

تونلهای عبور و مرور خودرو

اصول طراحی

تنها تونلهای عبور و مرور خودروها که تا کنون در فنلاند ساخته شده است، تونلهای ترافیکی خیابانها یا تونلهای متصل کننده پارکینگها و یا دیگر تأسیسات زیرزمینی در مناطق شهری بوده است. با چند استثناء اندک، مشکلات ترافیکی و زیست محیطی ساخت تونلهای عبور و مرور هنوز برطرف نشده است. بهرحال در آینده ملاحظات جهت احداث تونلها برای عبور از موانع طبیعی و یا غیر طبیعی (ساخته شده بدست انسان) در جادهها و خیابانها باید صورت گیرد. همچنین برای جلوگیری از تخریب محیط زیست با احداث راهها باید راهکاری ارائه شود. تصمیمات برای احداث این تونلها میبایست براساس یک تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای هزینه‌های دراز مدت (مانند ساختمان تونل، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری) حالت‌های مختلف و فاکتورهای زیست محیطی باشد.

انواع تونلها

تونلهای ترافیکی خودرو ممکن است کاملاً در سنگ احداث شوند و یا در زمین با استفاده از بتن بنا گردند. تونلهای بتنی در سطح زمین معمولاً به روش کند و پوش (Cut and cover) ساخته می‌شوند. ابعاد تونل توسط ابعاد جاده یا خیابان تعیین می‌شود. از نقطه نظر تهویه و روشنایی مسئله یک طرفه و یا دو طرفه بودن تونل حائز اهمیت است.

تونلهای ترافیکی همچنین می‌توانند به تونلهای کوتاه یا بلند تقسیم شوند. تونلهای کوتاه احتیاجی به تهویه مکانیکی و روشنایی ندارند و از نظر بهره‌برداری و نگهداری مانند قسمتهای دیگر راه یا خیابان قابل قیاس هستند. برای تونلهای بلند، اندازه و هزینه مستقیم تهویه با افزایش طول تونل زیاد می‌شود. همینطور مسئله کنترل ایمنی و تجهیزات آن که رابطه مستقیم با طول تونل دارد و تاثیر بسزائی در هزینه‌های اجرایی آن دارد.

مدخل‌های تونل

مدخل‌های تونل می‌بایست در رخنمون‌های سنگی با شیب زیاد ایجاد شوند تا از حفر ترانشه طولانی پرهیز شود. این محل باید امکان عبور آبهای سطحی را بدور از مدخل تونل داشته باشد و در صورت امکان باید طوری انتخاب شود که آفتاب بطور مستقیم در مقابل ترافیک ورودی یا خروجی نباشد.



شکل ۱ - نمونه ای از مدخل تونل ها مربوط به راههای کشور سوئیس

تقاطع ها و اتصالات خیابانی را نمی بایست در تونلها و یا نزدیکی مدخل آنها و یا محوطه های نزدیک به تونل قرار داد. بطور کلی ورود و یا خروج

به جاده منتهی به تونل و یا تعویض باند و یا خواندن علائم مربوط به راه باید در فاصله نسبتاً زیاد از مدخل تونل باشد تا رانندگان به ترافیک قبل از ورود به تونل عادت کنند. در مناطق شهری محل مدخل تونل توسط فاکتورهای محیطی نیز تحت تاثیر قرار می گیرد که از جمله می توان به هوای مورد استفاده برای تهویه، صدا و زیبایی عمومی شهر اشاره نمود.

امتداد و شیب تونل

اصول ساخت تونلها و استانداردهای مربوط به امتداد تونلها همانهایی است که در راهسازی مورد استفاده قرار می گیرد. این اصول در دستورالعمل های طراحی که توسط دایره ملی راهها و گذرگاههای آبی فنلاند و یا مقامات محلی نوشته شده است قابل دسترسی است.

بنا به دلایل ایمنی، قبل از اینکه کاهشی در استاندارد تونل داده شود می بایست مشخصات فنی آن قطعه از راه بدقت مورد مطالعه قرار گیرد. شیب مناسب برای تونل شیبی است که به آرامی به یک یا هر دو مدخل تونل اعمال شده باشد. این مسئله به زهکشی آنها در داخل تونل کمک می کند و از ورود آبهای سطحی مدخل تونل جلوگیری می نماید. شیب پیشنهادی طولی در تونلها، ۱ درصد و حداقل آن ۰.۲۵٪ درصد می باشد. شیبهای بالای ۳ درصد باعث کندی ترافیک و راهبندان می شود و باندهای اضافی را می طلبد. تهویه لازم برای تونل را نیز افزایش می دهد. توقف های اضطراری نیز در داخل تونل باید مورد توجه قرار گیرد و هنگام طراحی شیب و امتداد آن، دقت لازم بعمل آید.

هنگامی که پرتال تونل از خود تونل بلندتر است، ایستگاه پمپاژی جهت تخلیه آب بطور دائم لازم است که هزینه‌ها را افزایش می‌دهد و باعث پیچیدگی بیشتر امر تهویه می‌گردد.

مقطع تونل

در کشور فنلاند تونل‌های حفاری شده در سنگ سخت عموماً مقطع قوسی شکل دارند، در حالیکه تونل‌های بتنی نزدیک سطح زمین، معمولاً دارای مقطع مستطیل شکل هستند. در هر حال فضای کافی برای پوشش تونل، زهکشی و نصب تجهیزات باید فراهم باشد.

در حالت عادی یک تونل ترافیکی دارای ۲ یا ۳ باند است. تونل‌های یک بانده برای انبارها و یا پارکینگ‌ها احداث می‌شوند. اگر بیش از ۳ باند مورد نیاز باشد باید احداث تونل مجزائی مورد ملاحظه قرار گیرد. تونل‌های دوقلو راهکار مناسب جاده‌ها و خیابانهای چند بانده است که معمولاً دو طرفه می‌باشند. باندهای تونل و نیز شانه‌ها باید دارای همان عرض معمول در جاده‌ها را داشته باشند. در شرایط غیر قابل اجتناب شانه‌ها می‌توانند کم عرض‌تر باشند ولی باید حداقل عرض ۰,۲۵ متر را داشته باشند. البته این حد پیشنهاد نمی‌شود چون جریان ترافیک و ایمنی به خطر می‌افتد. مسیر روسازی شده‌ای در کنار تونل برای سرویس و عبور اضطراری پیاده‌ها باید در نظر گرفته شود. همچنین یک جدول برای جلوگیری از آسیب‌رسانی به پوشش تونل باید طراحی شود.

عرض کلی پیشنهادی برای یک تونل دو بانده ۱۲,۵ - ۱۲ متر است. البته بستگی به کلاس جاده دارد. حداقل عرض در مقطعی که کاهش پیدا کرده‌اند ۹,۵ متر می‌باشد. ارتفاع آزاد در تونلها معادل ۵ متر پیشنهاد شده است و مقدار حداقل مطلق آن ۲,۶ متر است. ۱ متر فضا برای نصب تجهیزات لازم است که بطور اتوماتیک در سقف تونل (تاج) در زمان حفاری ایجاد می‌شود. تجهیزاتی که به سقف آویزان هستند شامل وسائل روشنایی، فن‌ها و وسائل کنترل ترافیک می‌باشند.

اثرات زیست محیطی تونلها

تونلها امتیازات چندی نسبت به جاده‌ها دارند که عبارتند از:

- چهره زمین یا شهر را بهم نمی‌زنند
- تاثیری بر روی استفاده از سطح زمین و محیط اجتماعی ندارند
- اختلالات صوتی کمتری دارند
- مواد و مصالح ساختمانی برای احداث آنها بدون ایجاد اختلال در زمین بدست می‌آید.

بالعکس تونلها مشکلات محیطی را بوجود می‌آورند که باید مورد به مورد ملاحظه و راهکاری برای آنها ارائه شود. از جمله آنها عبارتند از:

- تونلها ممکن است باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی شوند.
- آلودگی هوا معمولاً در تونل و مدخل‌های آن و اطراف وسائل تهویه زیادتر است.
- فن‌ها و تجهیزات تهویه ممکن است باعث ایجاد آلودگیهای صوتی در مدخل‌ها شوند.
- قرار گرفتن پرتال تونلها در مناطق شهری می‌تواند چهره شهر و ساختمانهای اطراف را تغییر دهد.

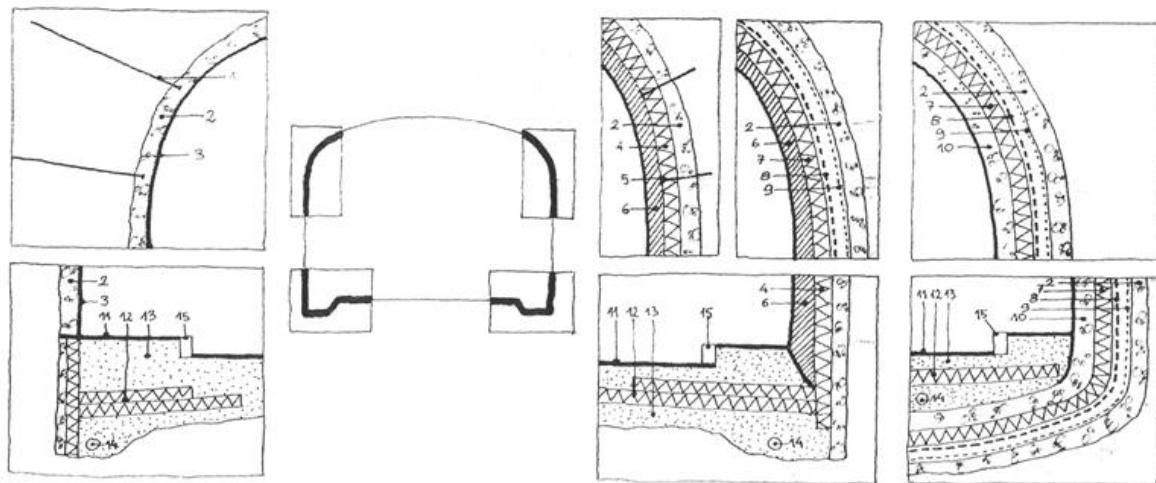
مشکلات زیست محیطی ایجاد تونل، با مشکلات ناشی از هر گونه فضای سنگی چندان تفاوتی ندارد. تنها تفاوت ممکن است مربوط به موقعیت و شدت مزاحمتها باشد. دقت در انتخاب مقطع تونل و پوشش با مواد صداگیر می‌تواند تا حدی آن را کاهش دهد.

استحکام، زهکشی و پوشش

استحکام (Reinforcement)

استحکام به معنی تقویت و ساپرت فضای سنگی جهت اطمینان از ایمنی تونل در خلال عملیات ساختمانی و بهره‌برداری از آن است. روشهای استحکام تونلهای ترافیکی در فنلاند عبارتند از: استفاده از پیچ‌سنگها (Rock bolts)، شاتکریت، قابهای بتنی و تزریق در سنگ (Rock grouting) می‌باشد. در شرایطی که سنگ مناسب است استفاده از راک بلت برای بلوک‌های جدا شده و شاتکریت برای تاج تونل کافی می‌باشد.

در تونلهای با مقطع بزرگ، نصب پیچ‌سنگ بصورت سیستماتیک و شاتکریت با شبکه فولادی یا فایبر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در زونهای شکسته و ضعیف پیچ‌سنگهای بیشتر و شاتکریت ضخیم‌تر با قابهای بتنی تسلیح شده نصب می‌گردد.



شکل ۲- مولفه های مختلف برای سازه و استحکام تونل شامل ۱. راک بلت ۲. شاتکریت ۳. آستر ۴. لایه عایق پلی اورتان ۵. متعلقات نصب عایق به سنگ ۶. محافظ آتش سوزی ۷. عایق از نوع فوم پلی اورتان ۸. لایه آب بندی ۹. فیلتر ۱۰. قاب فلزی ۱۱. سطح جاده ۱۲. عایق ۱۳. گراول ۱۴. کانال ۱۵. جدول

زهکشی

منظور از زهکشی هدایت آبهای جاری در تونل و یا آبهای داخل سنگ است. زهکشی همچنین از اثرات تخریبی آب یا یخ روی عملکرد تونل جلوگیری می نماید. در مرحله طراحی تونل باید احتمال پایین زفتن سطح آب زیرزمینی و اجتناب از آن برای جلوگیری از مشکلات زیست محیطی در نظر گرفته شود.

آب و هوای فنلاند شرایط خاصی را برای زهکشی تونل های ترافیکی می طلبد. نشت آبهای غیر کنترل شده باعث یخ زدگی سطح جاده می شود، همچنین اجرای سیستم نادرست هم منجر به یخ زدگی و وارد آوردن خسارت به ساختمان تونل و راه می گردد. از تزریق می توان برای جلوگیری از نشت آب از جداره و یا کف تونل استفاده کرد. با اجرای سیستم زهکشی در خارج از تونل می توان از ورود آب پرتال به داخل جلوگیری نمود و آب را به سمت بیرون هدایت کرد.

اگر علیرغم همه تمهیدات فوق باز نشست آب وجود داشت آب را باید با یک سیستم زهکش عایق دار یا گرما دهنده که در زیر جاده قرار می گیرد، جمع آوری نمود. این سیستم اگر در سقف و دیواره های تونل نصب گردد، نسبتاً پرهزینه خواهد بود و تنها در صورت وجود نشتی باید مورد استفاده قرار گیرد. گسترش نشتی آب به نوع سنگ و فشار اولیه آب زیرزمینی وابسته است و آب بندی نهائی تونل بعد از کامل شدن حفاریها امکان پذیر است.

هزینه‌های آب‌بندی تونل را می‌توان با حفر کانال و استفاده از یک کابل حرارتی کنترل‌شده در مناطقی که نشت آب داریم کاهش داد. آب‌بند کردن تونل در مقابل فشار آب در زونهای ضعیف و جریانهای آب زیرزمینی راه حل درست و منطقی است.

پوشش (Lining)

رنگ‌آمیزی تونل با رنگهای روشن، نیاز به روشنایی را کمتر می‌نماید و آن را ایمن‌تر و برای استفاده خوشایندتر می‌نماید. بهر حال سطوح با گازهای خروجی از ماشین‌ها و گردغبار بلند شده از جاده سیاه می‌شوند، لذا باید دیواره‌های تونل در فواصل زمانی مشخص شسته شوند. در کشورهای سوئیس و اتریش تونل بزرگراهها سالانه ۲ تا ۵ مرتبه شسته می‌شوند. شستشوی تونلها در صورت صاف بودن سطوح و نیز سطوحی که کاملاً درزگیری شده‌اند، راحت‌تر است. از طرف دیگر رنگ نیز می‌بایست دارای تخلخل باشد تا از ورقه شدن آن جلوگیری گردد. مواد عایق در مقابل گرما و اشتعال با لایه‌ای از شاتکریت باید به سطح تونل پاشیده شود. بر طبق آمار تصادفات در تونلها از جاده‌ها کمتر است و در صورتیکه از جدول با گاردریل در کناره‌های تونل استفاده شود برخورد با دیواره‌های تونل هم کمتر می‌شود.

بهر حال سطوح داخل تونل باید ارزان و باسانی قابل تعمیر و بازسازی باشد.

کیفیت و هزینه‌ها

شکل ۲ ارتباط بین کیفیت و هزینه را در حالت‌های مختلف یک تونل داخل سنگ نشان می‌دهد. هزینه‌ها در تونل‌های بتنی بیشتر تحت تاثیر ضرورت آب‌بندی، محل احداث سازه و شرایط پی آن تا خود تونل می‌باشد.

روشنائی (Lighting)

مقصود از روشنایی فراهم ساختن نور کافی جهت وسائل نقلیه در شب و روز است بطوریکه رانندگان بتوانند از آن با سرعت طراحی شده و اطمینان از ایمنی در رانندگی و آسایش در حد جاده عبور و مرور کنند.

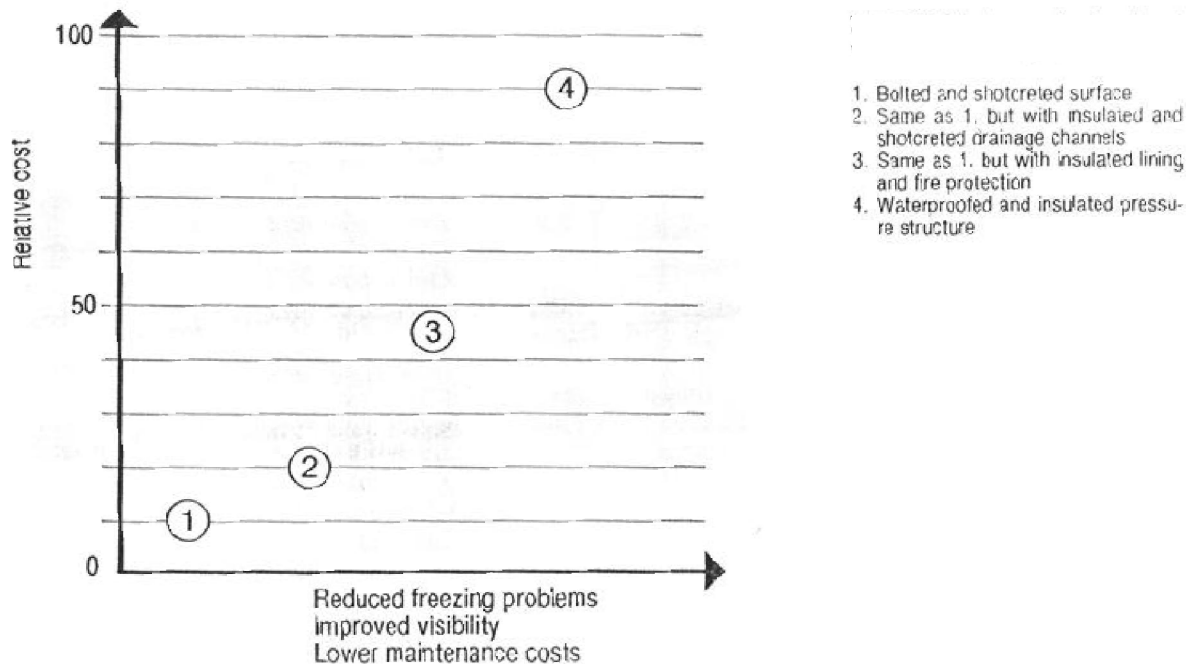
از منظر فن روشنائی به تونلهایی، بلند گفته می‌شود که پس از فاصله معینی از مدخل آن، محل خروج و فضای پشت سر دیده نشوند. چنین تونلی دارای طول ۱۰۰ متر و یا طولی معادل ۷ برابر عرض آن می‌باشد.

۳ حالت در روشنائی تونل وجود دارد که عبارتند از:

- روشنائی در شب براساس اصول مورد استفاده برای روشنائی خیابانها

- روشنایی روز که عبارت است از روشنایی حد بالای روز در نقطه انتقال
- روشنایی حالت اضطراری که جهت جلوگیری از تاریکی کامل در حالت خرابی سیستم اصلی بکار گرفته می شود.

تونلها براساس همان اصول خیابانها برای روشنایی طراحی می شوند ولی بدلیل ملاحظات اقتصادی ممکن نیست که میزان روشنایی نیز بهمان اندازه خیابانها باشد. کلاس روشنایی تونلها در شب همان کلاس روشنایی بزرگراههای روباز است که حداقل 1 Cd/m^2 می باشد.



شکل ۳- تاثیر کیفیت بر هزینه در تونل های ترافیکی خودرو

اندازه روشنایی

هنگامیکه راننده ای در روز به تونل نزدیک می شود روشنایی و تطبیق روشنایی با دایره بینایی اش کم می شود و این مسئله هنگامی اتفاق می افتد که مدخل تونل قسمت زیادی از دایره بینایی او را اشغال می کند. روشنایی میدان دید به سطوح مختلف موجود در این میدان بستگی دارد و نیز به طریقی که راننده آنها را مشاهده می کند. در عین حال دید توسط نورهای متعلق در هوا مغشوش می گردد.

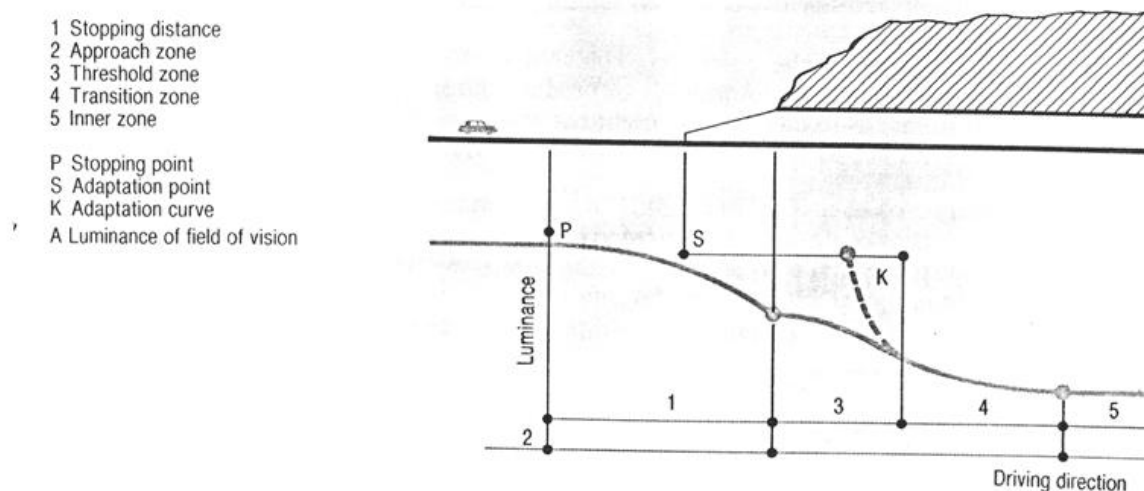
مقدار روشنایی در آستانه ورود به تونل، تحت تاثیر نور هم جهت با ترافیک، خاصیت انعکاسی سطوح اطراف، میزان آسمان یا ابر قابل رویت در میدان دید و نیز محل و جهت تونل می باشد.

در منطقه انتقال از بیرون به داخل تونل، روشنایی کاهش می یابد تا به چشم راننده اجازه دهد به روشنایی داخل تونل عادت کند. طول منطقه انتقال، به سرعت و میزان روشنایی داخل تونل بستگی دارد. (شکل ۷)

تجهیزات روشنایی

در تونل نیز از همان لامپهای روشنایی مورد استفاده در خیابانها، نصب می شوند. این لامپها باید محکم، کاملاً ضد آب، مقاوم در مقابل فرسایش و نیز قابل نصب بصورت ساده باشند. لامپهای تونلی بصورت یک ردیف و یا دو ردیف قابل نصب در سقف و یا روی دیوار هستند.

لامپهای فلورسنت با تقارن طولی و یا لامپهای ناتریم کم فشار در طول محور تونل در یک ردیف روی سقف یا روی دیوارها نصب می شوند. لامپهای ناتریم پرفشار، تنها در سقفها امکان نصب دارند. هنگامیکه از روشنایی نقطه ای (Spot Lighting) استفاده می شود، از روشنایی زیاد بصورت آنی باید اجتناب شود و درخشش و خیره کنندگی نور باید مورد دقت قرار گیرد. ایستگاههای فرعی برق و تابلوهای اتصال براساس همان اصول روشنایی خیابانها انتخاب می شوند.



شکل ۷- محدوده تونل و رابطه آن با شدت روشنایی

ترتیب فنی جاده و ساختمانها نیز در میزان و ظرفیت وسائل روشنایی تاثیر غیرمستقیم دارد. می بایست جهت ایجاد شرایط مناسب برای تطبیق چشم با نور، در مدخل ورودی تونلها اقدام نمود و در این راستا باید میزان نور

طبیعی در نزدیکی تونل کم شده و از انعکاس نور سطوح محیط مجاور دهانه تونل جلوگیری شود، روشهای مناسب برای انجام این کار عبارتند از:

- سطح سیاه و زبر جاده
- نقاط باز (ترانشه) به صورت غیر صاف و تیره
- ساپرت دیوارها با درختان، بوته‌ها و رنگ‌آمیزی
- شکل دادن مدخل تونل به قسمی که هنگام خروج، نور خورشید و یا آسمان روشن دیده نشود
- پرتال بلند برای تونل، در نزدیکی مدخل تونل می‌توان از یک سقف شبکه‌ای جهت کاهش نور روز استفاده نمود.

هزینه‌های روشنایی

هزینه‌های روشنایی و نگهداری تجهیزات آن بیش از آنکه به طول کلی تونل بستگی داشته باشد، به طول منطقه انتقال و مشخصات ساختمان و منبع نور بستگی دارد. به طور مثال برای تونلی به طول ۴۵۰ متر که برای ترافیک دو طرفه با سرعت ۵۰ km/h ساخته شده است، براساس اصول نور پس زمینه (back lighting) که مطابق دستورالعمل جاده از طرف دایره ملی راه‌ها و گذرگاه‌های آبی فنلاند است، ۱۸۷،۵۰۰ دلار امریکا هزینه در برداشته است و هزینه جاری و نگهداری سیستم آن بالغ بر ۳۰،۰۰۰ دلار در سال می‌گردد. از طرف دیگر هزینه روشنایی یک تونل ۹۰۰ متری دو بانده یک طرفه با حد سرعت ۸۰ km/h، ۶۲۵،۰۰۰ دلار امریکا می‌باشد و هزینه جاری و نگهداری سالیانه آن هم ۶۲.۵۰۰ دلار است. این هزینه‌ها در صورت استفاده از روشنایی متقارن به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد.

تهویه

دبی تهویه

دود خروجی ماشین شامل مواد خطرناکی همچون منو اکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، هیدروکربورها و رسوبات سرب و کربن مضر برای سلامتی انسان است.

در تونلهای ترافیکی تمرکز این مواد می‌تواند هوا را به مرحله خطرناکی برساند مگر اینکه تهویه درستی وجود داشته باشد. تونلها عموماً توسط رقیق کردن منواکسیدکربن و اکسید نیتروژن موجود در هوا تهویه می‌شوند.

در بعضی حالتها قابلیت دید نیز می‌تواند لزوم به تهویه را ایجاب نماید. در فنلاند موافقت‌نامه‌ای جهت تهویه تونل‌های ترافیکی وجود ندارد.

مقادیر ذکر شده در ذیل بر اساس مقادیر عیار و خروجی است که توسط PIARC (انجمن بین المللی دائمی کنگره‌های جاده‌ای) ارائه شده است.

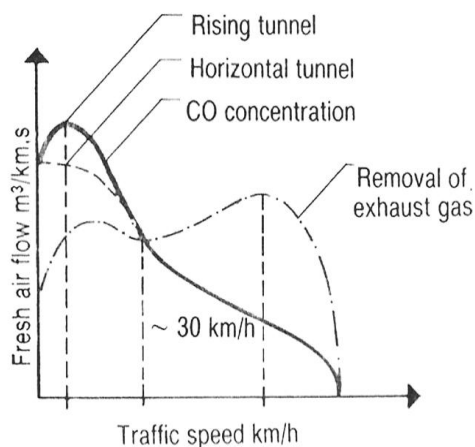
بدلیل قابلیت سمی بودن، منواکسیدکربن بیشترین خطر را برای سلامتی دارد و جدول شماره ۱ حداکثر مقادیر را ارائه می‌کند.

جدول شماره ۱- حد مجاز منواکسید کربن در تونل های راه شهری و روستایی

CO-LIMIT DURING PEAK TRAFFIC (ppm)		
TUNNEL TYPE	FLOWING TRAFFIC	CONGESTED OR HALTED TRAFFIC
Urban tunnel		
• congested daily	150	150
• seldom congested	150	250
Rural tunnel	150	250

بعد از منواکسید، اکسید نیتروژن خطرناک‌ترین ماده می باشد. مقدار ۲۵ ppm اکسید نیتروژن در طراحی تهویه در نظر گرفته می‌شود.

مواد جامد خروجی از اگزوزها باعث کاهش دید می‌شوند. رسوب کربن و نیز دود تولید شده از موتورهای دیزلی از این لحاظ قابل ملاحظه هستند. گردوغبار ناشی از تماس لاستیک‌های میخ‌دار با آسفالت در زمستان، عامل دیگری است که باید در طراحی تهویه در نظر گرفته شود.



شکل ۵- ارتباط بین سرعت ترافیک و میزان هوای تازه

مه، بخصوص در فصل بهار و تابستان ممکن است در تونل‌ها اتفاق بیفتد. این پدیده وقتی که دمای هوای وزیده شده در داخل تونل، به پایین نقطه شبنم می‌رسد، اتفاق می‌افتد. در این شرایط سیستم کنترلی که براساس اندازه گیری دید استوار است، می‌تواند تهویه را افزایش دهد در نتیجه مه هم ممکن است، افزایش یابد.

اگر دید، در داخل تونل از حد مجاز پایین‌تر بیاید سیستم کنترل، تونل را به روی ترافیک خواهد بست. جریان هوایی که جهت رقیق‌سازی منواکسیدکربن و اکسید نیتروژن لازم است طبیعتاً با جریان هواییکه برای حفظ دید لازم

است یکسان نمی‌باشد. تهویه اصولاً بر مبنای میزان بیشتر طراحی می‌شود و در اغلب موارد این مقدار برای رقیق‌سازی گاز منواکسیدکربن است. در مواردی که ترافیک شدید وجود دارد جریان هوای بیشتری برای رقیق‌سازی منواکسیدکربن به کار گرفته می‌شود.

هنگامیکه سرعت بیشتر می‌شود، میزان انتشار منواکسیدکربن کمتر ولی خروجی آگروز بیشتر می‌شود و این باعث کاهش دید می‌گردد. لذا در این حالت طراحی تهویه و میزان هوای تازه مورد نیاز بر اساس حفظ دید تعیین می‌شود. (شکل ۵)

میزان هوای تازه نامی

تهویه مناسب ضامن رانندگی ایمن در تونل است. جدول ۲ خلاصه‌ای از مقادیر لازم هوای تازه را که بر اساس حجم ترافیک و شیب تونل، تنظیم شده است را عرضه می‌نماید. این مقادیر بر اساس حداکثر مجاز غلظت منواکسیدکربن و حداقل دید مجاز، بدست آمده‌اند.

جدول شماره ۲- شاخص میزان هوای تازه بازا هر کیلومتر طول و باند تونل

FRESH AIR FLOW m ³ /s/lane km		
LONGITUDINAL INCLINATION %	FLOWING TRAFFIC 60—80 km/h 1650 veh./h lane	CONGESTED TRAFFIC c. 10 km/h 1 000 veh./h lane
Dipping - 4	40	90
Level ± 0	45	95
Rising + 4	100	115

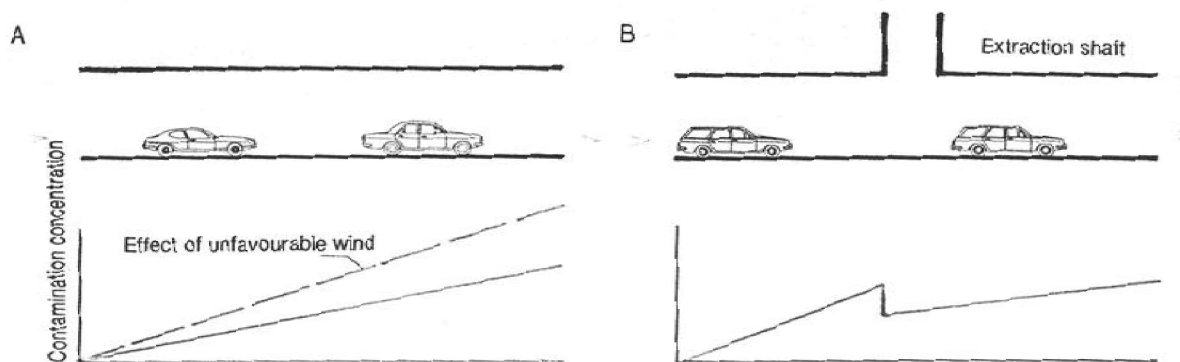
سیستم های تهویه

در تونل‌های ترافیکی هوا از دو طریق مکانیکی و یا براساس جاذبه قابل تعویض است. در حالت دوم، هوا براساس باد، دما و یا شیب تونل و نیز خاصیت پیستونی ماشین‌ها عوض می‌شود، این سیستم را تهویه طبیعی نیز می‌گویند. در حالت تهویه مکانیکی، هوای تازه مورد نیاز در تونل، توسط فن‌ها به داخل تونل رانده می‌شوند. عملکرد فن‌ها نسبت به محور تونل می‌تواند عرضی یا طولی باشد.

تهویه طبیعی

شکل ۶ دو سیستم تهویه طبیعی و توزیع مواد آلوده کننده را در تونل نشان می دهد . حالت A برای تونل های یک طرفه مناسب تر است. جریان هوای ضعیف باعث کاهش امر تهویه و ازدیاد غلظت آلوده کننده ها می گردد در حالت تونل دو طرفه، خاصیت اثر پیستونی ماشین ها کاهش یافته و این مساله نیز باعث افزایش آلوده کننده ها می گردد. غلظت آلوده کننده های خروجی از اگزوز ماشین ها را می توان توسط چاه های خروجی حفر شده در داخل تونل کاهش داد. (حالت B در شکل ۶) به خصوص برای تونل های دو طرفه که این کار مناسب است.

سیستم های تهویه طبیعی از نظر اقتصادی و اجرایی مقرون به صرفه است ولی از نظر قابلیت اطمینان ضعیف است، چون به عنوان مثال، یک باد نامناسب می تواند از عوض شدن هوای تونل جلوگیری کند. به همین دلیل نصب فن ها در تونل های خیابانی با طول بیش از ۱۵۰ متر به عنوان سیستم کمکی ضروری است. همچنین فن ها برای جلوگیری از آتش نیز لازم هستند، زیرا در حالت تهویه طبیعی دود می تواند به طرف هر دو مدخل تونل گسترش یابد و سیستم قابلیت هماهنگی با این خطر را ندارد.

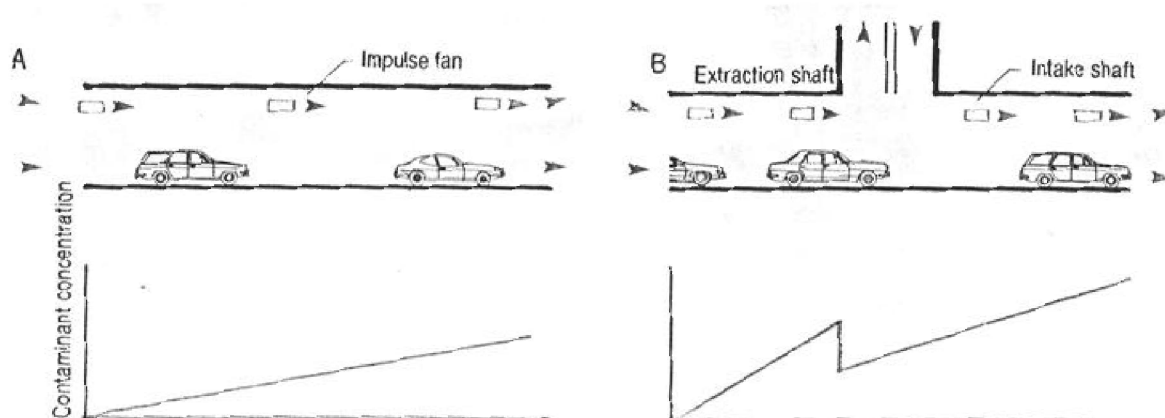


شکل ۶- سیستم تهویه طبیعی

تهویه طولی

در این حالت هوای تازه توسط فن ها وارد و خارج می گردد که باعث جریان طولی هوا در تونل می شود. (شکل ۷) در این سیستم توزیع غلظت ها مانند تهویه طبیعی است.

مقادیر زیادی از هوای تازه می‌تواند وارد تونل شود و این باعث می‌شود که غلظت آلوده‌کننده‌های تونل در سطح پایینی نگه داشته شود. همچنین قابلیت کاربرد در تونل‌های طویل را میسر می‌سازد. طولانی‌ترین تونل تهویه شده با این سیستم ۱۰ Km طول دارد. تونل‌های طویل را می‌توان با چاه‌های هواگیر و هواده مجهز نمود. تعداد محل این چاه‌ها را باید براساس حجم ترافیک و جهت آن و عوامل محیطی و غیره تعیین نمود. در حالت عمومی تونل‌های زیر ۱ Km را می‌توان بدون این چاه‌ها تهویه نمود. این سیستم برای تونل‌های یک طرفه مناسب‌ترین روش است. در حالت اطفاء حریق، دود ناشی از آن را می‌توان به طرف دیگر تصادف فرستاد.



شکل ۷- سیستم طولی تهویه

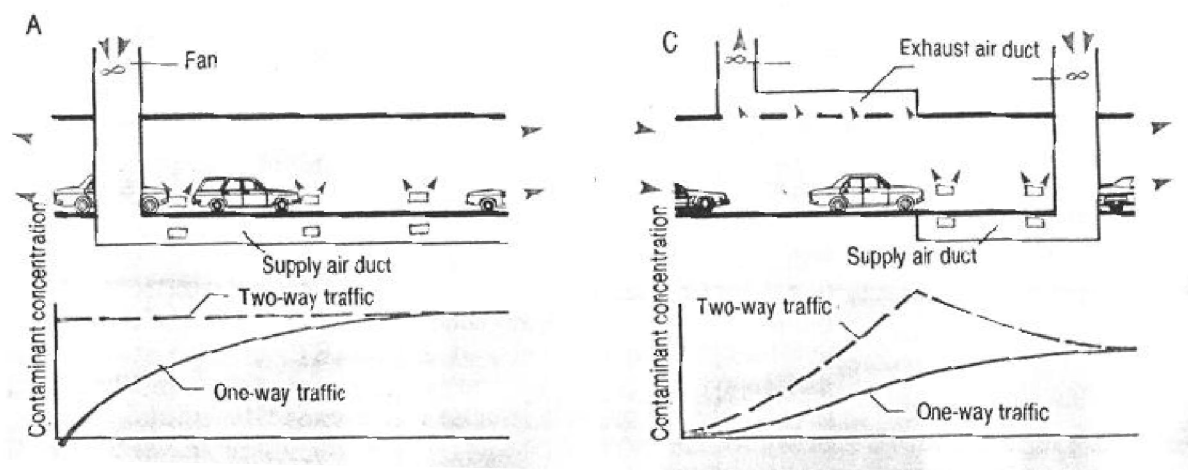
در تونل‌های یک طرفه ترافیک در پشت محل تصادف در مدخل تونل تجمع می‌یابد، در حالیکه در طرف خروجی، ترافیک جریان عادی خود را دارد، در این حالت فن‌ها به طور خودکار دود را به طرف خروجی هدایت می‌کنند و مسیر خودروهای ایستاده در مدخل تونل را از دود پاک می‌نماید. در تونل‌های با ترافیک دو طرفه، تجمع خودروها در هر دو طرف آتش (حادثه) خواهد بود که این حالت را به سختی می‌توان با استفاده از تهویه طولی کنترل کرد زیرا در نهایت دود در یکی از دو جهت بر عبور و مرور تاثیر خواهد گذاشت.

تهویه عرضی بخشی (partial lateral ventilation)

از این سیستم در حالت‌های مختلف می‌توان استفاده نمود. شکل ۸ سه راه حل را نشان می‌دهد که براساس:

a- مکش b- دهش c- تلفیق a, b می‌باشد.

حالت c تنها برای تونل‌های یک طرفه پیشنهاد می‌شود زیرا حجم هوای لازم جهت رقیق‌سازی آلوده‌کننده‌ها برای تونل‌های دو طرفه خیلی زیاد خواهد بود.



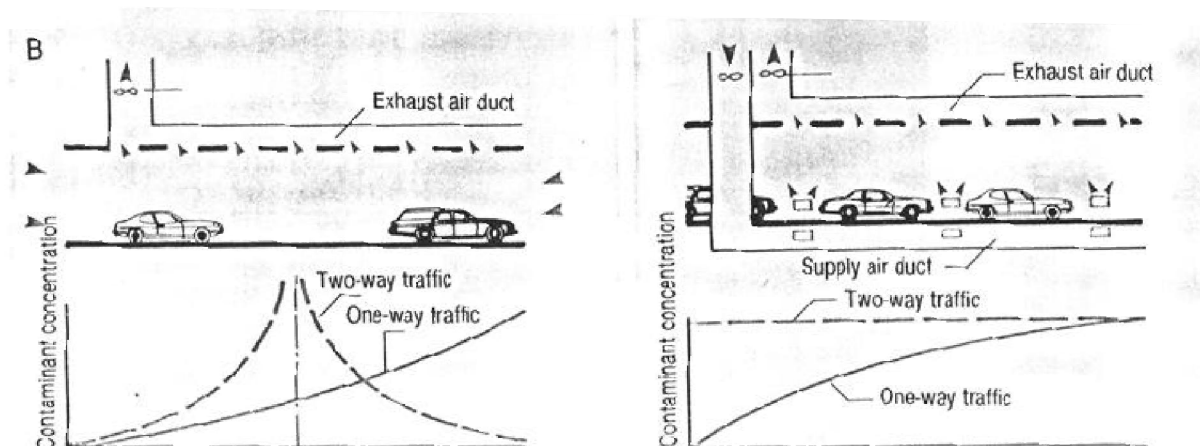
شکل ۸- سیستم تهویه عرضی بخشی

این سیستم برای تونل‌های طولی‌تر از ۵ کیلومتر بدون چاه پیشنهاد نمی‌شود. در تونل‌های طولی سرعت جریان هوا ممکن است بسیار زیاد شود، گرچه این روش توسط احداث چاه قابل اصلاح است. خروج هوا در طول تونل باعث جلوگیری از گسترش دود در حالت حریق می‌گردد. این حالت به ویژه در تهویه عرضی بخشی اگر قادر باشیم جهت چرخش فن‌ها را معکوس نمائیم قابل دستیابی است. در حالت آتش‌سوزی لوله‌های تامین هوا، بعنوان سیستم تخلیه کننده دود عمل کرده و هوای تازه به داخل تونل رانده می‌شود.

تهویه عرضی (lateral ventilation):

این سیستم برای تونل‌های بالای ۵ Km مناسب‌تر است (شکل ۹) با این سیستم تهویه در کل طول تونل قابل دسترسی است و نیز امکان کنترل دود در حالت وقوع حریق وجود دارد. در حالت تونل یک طرفه، دودهای خروجی از ماشین‌ها، مانند تهویه طولی به یک طرف تونل هدایت می‌شوند. به همین منظور پیشنهاد شده است که هوا ما بین محل حریق و یک طرف تونل (خروجی) خارج شود و هوای تازه از طرف ورودی تونل وارد شود.

در تونل‌های دو طرفه، سیستم طوری طراحی شده است که بتواند دود را سریعاً از محل حادثه خارج سازد. این حالت با معکوس نمودن فن‌ها در محل ورود هوای تازه و خروج هوای آلوده امکان‌پذیر است.



شکل ۹-سیستم تهویه عرضی

انتخاب سیستم تهویه

انتخاب سیستم تهویه تحت تاثیر فاکتور هایی از قبیل ترافیک، طول و هندسه تونل، خصوصیات و هزینه های سیستم و نیز اصول زیست محیطی مختلفی می باشد. کاربری سیستم تهویه بر مبنای طول تونل و جهت ترافیک بنا می شود. این انتخاب توسط فاکتورهایی چون توزیع غلظت آلوده کننده ها و حد بالائی جریان هوا محدود می شود. مثالی از معیار انتخاب سیستم در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

عوامل زیست محیطی:

غلظت هوای خروجی از تونل، بطور معمول فرصت دارد تا طی یک شعاع ۳۰۰ متری از پرتالهای تونل، رقیق شده و در حد مجاز خود برسد. اگر هوای خروجی از تونل (هوای کثیف) وارد ترانشه ای به عمق ۵ متر شود، این شعاع به ۷۰ متر کاهش پیدا می کند. لذا باید مقادیر حداکثر آلودگی هوا کمتر از مقدار پیشنهادی برای حالت تهویه عادی تونل باشد. تهویه در یک تونل در شرایط هوای ضعیف که نتواند به سرعت، هوای خروجی در اطراف تونل را رقیق سازد مغشوش می گردد. در این حالت استفاده از تهویه اضافی هم با محدودیت روبرو است و سطح آلودگیها چنان افزایش می یابد که در حالت تهویه طبیعی وجود دارد. در این شرایط خارج کردن هوای آلوده از طریق یک شفت بلند می تواند، موثر باشد.

جدول شماره ۳- ارتباط بین انتخاب سیستم تهویه و طول تونل و جهت ترافیک

MAXIMUM TUNNEL LENGTH (m)		
SYSTEM	ONE-WAY TRAFFIC	TWO-WAY TRAFFIC
Natural	c. 300	c. 100
Longitudinal	c. 3 000	c. 1 000 *)
Partial lateral		
Lateral	5 000	3 000
Lateral	> 5 000	> 3 000

مثالی در مورد تهویه تونل

برنامه‌های کامپیوتری جهت تجزیه و تحلیل اثر تلفیقی فاکتورهای موثر در تهویه تونلها در دسترس هستند. این برنامه‌ها حدود مجاز را بعنوان تابعی از ترافیک، هندسه تونل، وضعیت آب و هوا و ترتیب تهویه در تونل، شبیه‌سازی می‌نمایند.

جدول شماره ۴ نتایج یک شبیه‌سازی را برای تونلی بطول ۱۸۵۰ متر، عرض ۱۲ متر و ارتفاع ۸ متر نشان می‌دهد. عبور و مرور در این تونل یک طرفه و سیستم تهویه، طولی است. همانطور که مشاهده می‌شود در حالت‌های عادی (ترافیک در جریان یا سنگین) اثر پیستونی حرکت اتوموبیل‌ها یا تهویه محوری فن‌ها جهت پایین نگه داشتن سطح منوکسید کربن در حد قابل قبولی کافی می‌باشد.

جدول شماره ۴- سیستم تهویه که برای یک نمونه از تونل مطالعه شده است.

CASE	VENTILATION SYSTEMS	TRAFFIC LOAD veh./h	SPEED km/h	HEAD-WIND m/s	MAXIMUM CO-LEVEL ppm
1	Natural	1100	80	— 5	60
2	Natural	1100	50	— 5	130
3	18 axial fans	1100	50	— 5	40
4	18 axial fans	2200	15	— 5	100
5	18 axial fans & shafts, ± 560 m ³ /s	640 v/km	0	— 5	190

در شرایطی که ترافیک خیلی سنگین شود و کاملاً متوقف گردد (حالت ؟) غلظت آلوده‌سازها علیرغم وجود چاه با ظرفیت عبور ۳ میلیون متر مکعب در ساعت، بالا می‌رود. این موضوع موید این مطلب است که در این شرایط طراحی دبی تهویه برای ایجاد تهویه رضایتبخش یک امر گران می‌باشد و اقتصادی‌تر آن است که با بکارگیری چراغهای راهنما ترافیک را کنترل و از ایجاد ترافیک سنگین در داخل تونل جلوگیری بعمل آوریم.

سرپرستی و کنترل ترافیک

ایمنی عبور و مرور

بر طبق تجربه بین‌المللی، بطور عموم تونلها از بزرگراه‌ها خطرناکتر نیستند. علت آن این است رانندگان در تونلها با هشیاری بیشتر رانندگی می‌کنند و نیز به این خاطر است که مسائل ترافیکی و فنی در تونلها بهتر قابل پیش‌بینی است، چون طراحی استاندارد و دقیقی در تونل صورت می‌گیرد.

تعداد خرابی اتوموبیل‌ها و یا توقف‌ها و یا تصادف‌ها به چند عامل بستگی دارد که عبارتند از: استاندارد طراحی (بخصوص جهت و مقطع تونل)، حجم ترافیک، میزان وسائط نقلیه سنگین و نیز تجهیزات کنترل و مراقبت

مقایسه آمار تصادفات در تونلها کار بسیار سخت و دشواری است، چون آمارها معمولاً سال به سال متفاوت و در کشورهای مختلف انحراف زیادی دارد، لذا نتیجه‌گیری بدلیل جمع‌آوری آمار و تجزیه و تحلیل آن بطرق مختلف، قابل اعتماد نمی‌باشد.

تجزیه و تحلیل PIARC

در گزارش PIARC ایمنی ترافیکی ۳۷ تونل مختلف مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد که خلاصه‌ای از آن در جدول 5 آمده است.

تونلهای دو بانده به طول ۱۷-۶ کیلومتر که در کشورهای مختلف مورد بهره‌برداری هستند، تقریباً مانند یکدیگر عمل نموده و قابل مقایسه با هم می‌باشند، زیرا کنترل ترافیک در آنها تقریباً بصورت ساعتی انجام می‌شود. بالعکس تونلهای راههای روستایی بسیار متفاوت می‌باشند. همینطور در تونلهای خیابانی در مناطق شهری، استانداردها، حجم ترافیک، ایمنی و کنترل آنها بطور قابل ملاحظه‌ای فرق می‌کند. این تفاوت و اثر در آمار یاد شده قابل مشاهده می‌باشد. در رابطه با تونلهای زیرآب بخاطر شیب طولی زیاد، موضوع خیلی بدتر نمایان است.

براساس گزارش یاد شده سطح خرابی اتوموبیل‌ها در همه حالتها باستثناء تونلهای آبدار شبیه هم هستند. میزان تصادفات در تونلهای دو طرفه بلند و تونلهای بزرگراههای غیر شهری کمتر می‌باشد. در تونلهای خیابانی میزان

تصادفات کمی بیشتر ولی بالاترین آمار تصادف مربوط به تونلهای آبدار قدیمی است. این آمار میزان مجروحان و آتش‌سوزی‌های داخل تونل را نشان نمی‌دهد.

راهها و تونل‌های نروژ

آمار حوادث نروژ در جدول ۵ نشان داده شده است که مثالی از ایمنی ترافیک در جاده‌ها و تونلهای یک کشور است. بر طبق این آمار، ۳۳٪ از تصادفات در ۱۰۰ متری تونلها، ۴۵٪ در ناحیه انتقالی و ۲۲٪ در داخل تونل رخ می‌دهد. عمومی‌ترین تصادف (۵۲٪) تصادف خودرو با دیواره‌های تونل است.

جاده‌های اصلی در فنلاند

آمار تصادفات در جاده‌های اصلی فنلاند در خلال سالهای ۱۹۸۶-۱۹۸۷ در جدول ۵ آمده است. مطالعه آمار کشورهای شمال اروپا از جمله فنلاند بیانگر این است که تونلها از جاده‌ها ایمن‌تر هستند.

جدول شماره ۵-آمار خرابیها و حوادث وسائط نقلیه در تونل ها و راه ها

TYPE OF TUNNEL	BREAKDOWNS qty/10 ⁶ vehicular-km	ACCIDENTS qty/10 ⁶ vehicular-km
PIARC study		
Long tunnels	9.3—15.8	0.28—0.33
Motorway tunnels	4.2—17.1	0.14—1.26
Urban tunnels	6.5—24.3	0.2 —1.54
Underwater tunnels	13.1—26.1	0.74—3.36
Norwegian tunnels		
— entrance area	—	0.53
— inner area	—	0.15
Norwegian roads		
Two-lane road	—	0.15—0.30
Motorway	—	0.08
Urban motorway	—	0.4 —0.7
Finnish motorway		
Main roads	—	0.4—0.55
Motorways	—	0.26—0.32

کنترل ترافیک

تونلها با طولهای مختلف، سطح ایمنی متفاوتی را اقتضاء می کند که میزان آن در جدول شماره ۶ آمده است. این موارد برای ایمنی ترافیک و کارهای ساختمانی و نگهداری تونل لازم هستند و باعث کاهش شدت تصادفات و فراهم ساختن امکان کمک به محل تصادف می کنند.

هدف از داشتن سیستم کنترل به شرح ذیل است:

- جلوگیری از بند آوردن ترافیک در تونل توسط کنترل خودروهای ورودی
- بستن باندهای بند آمده
- اجرای سرعت مجاز بر طبق شرائط رانندگی در تونلها
- هدایت ترافیک به راههای مجاور در صورت بسته بودن و یا کاهش موقت ظرفیت تونل
- برای دوطرفه کردن یک تونل دو بانده در شرائطی که تونل مجاور (دوقلو) آن بسته است.
- جلوگیری از ورود ترافیک به تونل در حالت تصادف

راهنمایی رانندگان در شرائط خاص

تابلوهای اطلاعاتی و علائم خطر که در محل تونلها نصب می شوند، عبارتند از:

نام، طول و علامت (Symbol) تونل - فرکانس رادیویی تونل - محل اماکن ایستادن - راههای فرار - تلفنهای اضطراری - زنگ خطر آتش سوزی و غیره - تابلو فاصله داخل تونل - مقررات و راهنما بطور مکتوب (کار در جاده، حادثه و ...) - مقررات حمل مواد خطرناک

علائم و تابلوهای محدودیت و بازدارنده شامل:

محدودیت ترافیکی (مانند نور)، حداکثر ارتفاع آزاد، حداکثر و حداقل سرعت، ممنوعیت ایستادن، فاصله بین خودروها، استفاده از موتور و چراغها

بیرون از تونل معمولاً با یک سیستم کنترل ترافیکی سه چراغ مجهز است. سائز تجهیزات به کار رفته برای ایمنی عبارتند از: گاردریل های کنار تونل، سنسورهای حساس به گاز و جریان هوا، وسائل اندازه گیری دید و روشنایی برای کنترل تهویه و روشنایی

جدول شماره ۶- سطح ایمنی در تونل ها

SAFETY MEASURES	TUNNEL LENGTH (m)			
	> 1000	500—1000	300—500	< 300
Structural				
hard shoulders	0	0	0	0
parking bays	●	●	0	
turning bays	0			
two tunnels (two-way)	●	●		
one tunnel (one-way)	0	0		
pedestrian pavements	●	●	●	●
height indicators	0	0	0	0
Communications				
emergency phones	●	●	●	0
loudspeakers	0			
TV cameras	0			
radio telephones	0			
Fire alarm				
manual	●	●	●	0
automatic	●	0		
Extinguishers				
powder extinguisher	●	●	●	0
fire posts	●	0		
Emergency lighting	●	●	●	0

هزینه‌های احداث

تخمین هزینه احداث ۲ تونل جاده‌ای در ذیل آورده شده است: (جدول شماره ۶ و ۷)

تونل ۱: تونل Kuparivuori در Naantali واقع در جنوب غربی فنلاند. این تونل در سال ۱۹۹۸ در حال ساخت بوده است. یک تونل یک بانده ولی دوطرفه است. ۹۸ متر از این تونل در خاک است که بین دو قسمت سنگی بطول کلی ۲۲۴ متر قرار دارد. مقطع این تونل ۶۵ مترمربع می‌باشد.

تونل ۲: تونل Pasilanvayla بین Makelankatu و Kustaa vaasantie در هلسینکی که بعنوان یک راه مهم در منطقه شهری تلقی می‌شود. این تونل دوقلو و ۲ بانده می‌باشد. دو طرف آن بصورت کند و پوش اجراء شده است. طول کلی آن ۳۲۰۰ متر و مقطع هر یک از تونلها ۸۰ متر مربع است. طول تونل اجراء شده در خاک ۱۱۸۰ متر و تونل سنگی ۲۰۲۰ متر می‌باشد.

جدول شماره ۶- هزینه های ساخت تونل کوپاریووری

Preliminary work	50 000 Fmk
Overburden removal and filling	1 000 000 Fmk
Surface excavation	400 000 Fmk
Tunnelling and reinforcement	3 500 000 Fmk
Concreting	3 300 000 Fmk
Drainage and heat insulation	1 250 000 Fmk
Surfacing	300 000 Fmk
Fittings, equipment, finishing	650 000 Fmk
Ventilation	250 000 Fmk
Lighting	600 000 Fmk
Traffic control	100 000 Fmk
Total	11 400 000 Fmk
Average price	
— Rock tunnel 25 000 Fmk/m	
— Earth tunnel 60 000 Fmk/m	

جدول شماره ۷- هزینه های ساخت زیرگذر پاسیلا

Preliminary work	2 million Fmk
Overburden removal and filling	58
Surface excavation	7
Tunnelling and reinforcement	36
Concreting	54
Drainage and heat insulation	40
Surfacing	5
Fittings, equipment, finishing	4
Ventilation	16
Lighting	5
Traffic control	10
Total	237 million Fmk
Average price (per lane)	
— Rock tunnel 44 000 Fmk/m	
— Earth tunnel 120 000 Fmk/m	