lagar mot emissioner medan andra är på väg.

Stora tunnelprojekt tar mellan 5 och 10 år att genomföra, från de första utkastet till öppningen av tunneln, vilket medför att emissionsdata är beroende av öppningsåret och den utsläppskontroll som kommer att gälla då.

Kriterierna för luftföroreningar är fokuserade på kvävedioxid ( $\text{NO}_2$ ), varför denna förorening beskrivs detaljerat i det följande.

De nuvarande utsläppsbestämmelserna reducerar knappt emissionerna från dieseldrivna lastbilar, vilket för många projekt medför att sotproduktionen kommer att bli dimensionerande för friskluftstillförseln. Lastbilar har som regel kraftigare motorer för att kunna hålla full hastighet då de är fullastade,

något som ökar utsläppen av sot. Dessutom är trafikanterna mer känsliga för en dieselluktande atmosfär med dålig sikt vilket leder till högre driftkostnader för ventilationen.

## 8.2 Utsläppsfaktorer för CO och NO

Tidigare användes samma emissionsfaktorer för alla bilar runt om i världen, och dessa var europeiska medelvärden. När man ser på de olika utsläppsbestämmelser som antingen redan blivit, eller är på väg att bli lag, verkar det omöjligt att arbeta med bara en uppsättning data ens inom Europa. Utsläppsfaktorerna spänner från stränga emissionsbestämmelser till områden där det i stort helt saknas kontroll.

### 8.2.1 Luftflöde som krävs för utspädning av CO

Det erforderliga uteluftsflödet  $Q_F$  erhålls på basis av basvärdet för CO-produktion per personbil  $q_{CO}$ , som korrigeras för att anpassas till aktuella förhållanden – se avsnitt 5 – och tillåten CO-nivå i tunneln  $CO_{lim}$  – se avsnitt 4.

$$Q_F = \frac{q_{CO} \times f_v \times f_i \times f_H \times L \times F}{3600} \times N_{pb} \times \frac{10^6}{CO_{lim}}$$

där

$Q_F$  = erforderligt uteluftsflöde [ $m^3/s$ ]

$q_{CO}$  = basvärde för CO-produktion per personbil [ $m^3/(h, fordon)$ ]

$f_v$  = korrektionsfaktor för hastighet

$f_i$  = korrektionsfaktor för körning i lutning

$f_H$  = korrektionsfaktor för höjd över havet

$L$  = tunnellängd [km]

$F$  = antal körfält

$N_{pb}$  = antal personbilar per km och körfält [fordon/(km,körfält)]

=  $M_{pb}/V$ ;

$M_{pb}$  = maximalt trafikflöde per timme [fordon/(h,körfält)]

$V$  = fordonens medelhastighet [km/h]



$CO_{lim}$  = tillåten CO-nivå i tunneln

#### Anmärkingar

- 1) Basvärdet för CO-produktion  $q_{0CO}$  är angivet för personbilar som körs med 60 km/h på horisontell väg vid havsytan. Varje utsläppsvärde i tabell 6.1 står för totalt antal bilar för vart år. För år som ligger mellan de angivna värdena kan värdet extrapoleras linjärt.

### 8.2.2 Luftflöde som krävs för utspädning av NO

Det erforderliga uteluftsflödet för utspädning av kväveoxider erhålls på motsvarande sätt som beskrevs för CO ovan, det är samma parametrar som påverkar resultatet. Den totala NO-emissionen beräknas på basis av  $Q_{NO}$ , basvärdet för NO-produktion för lätta respektive tunga fordon,  $q_{0NO}$ , som korrigeras för att anpassas till aktuella förhållanden – se avsnitt 5 – och tillåten NO-nivå i tunneln  $NO_{lim}$  – se avsnitt 4. För personbilsandelen sker beräkningen av NO-emissionen enligt följande:

$$Q_{NO} = q_{0NO} \times f_v \times f_i \times f_H \times N$$

där

$Q_{NO}$  = NO-emission per personbil [ $m^3/h,pb$ ]

$q_{0NO}$  = basvärde för NO-produktion [ $m^3/h,pb$ ]

$f_v$  = korrektionsfaktor för hastighet

$f_i$  = korrektionsfaktor för körning i lutning

$f_H$  = korrektionsfaktor för höjd över havet

### 8.2.3 Luftflöde som krävs för uttunning av sot

$$Q_F = \frac{q_{0T} \times m \times f_{IV} \times f_H \times L \times F}{3600} \times N_T \times \frac{1}{K_{lim}}$$

där

$Q_F$  = erforderligt uteluftsflöde [ $m^3/s$ ]

$q_{0T}$  = basvärde för sotproduktion [ $m^2/(h,ton)$ ]

$m$  = fordonens medelvikt [ton]

$f_{iv}$  = korrektionsfaktor för stigning och hastighet

$f_H$  = korrektionsfaktor för höjd över havet

$L$  = tunnellängd [km]

$F$  = antal körfält

$N_T$  = antal tunga fordon per km och körfält [fordon/(km,körfält)]

=  $M_T/V$ ;

$M_T$  = maximalt trafikflöde per timme av tunga fordon [fordon/(h,-körfält)]

$V$  = fordonens medelhastighet [km/h]

$K_{lim}$  = tillåten sotkoncentration i tunneln [ $m^{-1}$ ].

### 8.3 Beräkning av nödvändig impuls kraft vid längsventilation

Figurerna 7.1 – 7.3 visar exempel på verkningssätt hos längsventilation. Ett sådant system kan byggas med och utan ventilationstorn. Luftströmningen kan räknas som strömning i rör och man kan sätta upp enkla analogier för luft rörelsen genom tunneln.

De krafter som påverkar ventilationen i en tunnel kan indelas i följande tre:

- meteorologiska ventilationskrafter
- kolvverkan från trafiken
- mekaniska ventilationskrafter

Ventilation som orsakas av meteorologiska krafter och kolvverkan från fordon betecknas som naturlig ventilation.

#### 8.3.1 Naturlig ventilation

De meteorologiska ventilationskrafterna är oftast instabila, och det kan vara svårt att förutse styrka och fördelning av de olika bidragen. Detta gäller speciellt för vindkrafter och inverkan av temperaturskillnader. Temperaturkrafterna kan vara något mer stabila och lättare att överskåda. Mätning av naturligt drag bör göras där så är möjligt.

### 8.3.2 Beräkning av tryckfall

Vid beräkning av tryckfallet genom tunneln används Bernoullis ekvation. Friktionsandelen är normalt den dominerande faktorn i denna beräkning. I praxis kan antas att luftströmningen är stationär och ekvationen kan därmed förenklas till:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left( i + \lambda \frac{L}{D} + 1 \right) u^2$$

där

$\Delta p$  = tryckfallet genom tunneln [Pa = N/m<sup>2</sup>]

$\rho$  = luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$i$  = inloppsförlust

$\lambda$  = koefficient för strömningsförluster. Varierar mellan 0,25 vid gjuten tunnel till 0,05 vid råsprängd tunnel.

$L$  = tunnellängd [m]

$D$  = hydraulisk diameter ( $D = 4A/O$ ) [m]

$u$  = beräknad erforderlig lufthastighet [m/s]

Enstaka tryckfall, som uppstår vid luftens strömning genom böjar, förträngningar etc. i samband exempelvis med ventilationstorn, kan uttryckas som funktion av hastigheten i tunneln.

$$\Delta p_{ens} = \frac{\rho}{k \times 2} \times u^2$$

Faktor  $k$  bestäms av de geometriska förhållandena och återfinns i handböcker.

### 8.3.3 Meteorologiska ventilationskrafter

Förutsättningen för denna effekt är att tunnelöppningarna (eventuella tvärslag och schaktöppningar) ligger på olika höjd och att det är en temperaturskillnad mellan luften i och utanför tunneln. Tryckdifferensen mellan tunnelöppningarna blir:

där

$$\Delta p_i = q \times \frac{\Delta T}{T_i} \times \Delta H \quad (\text{N/m}^2)$$

$\Delta p_i$  = tryckskillnaden [Pa = N/m<sup>2</sup>]

$T_i$  = luftens medeltemperatur i tunneln [K]

$q$  = luftens densitet vid den nedre portalen [kg/m<sup>3</sup>]

$\Delta T$  = skillnaden mellan luftens medeltemperatur i tunneln och lufttemperaturen vid den nedre portalen [kg/m<sup>3</sup>]

$H$  = höjdskillnaden mellan tunnelöppningarna eventuellt mellan tunnelöppning och schaktöppningar [m]

Tryckgradienten är riktad mot den högsta höjden eller lufttemperaturen. När temperaturerna är lika uppstår instabila tillstånd. Detta är ofta fallet vår och höst.

### 8.3.4 Kolvverkan från trafiken

När bilar trafikerar en tunnel med en fart som avviker från lufthastigheten i tunneln, kommer de att påverka luftmassorna i tunneln med ett tryck (impulskraft).

Den kraft som bilarna påverkar luften i tunneln med (luftmotståndet) kan uttryckas som:

$$p_F = \frac{q}{2} \times \frac{i_F \times A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} \times [N^+(V_i - u)^2 - N^-(V_i + u)^2]$$

där

$p_F$  = impulskraften [N]

$q$  = luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$A_T$  = tunneltvärsnittet [m]

$A_F$  = fordonstvärsnittet:

personbilar  $A_F = 2 \text{ m}^2$ ;

lastbilar och bussar  $A_F = 6 \text{ m}^2$

$i_F$  = formfaktor motsvarande effektiv motståndsytta:

personbilar  $i_F = 0,5$

lastbilar och bussar  $i_F = 1,0 - 1,7$

$N^+, N^-$  = antal bilar i tunneln vid en given tidpunkt under den dimensionerande timmen som kör med dimensionerande hastighet, med (+) och mot (-) luftströmmen.

$V_t$  = trafikhastighet [m/s]

$u$  = lufthastighet [m/s]

### **Tunnlar med enkelriktad trafik**

För tunnlar med enkelriktad trafik kan formeln för den kraft som fordon utövar på tunneln förenklas till [1]:

$$p_F = \frac{q}{2} \times \frac{i_F \times A_F}{\left(1 - \frac{A_F}{A_T}\right)^2} \times [N^+(V_t - u)^2]$$

där

$p_F$  = impulskraften [N]

$q$  = luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$A_T$  = tunneltvärsnittet [m<sup>2</sup>]

$A_F$  = fordonstvärsnittet:  
personbilar  $A_F = 2 \text{ m}^2$ ; lastbilar  $A_F = 6 \text{ m}^2$

$i_F$  = formfaktor motsvarande effektiv motståndsyta:  
personbilar  $i_F = 0,5$ ; lastbilar och bussar  $i_F = 1,0 - 1,7$

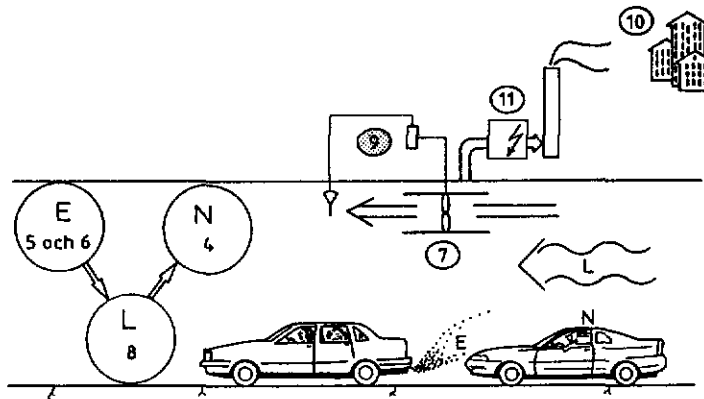
$N^+, N^-$  = antal bilar i tunneln vid en given tidpunkt under den dimensionerande timmen som kör med dimensionerande hastighet, med (+) och mot (-) luftströmmen.

$V_t$  = trafikhastighet [m/s]

$u$  = beräknad erforderlig lufthastighet [m/s]

### **Referenser**

- [1] Vegdirektoratet: Forslag til håndbok 021. Normaler om vegtunneler. 1004 – 1005. Mars 1991.



## 9. STYRNING OCH ÖVERVAKNING

### 9.0 Allmänt

Ett modernt styrsystem för tunnlar är idag uppbyggt omkring en eller flera programmerbara logiska styrsystem (PLC på engelska, svenska, danska, tyska men PLS på norska) och ett bildskärmsbaserat operatörssystem (= "interface"). I små tunnlar används ett display i tunnelns ställverk för kommunikation, i större tunnlar installeras normalt bildskärmssystem kopplade till en central dator för fjärrövervakning. Man väljer dock gärna att ha kvar lokala displayer i tunnelarna som hjälp vid underhållsarbeten även då man installerat fjärrövervakning.

Även om anläggningen består av flera PLC-system vill man ofta ha en huvud-PLC som en central kommunikation mot omvärlden och där gemensamma beräkningar för hela tunnelsystemet företas.

Styrsystemets huvuduppgifter kommer att vara beroende av vilken slags utrustning som installerats i tunneln. Uppgifterna kan bland annat omfatta följande:

Styrning av:

- belysning
- ventilation
- pumpar för undervattenstunnlar
- bommar, stoppljus, ställbara skyltar

Registrering av:

- belysning
- lufthastighet och luftriktning i tunneln
- gaskoncentrationer

- användning av nödtelefoner och räddningsutrustning
- brandlarm, fel
- kondens, sikt, temperatur
- strömförbrukning
- trafik

För att skapa en effektiv övervakning av vägnätet är det viktigt att använda generella skärmsystem, som kan fungera mot många olika typer av PLC-system. Detta möjliggör för en operatörsterminal på en vägtrafikcentral att övervaka flera tunnlar även om PLC-systemen är av olika fabrikat. Skärmsystem och PLC-system som inte kan kommunicera med generella skärmsystem bör undvikas.

### **9.1 Säkerhet och kontroll**

Styrsystemen utgör utomordentligt viktiga delar för säkerheten i tunneln, t.ex. för brandventilation och övervakning av säkerhetsutrustning, varför kraven på driftsäkerhet hos dessa system måste ställas höga.

Alla kommunikationskablar till styrsystemet måste grävas ned eller på annat sätt förläggas brandsäkert så, att brand eller fordonskollisioner inte orsakar kommunikationsfel mellan enheter i styrsystemet. I speciella högtrafiktunnlar och i långa tunnlar (> 5 km) bör systemet vara dubblerat så, styrsystemet fortsätter att kommunicera även om en kabel skadas.

För långa eller högtrafikerade tunnlar är det viktigt att alla registreringsfunktioner upprätthålls med nödström om tillförseln till anläggningen skulle falla bort.

I undervattenstunnlar bör man installera ett nödströmsaggregat för pumparna, men i de flesta andra tunnlar kan man klara sig med UPS-system (avbrottsfri kraft) som levererar kraft till PLS-systemen och den registreringsutrustning som finns samt till stängning av tunneln, t.ex. till stoppljus och/eller bommar. Att installera UPS-system som bara matar PLS-utrustningen utan att samtidigt strömförsörja systemets givare är meningslöst. Det finns därför tre alternativ till nödströmsförsörjning i tunnlar:

1. Inget nödströmsaggregat eller UPS-utrustning installeras
2. Det installeras en UPS-utrustning som strömförsörjer både PLS-system och hela styr- och ställverksskåpen och tillhörande givare. Motorer och vanlig tunnelbelysning får inte nödström.
3. Det installeras självstartande nödströmsaggregat som strömförsörjer hela fördelningsskåpen. I detta fall kan man slopa UPS-utrustningen såvida man inte önskar en dubbel säkerhet.

Vilka signaler och fel som styrsystemet skall övervaka är beroende av utrustningen i den aktuella tunneln. Följande registreringar bör dock av säkerhetsskäl alltid vara inkluderade:

- alla typer av utlösta säkringar
- fel på nödströmsutrustning
- fel- och driftsignaler från alla motorer och all belysning
- statussignaler från manöverskåp vid tunnelmynningarna
- kommunikationsfels- och driftfelslarm som kan redovisas på styrsystemet.

Om brandlarm från tunneln enbart baseras på larm via styrsystemet från bortlyft brandsläckare eller användning av nödtelefon **måste** kommunikationsförbindelsen till en överordnad vaktcentral baseras på fasta tele- eller datalinjer. Uppringda linjer ger inte tillräcklig säkerhet i och med att linjeavbrott bara kan detekteras när man söker förbindelse från vaktcentralen till tunneln, något som sker relativt sällan.

## 9.2 Styrning

De två viktigaste funktionerna som skall styras och utföras i en vägtunnel är drift av ventilationssystemet och stängning och evakuering av tunneln vid olyckor etc. Det är viktigt att dessa funktioner kan utföras både från styrskåp vid tunnelmynningarna och från datorskärmar i en eventuell fjärrövervakningscentral.

Olåsta styrskåp vid tunnelmynningarna skall alltid finnas i tunnlar som har styrsystem, och skåpens brytare och signallampor skall vara skyltade på ett lättbegripligt sätt så, att räddningspersonal som inte känner till anläggningen snabbt kan sätta igång ventilationen och/eller stänga tunneln. På grund av rökutvecklingen vid brand får skåpen inte placeras direkt i tunnelportalen utan på betryggande avstånd utanför tunneln.

Både styrskåp och skärmsystem bör innehålla enkla brytarfunktioner som verkställer nödstängning av tunneln. Nödstängningen bör innefatta all utrustning som installerats för detta ändamål i den aktuella tunneln, t.ex. bommar, stoppljus, ställbara skyltar och förinställda ventilationsfunktioner. Utrustningen bör kunna handhas var för sig. Skärmbilder och statuslampor måste byggas upp på ett sådant sätt, att operatören snabbt kan få en överblick över driftstatus för alla vitala installationer, och inte minst, en översikt över varför denna driftstatus visas. Så till exempel bör operatören kunna läsa av direkt från bildskärmen orsaken till att ett givet antal fläktar är i drift. Det måste också framgå tydligt av skärmbilden, eller styrskåpet, om någon manuell styrpåverkan har skett från någon av de andra möjliga styrsystemerna.



I långa tunnlar kan det vara trafik på väg mot en eventuell olycksplats. Det är viktigt att få dessa trafikanter ut från tunneln på grund av risken för rökförgiftning som uppstår vid brand. Eftersom inte alla trafikanter lyssnar på radio måste man kunna ge visuella signaler. I Nordeuropas längsta vägtunnel, Gudvangatunneln i Norge, är trafiksignaler placerade på jämna mellanrum i tunneln. Dessa signaler innehåller bara grönt och rött ljus och en underskylt med texten "Vänd om vid röd signal". Förutom att bilisterna skall vända om och köra tillbaka vid olyckor i tunneln har dessa signaler en starkt lugnande effekt på folk med tunnelfobi. Att alltid se en grön signal vid normal genomfart av tunneln lugnar trafikanter som är oroliga för luftkvalitet, varningssystem etc. Signalljusen styrs av ett PLC-system som sörjer för att signalerna visar grönt bort från olycksplatsen och rött mot olycksplatsen. Olycksplatsen kan lägesbestämmas manuellt från skärmsystemet eller detekteras automatiskt med hjälp av automatiska brandlarmsgivare, använd nödtelefon eller bortlyft brandsläckare.

Styrsystemet skall normalt styra fläktarna på signaler från realtidsmätare för CO- och NO<sub>x</sub>-halter i tunnelluften, dock med inlagda tidsfunktioner för att kompensera för tunnellängden när CO-koncentrationen skall vädras ut ur hela tunneln.

Ventilationsluftens riktning i tunneln bör alltid vara densamma som trafikens i en envägstrafikerad tunnel, men om man märker en CO-propp i en tvåvägstunnel skall denna ventileras ut samma väg som ventilationssystemet kördes när proppen uppdagades. Det har i många tunnlar angivits att denna propp borde ventileras ut mot närmaste tunnelöppning, men detta är inte optimalt eftersom det tar lång tid och mycket energi att vända luftströmmen i en längre tunnel. Samtidigt har dagens utrustning för mätning av CO svårt att skilja på en generell CO-nivå och proppar såvida inte givarna sitter mycket nära varandra.

### **Tidsstyrning**

Tidsstyrning är en alternativ metod för att styra ventilationssystemet där man anpassar styrningen efter statistiskt konstaterade variationer i trafikflöden under dygnets timmar, veckans dagar och årstider. Man kan till exempel ha flera olika driftbetingelser för ventilationssystemet under en dag, morgonrusningen in mot tätorten, förmiddagstrafik, eftermiddagsrusningen ut från tätorten samt trafik under kvällar och nätter. Man kan också anpassa ventilationsstyrningen efter de speciella krav som gäller vid speciella trafiksituationer. Valet av program sker, som namnet anger, på basis av ett tidur.

### **Trafikstyrning**

Ett tredje alternativ för styrning av ventilationssystemet är baserat på önskemål att i **förväg** bedöma mängden föroreningar som kommer att uppstå i tunneln som följd av trafiken och som kräver utspädning för att tillåtna halter inte skall överskridas. Detta sker genom att trafikflödet in i tunneln

registreras. Dessa värden styr ventilationssystemet så, att ventilationsflödet förändras i takt med trafikflödet. Styrsystemet kan också kopplas till, och justera luftflödet i tunneln på basis av, uppmätta värden för CO och NO<sub>x</sub>. Om de tillåtna halterna överskrids kommer dessa värden att ha prioritet över de förinställda luftflödesvärden som baserades på uppmätta trafikflöden.

### **9.3 Övervakning**

För att säkerställa att alla kablar från PLC-systemet ut till alla givare fungerar skall alla givare som har ett analogt elektriskt gränssnitt mot PLC-systemet anslutas via det standardiserade 4–20 mA gränssnittet vilket öppnar för registrering av kabelbrott. Andra standarder, t.ex. 0–10 V eller 0–20 mA skall undvikas.

Digitala gränssnitt mellan givare och PLC-system skall ske med balanserade signaler eller strömförsörjning för att undvika buller från kraftkablar och dylikt.

Anläggningarna bör innehålla brand- och/eller rökdetektorer i den mån det är möjligt. Detta är viktigt för att bränder skall kunna upptäckas, och ge larm, i tunnlar där det inte finns ansvarskännande och rörliga människor på plats. Samtidigt vet man, att människor som kommer till en olycka i en tunnel kan uppträda irrationellt och springa ut ur tunneln i stället för att larma med nödtelefon eller genom att lyfta av brandsläckare.

Alla deldriftsystem, t.ex. belysningsinstallationer, fläktar och pumpar bör ha egna räkneverk anslutna till styrsystemet för att registrera antal drifttimmar per delsystem. Eftersom alla tunnlar med ventilation idag förses med datorstyrda ventilationssystem bör man också ställa krav på att drifttidsmätarna skall vara försedda med alarm som kan nollställas vid service eller inspektion för att åter larma vid nästa underhållsintervall. Detta är till stor hjälp för drift- och underhållspersonalen och mycket lätt att åstadkomma. Att lägga in redovisningen av drifttidsmätningen på PLC-systemet och dess bildskärm är en långt billigare lösning än de traditionella mekaniska drifttidsmätarna som monteras i skåpdörrarna. De mekaniska drifttidsmätarna saknar också möjligheter till fjärravläsning.

### **9.4 Specialtransporter och risktransporter**

Som specialtransporter kan man definiera explosiv last, kemiska transporter, långa fordon, breda fordon och långsamtgående fordon. För att säkra både specialtransporterna och de vanliga trafikanterna är det viktigt att tunnelarna kan stängas på ett sådant sätt, att de bara hålls öppna för specialtransporten. Detta bör göras med hjälp av ställbara skyltar och rödljusblink vid tunnelmynningarna. Det är därför tveksamt att, som man gjort vid några tunnlar, förse den röda signalen med en vit underskylt med texten "Rött ljus vid för hög CO-nivå". Texten borde i stället lyda "Stopp vid rött ljus".

I tillägg bör man kunna sätta upp texten "Specialtransport" på de ställbara skyltarna utan att man avstår från det blinkande röda ljuset. De ställbara skyltarna bör åtminstone kunna visa följande meddelanden:

- Olycka
- Specialtransport
- Hög gasnivå
- Underhåll ☐☐Kör sakta☐☐

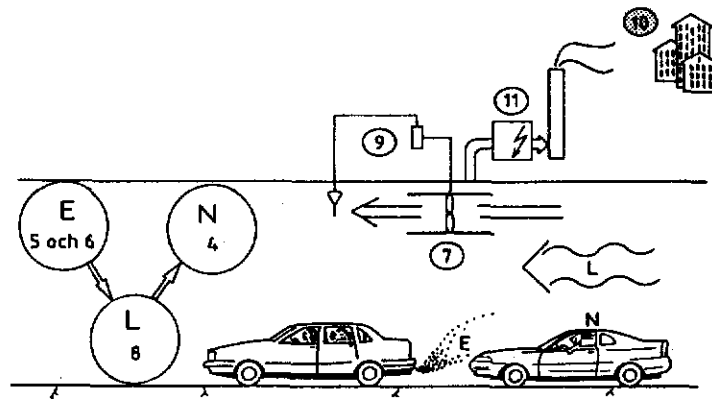
Genom att kombinera de tre första skyltarna med blinkande rödljus får man den önskade funktionen, att stoppa infart i tunneln. Givetvis kan dessa signaler kombineras med bommar.

Alla stängningstyperna skall kunna initieras från styrskåp vid tunnelmynningarna och fjärrstyras från övervakningscentralens skärmsystem. Genom att låta styrskåpen stå olåsta kan bilförarna, och följebilarna vid specialtransporter, själva stänga tunneln och tända signalen "Specialtransport". Alternativt kan man sätta nödtelefoner utanför varje tunnelmynning som står i direkt kontakt med vägförvaltningens kontinuerligt bemannade vaktcentral varifrån man kan vidtaga åtgärderna att stänga tunneln och tända skylten "Specialtransport" via skärmsystemet.

### **9.5 Underhåll**

Själva styrsystemet skall för det mesta fungera utan speciellt underhåll. PLC-system, säkringar, reläer, kontaktorer och kablar kräver inget särskilt underhåll. Några typer av PLC-system kräver att man byter ut backupbatterierna med jämna mellanrum (3 – 5 år) vilket bevakas av PLC-systemet självt genom larm till operatörspanelens skärm. Om ställverken och styrskåpen har dåliga tätningar kan det bli nödvändigt att blåsa rent styrskåp, ställverk och elektronikkomponenter med tryckluft. Dessutom kräver PLC-baserade operatörssystem normal och regelbunden rengöring av t.ex. tangentbord, mus och bildskärm.

Ute i tunneln där det sitter mekaniska givare för gaser och luft krävs det ett regelbundet förebyggande underhåll, rengöring och kalibrering enligt leverantörens specifikationer.



## 10. FÖRORENINGAR MOT OMGIVNINGEN

### 10.0 Allmänt

I vägtunnlar kommer ventilationslösningen att ha avgörande betydelse för mängden av föroreningar och för platserna där dessa släpps ut. Det skall därför göras en konsekvensanalys där den föroreningsmässiga påverkan knyts till de förutsättningar som gäller för tunnelns ventilation, placering av eventuella ventilationstorn och liknande frågor.

Placering och utformning av tunnelmynningar och eventuella ventilationstorn kräver ofta stadsplanebeslut även om praxis varierar mellan de olika länderna. På samma sätt varierar tillståndsprövning och miljöärenden, viktigt är att erforderliga kontakter med berörda myndigheter tas tidigt under projektet.

### 10.1 Föroreningar

Erforderliga tilluftsflöden för tunneln beräknas på grundval av satta gränsvärden för CO, NO<sub>2</sub> och sot (siktnedsättning) enligt beskrivningen i avsnitten 4 – 8. På basis av de framräknade föroreningskoncentrationerna i utsläppen från tunneln kan påverkan av föroreningar på den närmaste omgivningen värderas. Med föroreningsgrad menas en sammanvägning av föroreningsnivå och beslutade gränsvärden för luftkvalitet i omgivningen.

### 10.2 Beslutade gränsvärden för luftkvalitet i omgivningen

Beslutade gränsvärden anger en övre gräns för föroreningsnivåerna, dessa värden bör inte överskridas om man vill upprätthålla en säkerhet mot negativa miljöpåverkningar.

Exempel på värden som tillämpas i de nordiska länderna redovisas i avsnitt 4.

### 10.3 Värdering och beräkning av luftföroeningar från vägtunnlar

#### 10.31 Föroreningsutsläpp genom tunnelmynningar

Nedan redovisas en norsk förenklad metod för spridningsberäkningar från vägtunnlar.

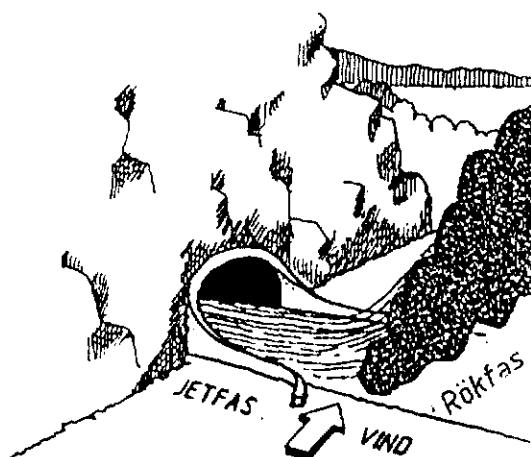
Metoden är empirisk och baseras bland annat på mätningar av spridning av spårämnen utanför tunnelmynningar och på atmosfäriska spridningsmodeller anpassade till spridning av utsläpp vid marknivå. Beräkningsmodellen [1] presenteras nedan som ett antal nomogram, se figur 10.3.

Metoden har testats genom omfattande nya spårämnesmätningar i och utanför Vålerengatunneln i Oslo vintern 1989/90. Det visade sig att den rekommenderade metoden stämde väl överens med de nya mätningarna. Denna metod kan därför utnyttjas i samband med värdering av förorenings-spridning.

För att beskriva förorenings-spridningen ut ur tunnelöppningen delas denna upp i två faser, jetfas och rökfas. I jetfasen är det i första hand lufthastigheten ut ur tunnelmynningen ( $v_t$ ) som är avgörande, medan det är atmosfärförhållandena (t.ex. den typiska vindhastigheten  $U$ ) som är viktigast för rökfasen. Detta visas schematiskt i figurerna 10.1 och 10.2.

Metoden är empirisk, dvs. de valda parametrarna beror av representativa mätningar. Övergången från jetfas till rökfas är mycket komplicerad och har valts efter erfarenhet.

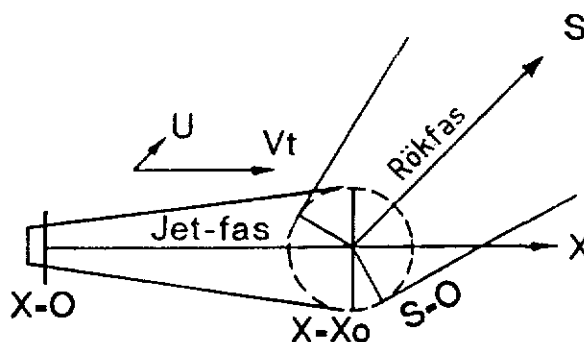
För att kunna beräkna föroreningskoncentrationen så noggrant som möjligt i bestämda punkter utanför tunnelportalen måste man inhämta data om lokala atmosfäriska förhållanden (vind, stabilitet etc.) i området. Dessa data måste ofta tas fram genom egna mätningar över längre tid. Mätningarna skall täcka vinterförhållanden, då föroreningshalten vanligtvis är störst. I tillägg till



Figur 10.1 Jetfas och rökfas

dessa mätningar är det nödvändigt att fastställa bakgrundskoncentrationen i området.

Topografin, tillsammans med utformningen av tunnelportalerna kan också ha stor betydelse för spridningsförloppet.



Figur 10.2 Jetfas och rökfas

### Begränsningar som gäller nomogrammen:

- tunneltvärsnitt  $A = 48 \text{ m}^2$
- nomogrammen gäller enbart för spridning av kolmonoxid, CO
- nomogrammen får inte användas för  $U < 1 \text{ m/s}$  och  $V^t > 8 \text{ m/s}$

I övrigt hänvisas till [1] för fullständig beskrivning av metoden.

### Förklaringar till användningen av nomogrammen:

De tre nomogrammen gäller för tre olika vindhastigheter ( $U = 1, 2$  och  $5 \text{ m/s}$ ).

De enskilda nomogrammen redovisar  $C/C_i$  som funktion av avståndet från tunnelöppningen för  $V_i = 1, 2, 3, 4, 5$ , och  $8 \text{ m/s}$ .

Nomogrammen till vänster redovisar  $C/C_i$  inom området  $0 - 1,0$ .

Nomogrammen till höger redovisar  $C/C_i$  inom området  $0 - 0,1$  (dvs. med tio gångers förstoring).

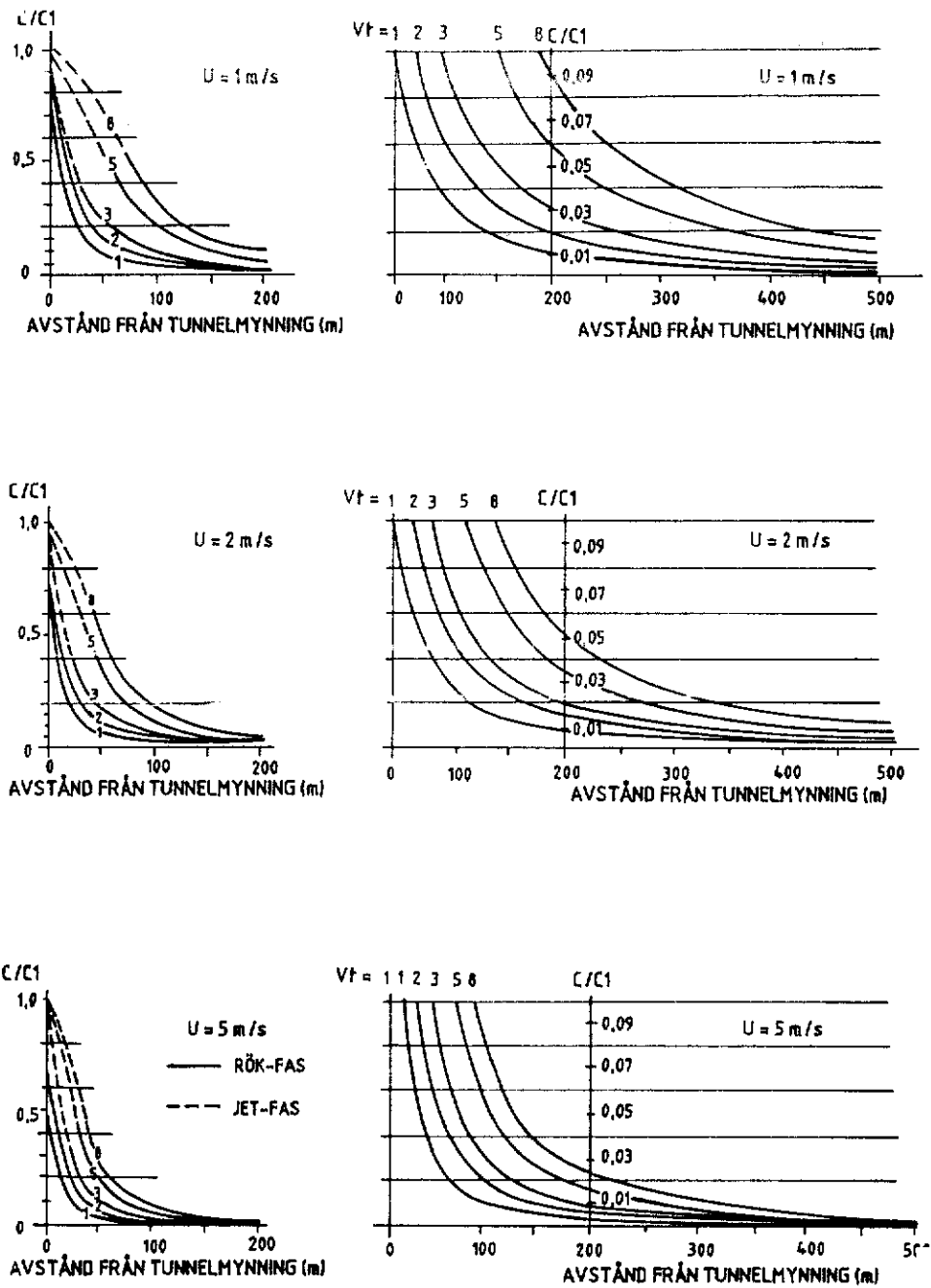
Om  $U$  och  $V_i$  inte har exakta värden, skall den närmaste kurvan som överensstämmer med koncentrationen användas, dvs. man använder:

- kurvan för det högsta värdet på  $U$  som är mindre än det verkliga
- kurvan för det minsta värdet på  $V_i$  som är större än det verkliga.

### Exempel:

Utloppshastigheten (beräknad på erforderligt luftflöde och erforderlig lufthastighet i tunneln):

$$V_i = 3,0 \text{ m/s}$$



Figur 10.3 Nomogram för spridningsberäkningar [1]

Utsläppskoncentrationen från tunneln:

$$C_i = 200 \text{ ppm}$$

Gränsvärde för uteluft (1-timmesvärde):

$$C = 21 \text{ ppm}$$

Typisk vindhastighet utanför tunneln:

$$U = 1,0 \text{ m/s}$$

Man önskar beräkna på vilket avstånd från tunnelmynningen man befarar att överskrida gränsvärdet (21 ppm).

Förhållandet:

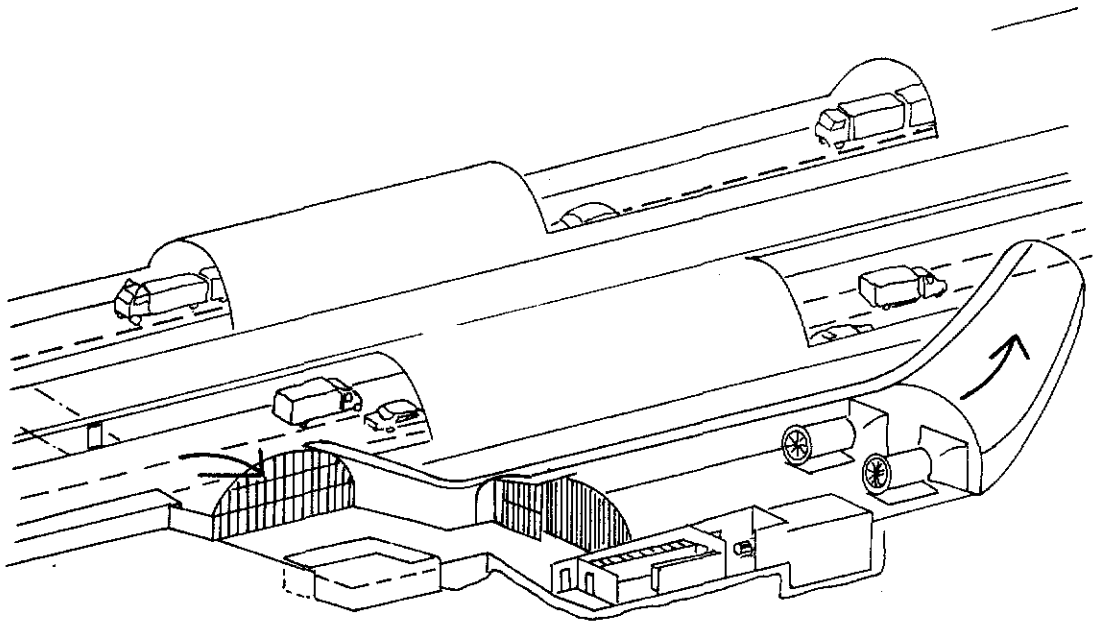
$$\frac{C}{C_t} = \frac{21}{200} = 0,1$$

Avståndet i meter erhålls ur figur 10.3.

#### Referenser

- [1] NILU-rapport OR 27/82





Figur 11.1 Stoftreningsutrustning för en vägtunnel

# Rapportförteckning

Kap.nr/år	Titel		
1/1964	Förhandlingar i Sigtuna 17. och 18. februari 1964 med förbundsutskott 40. Vinterväghållning.	3/1974	Vägars dimensionering och bärlighet i Norden. Utskott 30. Överbyggnad och underbyggnad.
2/1966	Förhandlingar i Göteborg 11. och 12. juni 1965 med utskottet för bituminösa bindemedel och beläggningar inom NVF.	1/1975	Massdisponering. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.
3/1969	Förhandlingar i Stockholm 6. och 7. juni 1968 med utskottet för bituminösa bindemedel och beläggningar inom NVF.	2/1975	Hjälptelefoner. Utskott 22. Sidoanläggningar.
4/1969	Ritningsredovisning. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.	3/1975	Vägbelysning. Utskott 22. Sidoanläggningar.
1/1970	Utvalg 31. Bituminöse bindemedel och bituminöse vegbelegninger. Forhandlinger ved utvalgsmøte i Oslo 7. og 8. juni 1969. Om fuktisolering av betongbruer.	4/1975	Miljøvern. Ad hoc komité for miljøvern.
2/1970	Vejknudepunkter. Utvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	1/1976	Kortlægning af upphandlingsprocessen ved statslige vejentrepriser. Udvalg 13. Administration og arbejdsorganisation.
1/1971	Rapport från förbundsutskott 40. Väghållning, över sammanträde i Uppsala 14. och 15. maj 1971.	2/1976	Fællesrapport om endeunderstøtninger i vejdemninger med dansk, finsk, norsk og svensk appendix. Udvalg 60. Broer og færges.
2/1971	Vejdatabank, almen beskrivelse. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.	3/1976	Kartlegging av utdannelsestilbudet til vegarbeidere i de nordiske land. Utvalg 13. Administrasjon og arbeidsorganisasjon.
1/1973	Analys av vägplanläggningsprocessen. Utskott 20. Vägplanläggning.	4/1976	Nordisk vägfotogrammetri. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.
2/1973	Vägbyggnadsprocessen i Norden - Administration och organisation. Förbundsutskott 13.	5/1976	Färdtekniska grundvärden - Kjøretekniske grunnverdier. Utvalg 21. Vegers geometriske utforming.
3/1973	EDB-terminaler i vejsektoren. Udvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	6/1976	Vegrekkeverk (Vejautoværn, Tiekilde, Vægrække). Anbefaling for enhetlig utforming i Norden. Utvalg 21. Vegers geometriske utforming.
4/1973	Förhandlingar i Kalmar 30. och 31. maj 1972 med utskottet för bituminösa bindemedel och beläggningar inom Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 31.	7/1976	Forslag til nye asfalspessifikasjoner for Norden. Utvalg 31. Bituminöse bindemedel og bituminöse vegbelegninger.
5/1973	Vejdatabank, organisation. Udvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	2/1977	Vägnätets kvalitetsnivå. Utskott 20. Vägplanläggning.
6/1973	Vejdatabank, anvendelse. Udvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	3/1977	Metodfrågor i vägnätsplanering. Utskott 20. Vägplanläggning.
7/1973	Vejdatabank, sjourføring. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.	4/1977	Trafikleder och övrig markanvändning. Utskott 20. Vägplanläggning.
8/1973	Vejdatabank, EDB system. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.	5/1977	Projekt inom vägunderhållet 1976. Utskott 40. Underhåll.
9/1973	Utsättningsteknik. Delrapport 1(3), översikt av instrumentutveckling. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.	6/1977	Teknik vid presentation av vägplanen. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling.
1/1974	Bildtolkning för vägprojektering. Utskott 23. Fotogrammetri och databehandling. Bildtolkningsgruppen.	7/1977	Vägbelysning. Typexempel. Utskott 22. Sidoanläggningar.
2/1974	Afsætnings teknik. Delrapport 2(3), nøjaktighedsanalyse ved forskellige afsætningsmetoder. Udvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	8/1977	Förhandlingar i Tylösand. Produktionskontroll vid tillverkning av asfaltmassor. Utskott 31. Bituminösa beläggningar.
		9/1977	Bærelagsgrus. Udvalg 30. Overbygning og underbygning.
		10/1977	Bärlighetsmätning. Utskott 30. Överbyggnad och underbyggnad.

11/1977	Fiberduk i vegbygging. Utvalg 30. Overbygning og underbygning.	13/1980	Forsterkning av veg. Utvalg 31. Vegens oppbygning.
12/1977	Vägens avvatning. Utskott 30. Överbyggnad och underbyggnad.	14/1980	Dränering utan öppna diken. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.
13/1977	Afsætningsteknik. Delrapport 3 (3). Udvalg 23. Fotogrammetri og databehandling.	15/1980	Vintervägbyggende. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.
14/1977	Ikke-kommersiell service til trafikantene. Utskott 22. Sidoanlægninger.	16/1980	Sand og moræne i vejbygning. Sekundære friktionsmaterialer (SFM) til overbygning. Udvalg 31. Vejens opbygning.
1/1978	Liikenteen valo-ohjauksen suunnittelu.- Anvisningar för planläggning av trafiksignalreglering (på finska). Finska avd. utskott 51. Trafikanalys.	17/1980	Fiberduk i vägbyggandet. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.
2/1978	Standardisering av vegkryss. Utvalg 21. Vegers geometriske utformning.	18/1980	Observasjonsstrekninger på vegnettet i Norden. Utvalg 31. Vegens oppbygning.
3/1978	Resurser for framtida vägbyggande i Norden. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.	19/1980	Trafikmåningsteknik. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.
4/1978	Lastbiltrafikens kostnader i Finland och Danmark samt dess kostnadsfaktorens prisindex i de nordiske länderna. Finska svd. utskott 11. Väg-trafikkonomi.	20/1980	En modell for væghållarnas trafiksikkerhedsarbejde. Slutrapport från utskottets arbetsgrupp 1. Utskott 52. Trafiksikkerhet.
1/1979	Standardprosjektet. Utskott 41. Drift av vägar och gator.	21/1980	Målsætning i trafiksikkerhedsarbejdet. Udvalg 52. Trafiksikkerhed.
2/1979	Utformning og plassering av støyskjermer. Utvalg 22. Projektering av veger og gater.	22/1980	Databehandling i vegsektoren på 80 - tallet. Utvalg 62. Databehandling og oppmålingsteknikk.
3/1979	Utformning av vägar och gator med hänsyn till bussstypfordon. Utskott 22. Projektering av vägar och gator.	23/1980	Projektkatalogen 1980. Utvalg 41. Drift av veger og gater.
1/1980	Brovedligeholdelse. Udvalg 61. Broer og færger.	24/1980	Automatisk mätdataregistrering inom geodesi och fotogrammetri. Utskott 62. Databehandling och mätningsteknik.
2/1980	Samspil mellem broer og veje. Udvalg 61. Broer og færger.	25/1980	Presentationsteknik, fotomontage. Metoder och användning. Utskott 62. Databehandling och mätningsteknik.
3/1980	Ferjedrift. Utvalg 61. Bruer og ferjer.	26/1980	Sikkerhetshytter på maskiner - utformning, bestemmelser. Utvalg 63. Vegmaskiner.
4/1980	Lastbestemmelser for vegbruer. Utvalg 61. Bruer og ferjer.	27/1980	Miljø - gällande krav for ljud producerat av maskin. Utskott 63. Vægmaskiner.
5/1980	Vejdatabanker. Eksempler på anvendelser. Udvalg 62. Databehandling og måleteknik.	28/1980	Maskinføreropplæring - kartlegging av dagens situasjon. Utvalg 63. Vegmaskiner.
6/1980	Kommersiell service til trafikantene. Ad hoc udvalg for kommersiell service.	29/1980	Motorredskap, bestemmelser under transport på väg och arbete, märkning, besiktning och registrering - kartläggning av gällande bestämmelser. Utskott 63. Vægmaskiner.
7/1980	Ny udformning af lokalgader. En nordisk oversigt. Udvalg 64. Miljø.	30/1980	Overflatevann fra veg. Forurensning og beskyttelseiltak. Utvalg 64. Miljø.
8/1980	Ny udformning af lokalgader. Udvalgte eksempler. Udvalg 64. Miljø.	31/1980	Vejsektorens energiforbrug. Ad hoc udvalg. Energibesparelse i vejsektoren.
9/1980	Visuelle forhold. Konflikter mellem trafik og miljø. Udvalg 64. Miljø.	32/1980	Trafikplanering i nordiske tätorter. Utskott 21. Planläggning av vägar och gator.
10/1980	Möjligheterna att förbättra lastbiltransporternas ekonomi i Finland. Utskott 11. Vägtrafikkonomi.	33/1980	Metoder for beregning av luftforurensning ved trafikårer. Utvalg 64. Miljø.
11/1980	Trafiksanering - aktuelle tiltak. Utvalg 52. Trafiksikkerhet.	34/1980	Konsekvensanalyser. Utvalg 11. Vegtrafikkonomi.
12/1980	Vej- og trafikteknik - hvordan kommunikere ? Ad hoc udvalg nomenklatur.		

35/1980	Vegtrafikkstøyt. Utvalg 11. Vegtrafikkøkonomi.	8/1983	Kantförstärkning och breddning av vägar. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.
36/1980	Klassificering af entreprenører. Udvalg 13. Administration og arbejdsorganisation.	9/1983	Lastbilar och släpvagnar i Norden. Utskott 11. Vägtrafikkøkonomi.
37/1980	Forbundsudvalgsrådet på Rømsø 1.-2. juni 1978. Udvalg 33. Asfaltbelæggninger.	11/1983	Laboratoriemetoder för bedömning av bituminösa belägningars vattenkänslighet - inflytandet av olika försöksparametrar. Utskott 33. Asfaltbeläggningar.
38/1980	Skader på nyere betonvejsbelæggninger i Danmark. Udvalg 32. Cementbundne materialer og specialprodukter.	1/1984	Maskin och maskinärstruktur inom anläggningsbranschen till år 2000. Utskott 63. Vägmaskiner.
1/1981	Miljøfaktorer knyttet til produktion, utlegging og bruk av asfaltmaterialer i veger. Utvalg 33. Asfaltbelæggninger.	2/1984	Förslag till Svensk Betongbeläggningsnorm. Utskott 32. Cement- og specialprodukter.
2/1981	Forbundsudvalgsmødet i Reykjavik 12. juni 1979. Belægningsstatistik. FOU - virksomhed. Billige belæggninger. Filler i belægningsmasser. Udvalg 13. Asfaltbelæggninger.	3/1984	Betongbeläggningsarna på motorvägarna i Skåne. Utskott 32. Cement- og specialprodukter.
3/1981	Tillgänglighets- och trafikstandardanalyser. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.	4/1984	Vegen som barriere for fotgjengere. Metodebeskrivelser. Utvalg 64. Miljø.
4/1981	Trafikledernes väg - respektive gatuhållningsgrænser. Utskott 13. Administration og arbejdsorganisation.	5/1984	Krav til grunnmaskin for vedlikehold av veger og gater samt gang- og sykkelveger. Utvalg 63. Vegmaskiner.
5/1981	Fartdempende tiltak. Utvalg 22. Prosjektering af veje og gader.	6/1984	Arbetsmiljøspørsmål ved knuseverk - kartlegging av gjeldende bestemmelser. Utvalg 63. Vegmaskiner.
1/1982	Arbejdsmiljø og vejarbejde. Udvalg 41. Drift af veje og gader.	7/1984	Former och system för redovisning av praktiska maskinkapaciteter. Utskott 63. Vägmaskiner.
2/1982	Belægningars funktionstid och funktionsegenskaper. Utskott 33. Asfaltbelæggninger.	8/1984	Buller från anläggningsmaskiner. Utskott 63. Vägmaskiner.
3/1982	System för vägtrafikkräkningar i Norden. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering. Utskott 62. Databehandling och måtningsteknik.	9/1984	Isrivning och grushyvlning. Utskott 63. Vägmaskiner.
4/1982	Trafikmåtningsapparatur i Norden. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.	10/1984	Maskinbestämmelser. Kartläggning och konsekvenser. Utskott 63. Vägmaskiner.
5/1982	Opprusting av veger. Utvalg 22. Prosjektering av veger og gater.	11/1984	Trafikkpolitikk - status og konsekvenser. Udvalg 11. Vejtrafikkøkonomi.
6/1982	Planering och uppföljning av vägunderhåll. Utskott 41. Drift av vägar och gator.	12/1984	Bedre gader - en eksempelsamling fra nordiske byer. Udvalg 64. Miljø.
7/1982	Fart- og hastighedsbegreper. Udvalg 22. Prosjektering af veje og gader.	13/1984	Vegvedlikehold i fremtiden - seminar om vegvedlikehold på Island, juni 1982. Utvalg 41. Drift av veger og gater.
1/1983	Produktivitetutvecklingen inom vägsektorn. Utskott 13. Administration og arbejdsorganisation.	14/1984	Inventering av ADB- program inom brosektorn. Utskott 61. Broer och färjor.
2/1983	Recycling - återanvändning av gammel asfalt. Utskott 33. Asfaltbelæggninger.	15/1984	Nordiske erfaringer med fugekonstruktioner til broer. Udvalg 61. Broer og færger.
3/1983	Kemisk halkbekämpfung. Utskott 41. Drift av vägar och gator.	16/1984	Nordiske erfaringer med lejekonstruktioner til broer. Udvalg 61. Broer og færger.
4/1983	Vejdatabank. Markedsføring og brugerindflydelse. Udvalg 62. Databehandling og måleteknikk.	17/1984	Inspektion og reparation af forspændte betonbroer. Udvalg 61. Broer og færger.
5/1983	Gang- og cykelvejes opbygning. Udvalg 31. Vegens opbygning.	18/1984	Vejdatabanker i Norden. Eksempler på anvendelser. Udvalg 62. Databehandling og måleteknikk.
6/1983	Veg på svak grunn. Utvalg 31. Vegens oppbygning.	19/1984	Reparation af betonbelæggninger. Udvalg 32. Cementbundne materialer og specialprodukter.
7/1983	Packning av småskaliga ytor. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.		

20/1984	Dimensionering af betonveje og cementbundne bærelag i Norden. Udvalg 32. Cementbundne materialer og specialprodukter.	2/1986	Vintervæghållning i Norden. Standard, effekter och kostnader. Utskott 41. Drift och underhåll av vägar och gator.
21/1984	Vibrationer från vägtrafik. Orsaker, åtgärder och regler. Utskott 64. Miljö.	3/1986	Datoranvändningen inom vägsektorn. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.
22/1984	Projektkatalog 1984. Utvalg 41. Drift av vejer och gater.	4/1986	Trafiksignaler samt variable vägmärken och skyltar. Seminarium 29.-30.8.1985 i Esbo. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.
23/1984	Vägvisning. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.	5/1986	Stabilisering av bärlag med cement och restprodukter. Sammanställning av provvägsresultat. Utskott 32. Cement- och specialprodukter.
24/1984	Vedlikehold av gang- og sykkelveger. Utvalg 41. Drift av vejer og gater.	6/1986	Sjukvårdsdata för väghållarens trafiksäkerhetsarbete. Registreringsrutiner, erfarenheter och användning. Utskott 52. Trafiksäkerhet.
25/1984	Forbundsudvalgsmødet i Helsingør 26.-27. maj 1983. Udvalg 33. Asfaltbelægninger.	7/1986	Hållbarhet hos asfaltbetong. Sammansättnings och packningens betydelse. Utskott 33. Asfaltbeläggningar.
26/1984	Automatisert innsamling og bearbeiding av feldata ved oppmåling og vegkartlegging. Utvalg 62. Databehandling og oppmålingsteknikk.	8/1986	Packning av obudna jordmaterial. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.
27/1984	Rundkjøringar. Utvalg 22. Prosjektering av vejer og gater.	9/1986	Resvaneundersøkingar. Seminarium 4.-5. september 1986 i Skokloster. Utskott 51. Trafikanalys och trafikreglering.
28/1984	Effektive trafiksäkerhetsarbete. Utskott 52. Trafiksäkerhet.	10/1986	Bruk av porøst steinmateriale til asfaltdekker. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.
29/1984	Avgifter og subsidier innen vegtransporten i Norden. Utvalg 11. Vegtrafikkøkonomi.	1/1987	Studet af Pavement Management-systemer i Danmark, Finland, Norge og Sverige. Udvalg 41. Drift og vedlikeholdelse af veje og gader.
30/1984	Väg- og gatuinvesteringer i tätort. Utskott 11. Vägtrafikkøkonomi.	2/1987	Modificering af bindemidler. Udvalg 33. Asfaltbelægninger.
31/1984	Effektstudier av trafikreguleringer. Utvalg 51. Trafikkanalyse og trafikregulering.	3/1987	Hur miljövänlig är den framtida bilen? Utskott 64. Miljö.
32/1984	Miljöhänsyn i parkeringspolitiken. Utskott 64. Miljö.	4/1987	Effektvariabler vid trafiksäkerhetsarbetet. Utskott 52. Trafiksäkerhet.
1/1985	Vägen framåt: adb. Utskott 62. Databehandling och mätningsteknik.	5/1987	Underhåll på entreprenad. Utskott 41. Drift av vägar och gator.
2/1985	Fornylse af belægninger. Udvalg 41. Drift af veje og gader.	6/1987	Vägars trafikförhållande, betydelsen för näringslivet. Utskott 11. Vägtrafikkøkonomi.
3/1985	Arealbehov for køretøjer. Udvalg 22. Projektering af veje og gader.	1/1988	Datorn som hjälpmedel för effektiv maskinhållning inom väg- och anläggningsektorn. Utskott 63. Vägmaskiner.
4/1985	Vedheftningsmetoder. Forslag til nye metodebeskrivelser. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.	2/1988	Temperaturens inverkan på arbetsmaskinens disponibilitet. Utskott 63. Vägmaskiner.
5/1985	Materialgenskaber og funksjonskrav for varmblendede dekker og bærelag. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.	3/1988	Drivstofføkonomi. Utvalg 63. Vegmaskiner.
6/1985	Fartgrænser - i trafiksikkerhetens tjeneste? Udvalg 52. Trafiksikkerhet.	4/1988	Mennesket i vegmaskinen. Utvalg 63. Vegmaskiner.
7/1985	Underhåll av betongbeläggningarna i Skåne. Utskott 32. Cement- och specialprodukter.	5/1988	Vedlikehold og utvikling av snøploger. Utvalg 63. Vegmaskiner.
8/1985	Effektivering av bygnads- og underhållsarbeiten genom befrämjande av samarbeidet mellom byggherren och entreprenørrna. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.	6/1988	Maskiner til genbrug. Udvalg 63. Vejmaskiner.
1/1986	Trafiklastbegrænsningar under tjällossningen. Utskott 31. Vägens uppbyggnad.	7/1988	Hållbarhet hos asfaltbetong - stenmaterialets betydelse. Utskott 33. Asfaltbeläggningar.

8/1988	Vejmeldinger til vejholder. Udvalg 41. Drift og vedligeholdelse af veje og gader.	4/1990	De nordiske vejdatbanker - i dag og i morgen. Udvalg 62. Datateknologi og måleteknik.
9/1988	ADB-struktur för framtiden. Utskott 62. Databehandling och mätningsteknik.	5/1990	Kvalitetssäkring. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.
10/1988	Fremtidens informationssystem om veje og gader. Udvalg 62. Databehandling og måleteknik.	1/1991	Det større byers situation og midler til at forbedre den. Ad hoc udvalg. Transport i større byer.
11/1988	Den interaktiva grafiska arbetsplatsen. Utskott 62. Databehandling och mätningsteknik.	2/1991	Polymer-modificeret asfalt. Udvalg 33. Asfaltbelægninger.
12/1988	Hvad kan vi måle i år 2000. Vil vi ? Utvalg 62. Databehandling og oppmålingsteknik.	3/1991	Alternative finansieringsformer og brugeravgifter i vejsktoren - Nordiske erfaringer og perspektiver. Udvalg 23. Vejtrafikøkonomi.
13/1988	ADB-stöd i projekteringen. Utskott 22. Projektering av vägar och gator.	4/1991	Avgiftsinnkrevning på veg. Utvalg 53. Informationsteknologi og trafikregulering.
14/1988	Projektkatalog 1988. Utvalg 41. Drift og vedlikehold av veger og gater.	5/1991	Nye slite- og bærelagstyper. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.
15/1988	Trafikantinformation. Seminar på Rungstedgård 3.-4. september 1987. Udvalg 51. Trafikkanalyse og trafikregulering.	1/1992	Teknisk utvikling innenfor vegarbeidsdrift. Utvalg 63. Vegmaskiner.
16/1988	Rammebetingelser som hemmer rasjonell styring av vegvesenet. Utvalg 13. Administrasjon og arbeidsorganisasjon.	2/1992	Lastföreskrifter, broförvaltning och armeringskorrosion. Rapport från seminarium i Ny-näshamn. Utskott 61. Broar och tunnelkonstruktioner.
17/1988	Skillnader i beskrivningsystem för vägentreprenader i Norden. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.	3/1992	Informationsteknologi i nordisk trafik. Utskott 53. Informationsteknologi och trafikreglering.
18/1988	Fremtidens vejtrafik - informationssystem for trafikken. Utvalg 51. Trafikkanalyse og trafikregulering.	4/1992	Mennesket i vegmaskinen II. Utvalg 63. Vegmaskiner.
19/1988	Rapport over personaleudvækslingsseminar i København. Udvalg 13. Administration og arbejdsorganisation.	5/1992	Miljøeffekter av drift och underhåll av vägar och gator. Utskott 41. Drift och underhåll av vägar och gator.
20/1988	Designstyrt trafikk. Utvalg 22. Projektering av veger og gater.	6/1992	Piggdekk og vintervedlikeholdstrategi i Norden. Utvalg 41. Drift og vedlikehold av veger og gater.
21/1988	Tilstandsstyrt vedlikehold. Utvalg 41. Drift av veger og gater.	7/1992	Utmatningskriterier for asfaltbelægninger. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.
1/1989	Trafiksikkerheten nu och i framtiden. Utskott 52. Trafiksikkerhet.	8/1992	Utbildning av maskinförare i Finland. Utskott 63. Vägmaskiner.
2/1989	Accelerad provning i Norden. Ad hoc utskott.	9/1992	Nya vägtyper. Utskott 22. Projektering av vägar och gator.
3/1989	Udførelsens betydning for holdbarhet og jævnhed af asfaltbelægninger under klimaets og trafikkenes påvirkninger. Udvalg 33. Asfaltbelægninger.	10/1992	Trafikkavvikling i nordiske tunneler. Utvalg 22. Projektering av veger og gater.
4/1989	Modifiserede bindemidler til vegformål. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.	11/1992	Kvalitetssäkring i vägprojektering. Utskott 22. Projektering av vägar och gator.
5/1989	70-talets betongvägar. Tillstånd och underhållskostnader. Utskott 34. Vägens konstruktion.	12/1992	Ett miljöanpassat transportsystem - tre framtidsbilder. Utskott 24. Miljö.
6/1989	Broseminarium 22.-24.5.1989. Dokumentationsrapport. Utskott 61. Broar och tunnelkonstruktioner.	13/1992	Resmönstret och dess utveckling. Ad hoc utskott. Transport i större städer.
1/1990	Tunge køretøjer's nedbrydning af vejbefæstelser - et pilot projekt. Udvalg 34. Veger konstruktion.	14/1992	Ombygning af det eksisterende trafiknet - muligheder og følgevirkninger. Ad hoc udvalg. Transport i større byer.
2/1990	Drift och underhåll i konkurrens. Utskott 13. Administration och arbetsorganisation.	15/1992	Veg, buss eller bane? - virkninger av transportinvesteringer. Ad hoc udvalg. Transport i større byer.
3/1990	Proportionering af asfaltmasser. Utvalg 33. Asfaltbelægninger.		

- 16/1992 Avgiftsordningar i byer. Ad hoc utvalg. Transport i større byer.
- 17/1992 Storstadstrafik och miljö. Ad hoc utskott. Transport i större städer.
- 18/1992 Hur påverkas bygg- och anläggsmaskinerna av EG. Utskott 63. Vägmaskiner.
- 19/1992 Trafiksäkerhetsåtgärder i väg- och gatumiljö. Utskott 52. Trafiksäkerhet.
- 20/1992 ADB-strategi. Statusrapport. Utskott 62. Datateknologi och mätteknik.
- 21/1992 Utbildningssituationen i Norden. Ad hoc utskott. Utbildning inom väg- och trafiksektorn.
- 22/1992 Stadsport - att forma en stadsentré. Utskott 24. Miljö.
- 23/1992 Kvalitet. Utskott 41. Drift och underhåll av vägar och gator.
- 24/1992 Miljøkapasitet. Utvalg 24. Miljø.
- 25/1992 Asfaltdekker for lavtrafikkerte vejer. Utvalg 33. Asfaltbelegninger.
- 1/1993 Menneskets kapasitet som trafikant. Utvalg 52. Trafikksikkerhet.
- 2/1993 Broförvaltning, broestetik. Beständig brobetong och teknisk livslängdsmodulering. Utskott 61. Broar och tunnelkonstruktioner.
- 2b/1993 Kjøretøyers utforming og egenskaper. Utvalg 65 - Trafikksikkerhet.
- 3/1993 Nordisk strategi för trafiksäkerhetsarbete i tätort. Utskott 52. Trafiksäkerhet.
- 4/1993 Tunge køretøyer's nedbrydning af vejbefestelser - Supersingeldæk Udvalg 34 - Vejes konstruktion.
- 5/1993 Vejafvanding. Udvalg 34 - Vejes konstruktion.
- 6/1993 Ventilation av vägtunnlar. Utskott 61 - Broar och tunnelkonstruktioner.