

ASPECTS LIÉS AU CYCLE DE VIE DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES DES TUNNELS ROUTIERS

Urs WELTE, dipl.El.Ing.ETH/SIA, Président de AMSTEIN + WALTHERT PROGRESS AG, Consulting Engineers, Zurich (Suisse), membre du Comité technique AIPCR C.4, 'Exploitation des tunnels routiers'

Illustrations © Amstein + Walthert Progress AG

Les aspects liés au coût de la durée de vie des équipements sont devenus un sujet important pour les propriétaires et les opérateurs des tunnels routiers, privés ou gouvernementaux. Pendant ces dernières années, les tunnels ont reçu de plus en plus d'équipements de dernière technologie en matière de sécurité au point que le coût de ces équipements atteint facilement 25 % de l'investissement total du tunnel alors que la durée de vie de ces systèmes est approximativement 5 fois inférieure à celle de l'infrastructure du tunnel.

La connaissance précise des cycles de vie permet, au stade de la conception du système, d'optimiser les coûts d'investissement de ces équipements et aide à maintenir leurs coûts de fonctionnement à un niveau acceptable.

Bien que la connaissance des cycles de vie appartienne au «savoir-faire classique des bureaux d'études», il y a beaucoup d'aspects spéciaux qu'il est bon de connaître et qui sont souvent négligés. Ceci s'applique non seulement aux tunnels routiers mais également à d'autres aspects de l'ingénierie de la route.

DURÉE DE VIE MOYENNE DES ÉQUIPEMENTS

Une enquête internationale a été récemment menée parmi des pays de l'AIPCR afin d'évaluer la durée de vie moyenne des systèmes techniques classiques des tunnels routiers. Ces équipements ont été analysés dans 27 tunnels de 10 pays. Les systèmes suivants ont été analysés (voir [tableau 1, page de droite](#)).

Les cycles de vie typiques de ces systèmes et de leurs composants dans les tunnels sont montrés [figure 1](#). Le diagramme montre que les durées de vie classiques varient entre 10 et 25 ans.

La comparaison des résultats montre des différences importantes dans les durées de vie du matériel, ce qui n'a rien d'étonnant. Les systèmes électroniques et le matériel de contrôle comme les systèmes SCADA ont une durée de vie faible. Les équipements mécaniques, les systèmes de fourniture d'énergie et le câblage ont des espérances de durées de vie plus élevées qui atteignent 20 ans et plus. La faible durée de vie du matériel d'éclairage est par contre assez surprenante. C'est probablement dû à l'atmosphère corrosive des tunnels qui détériore le matériel plus rapidement que prévu. Les autres systèmes classiques des tunnels, comme les équipements de sécurité ou de signalisation, se situent au milieu de l'échelle, avec une durée de vie moyenne d'environ 15 ans.

COÛTS DU REMPLACEMENT ANNUEL DES ÉQUIPEMENTS

Les données statistiques de cette enquête peuvent être employées pour procéder à une évaluation approximative du coût moyen annuel du remplacement des équipements basée sur le coût d'investissement initial et la durée de vie moyenne de ces équipements. Le calcul est illustré par l'exemple de trois tunnels typiques, de 2 et 3 kilomètres de long, situés dans trois pays différents ([figure 2, page suivante](#)).

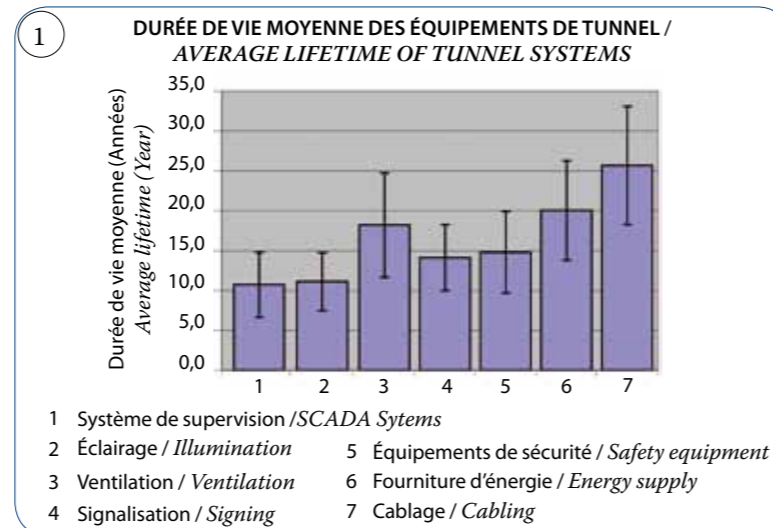


Figure 1 - Durée de vie moyenne basée sur cette enquête internationale. Les lignes verticales représentent la dispersion entre différents tunnels et systèmes

LIFE CYCLE ASPECTS OF ELECTRICAL ROAD TUNNEL EQUIPMENT

Urs WELTE, dipl.El.Ing.ETH/SIA, President AMSTEIN + WALTHERT PROGRESS AG, Consulting Engineers, Zurich (Switzerland), member of PIARC Technical Committee C.4 'Road tunnel operations'

Illustrations © Amstein + Walthert Progress AG



Life Cycle Cost Aspects (LCC-Aspects) have become an important subject for tunnel owners and operators, private or governmental. In the last few years, tunnels have been increasingly equipped with the latest (safety) technology, to the extent that these costs easily account for 25% of the total tunnel investment. But the life time of these systems is approximately five times lower than the tunnel infrastructure.

Well-founded knowledge on life cycles serves to optimise investment costs

during the early stages of designing a system and helps to keep operation costs at an acceptable level.

Although LCC-knowledge belongs to the standard "engineering know-how", there are many special aspects which are good to know and often neglected. This does not only apply to road tunnels but also to other areas of road engineering.

AVERAGE EQUIPMENT LIFE TIME

An international survey was recently conducted among PIARC-countries in order to evaluate the average lifetime of typical technical systems associated

with road tunnels. Twenty-seven tunnels in 10 countries were analyzed regarding their typical equipment usage. The following systems were investigated, see [table 1](#).

The typical life cycle of these tunnel systems and components are shown [figure 1, left page](#).

The chart shows that the typical lifetime varies between 10 and 25 years.

Comparing the results, we find significant differences in equipment lifetimes, which is not surprising. Electronic systems, monitoring equipment like SCADA-systems have a short lifetime. Mechanical and energy

TABLEAU 1 - EQUIPEMENTS DE TUNNEL PRIS EN COMPTE DANS L'ENQUÊTE			TABLE 1 - TUNNEL EQUIPMENT INCLUDED IN THE SURVEY	
SYSTÈME	DESCRIPTION		DESCRIPTION	SYSTEM
SYSTÈMES SCADA Système de Contrôle et d'Acquisition de Données	Systèmes SCADA généraux Systèmes SCADA pour le trafic Équipement du Centre opérationnel	1	SCADA Systems general Traffic SCADA systems Operation Centre equipment	SCADA SYSTEMS System Control and Data Acquisition
ÉCLAIRAGE	Lampes Luminaire Unités de commande des lampes Systèmes de surveillance	2	Lamps Luminaire Lamp control units Monitoring systems	ILLUMINATION
VENTILATION	Accélérateurs Ventilateurs axiaux Systèmes de surveillance Instruments de mesure d'opacité / de CO Registres de tirage	3	Jet fans Axial fans Monitoring systems CO/Opacity measuring instruments Dampers	VENTILATION
SIGNALISATION	Panneaux actifs Signaux d'affectation de voie	4	Active signs Lane use signals	SIGNAGE
ÉQUIPEMENT DE SÉCURITÉ	Systèmes de détection d'incendie Équipement vidéo Systèmes radio Postes d'évacuation	5	Fire detection Systems Video equipment Radio systems Emergency stations	SAFETY EQUIPMENT
APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUE	Équipement haute/basse tension Transformateurs Tableaux de distribution Unités d'alimentation permanente Batteries	6	High/Low voltage equipment Transformers Distribution panels Uninterrupted power supplies Batteries	ENERGY SUPPLY
CÂBLAGE	Câbles haute tension Câbles de communication Câbles à fibre optique	7	High voltage cables Communication cables Fibre optics cables	CABLING

Figure 1 (left page) - Average lifetime based on this international survey. The vertical lines represent the deviations between different tunnels and systems

Figure 2 - Coûts des remplacements annuels pour trois tunnels

Figure 3 (page de droite) - Différentes contraintes qui ont un effet sur la durée de vie des câbles d'énergie

Ce ne sont pas tant les différences de coûts constatées entre les pays qu'il faut remarquer mais leurs montants totaux. Il est utile de savoir que les coûts annuels de remplacement des équipements électriques d'un seul tunnel d'environ 1 km atteignent facilement 1 million USD par an.

STRATÉGIES POUR MAINTENIR LES COÛTS DE REMPLACEMENT À UN NIVEAU ACCEPTABLE

Il existe de nombreuses stratégies pour diminuer les coûts de remplacement. La stratégie la plus importante est de limiter les équipements dans un tunnel à un minimum acceptable ! Cependant, il y a d'autres aspects qui doivent être strictement respectés. Il est nécessaire de réviser et d'évaluer les causes du vieillissement ou de la réduction de la durée de vie.

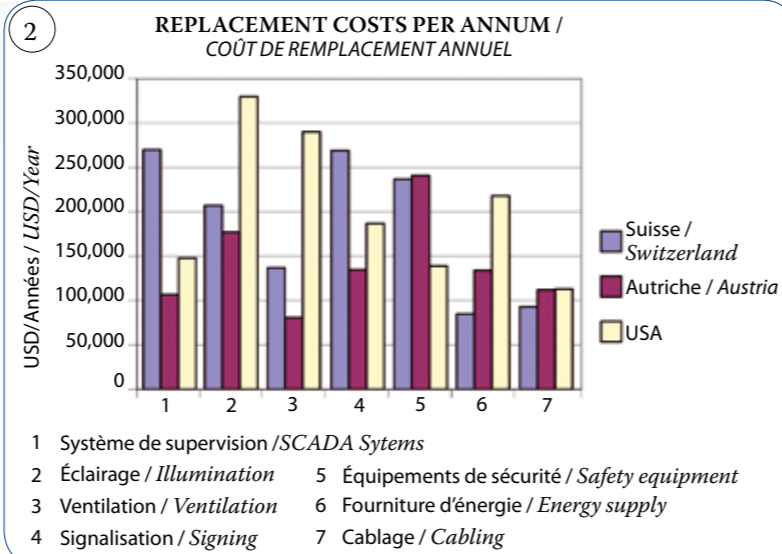
Température de fonctionnement

La température de fonctionnement est l'une des causes principales du vieillissement accéléré. Dans la mesure du possible, par exemple dans les salles techniques, là où se trouve la majeure partie du matériel, il faut maintenir une température basse. Il faut interroger les fournisseurs s'ils annoncent dans leurs fiches techniques des températures de fonctionnement admissibles entre 5 et 40 degrés, car ils ne garantissent pas une durée de vie constante pour l'ensemble de cet écart de température.

Dans ces circonstances, il vaut mieux prendre en considération la « règle des 10 degrés ». Cette règle énonce qu'une élévation de 10°C de certains systèmes et matériaux induit un vieillissement accéléré par un facteur compris entre 1,6 et 2. Une stratégie simple à mettre en œuvre consiste à maintenir la température ambiante en-dessous de 30°C, particulièrement pour les équipements électroniques. Ceci aidera à prolonger la durée de vie des équipements. Il est très important de vérifier que le matériel installé fonctionne réellement en dessous des températures limites pour lesquelles il a été prévu.

Contraintes mécaniques

Les contraintes mécaniques sont un autre facteur clé en matière de vieillissement accéléré. Cela comprend aussi les pressions d'air produites par le passage des camions, les dilatations et les contractions dues aux changements de température,



les vibrations en période de fonctionnement (par exemple les vibrations des ventilateurs dues à un manque de maintenance ou à de vieux roulements). Les contraintes mécaniques auxquelles les équipements seront soumis pendant leur installation doivent être soigneusement évaluées avant l'installation car il n'existe aucune règle générale à appliquer et chaque installation doit être analysée individuellement (par exemple les calculs de tension maxima en traction et les rayons de courbure minima des câbles électriques).

Un exemple type des contraintes mécaniques et autres facteurs qui ont une influence sur la durée de vie des câbles d'énergie est donné figure 3, page de droite.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette enquête internationale sur la durée de vie des équipements électriques des tunnels routiers a montré que la vie utile de ces équipements standards varie entre 10 et 25 ans avec une moyenne de l'ordre de 15 ans.

Il est utile de prendre en considération les facteurs spéciaux qui influencent les espérances de vie des systèmes et des composants tels que la température, l'humidité, les contraintes mécaniques et l'environnement. L'influence de la température est souvent sous-estimée. Une attention particulière doit donc être prêtée à la température environnementale dans les locaux techniques et dans les salles de commande.#

Cet article est basé sur un rapport technique du comité C4 'Exploitation des Tunnels routiers' qui sera édité en 2011 sous le même titre. Ce rapport a été produit par Urs WELTE (animateur du groupe de travail - Suisse), Alexander WIERER (Autriche) et John BURACZYNSKI (États-Unis).

supply/cabling systems have higher life expectations, which reach 20 years and more. Surprisingly low is the life span of illumination equipment : the impact of the corrosive atmosphere is probably deteriorating the material quicker than expected. The rest of the typical tunnel systems like safety or signing equipment are positioned in the middle of the scale, with average lifetime of approximately 15 years.

ANNUAL REPLACEMENT COSTS FOR EQUIPMENT

The statistical survey data can be used to make a rough estimation of the average cost per annum, based on the initial investment cost and the average lifetime. The calculation is illustrated through the example of three typical tunnels, between 2 and 3 km long, from three different countries (figure 2, left page).

The differences between the countries are not the focus of this analysis; however, it is good to know that replacement costs for electrical equipment of a single tunnel 1 km long easily sum up to USD 1 million per annum.

STRATEGIES TO KEEP REPLACEMENT COSTS LOW

There are many strategies to keep replacement costs low. The most important strategy is to keep the installations in a tunnel to an acceptable minimum! However, there are further aspects, which have to be strictly obeyed. It is necessary to review and evaluate causes of ageing or reduction in life cycle.

Operating Temperature

The operating temperature is one of the main causes for accelerated

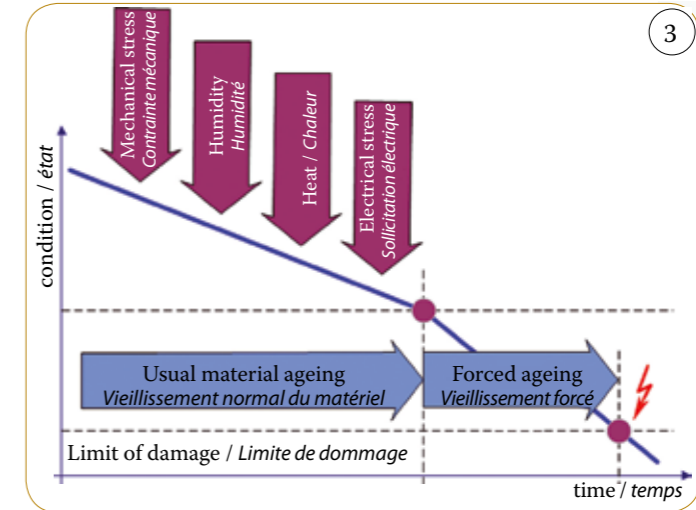


Figure 3 - Different stresses shown for energy cables

Figure 2 (left page) - Annual replacement costs for three tunnels

ageing. Wherever possible, e.g. in the technical equipment rooms, where most of the material is located, the temperature should be kept low. One should question suppliers if they show operating temperatures of between 5 and 40 degrees on their data sheets, as they do not grant for a constant life cycle on the whole of the temperature scale.

In these circumstances, it is better to take the "10-degree-rule" into account. This rule expresses that a rise of 10°C of some electrical systems and materials leads to an ageing accelerated by a factor included between 1,6 and 2. A simple strategy could be to keep the ambient temperature below 30°C, especially for electronic equipments. This will help to prolong the system lifetime. It is very important to verify that the installed equipment is working below the limit temperatures for which it was designed.

Mechanical Stress

Mechanical stress is another key factor with respect to accelerated ageing. This includes wind loads generated by trucks, vibration during operation (e.g. vibrating fans due to a lack of maintenance or old bearings),

expansion and contraction due to temperature changes. The mechanical stress to which equipments will be subjected during their installation must be carefully estimated before the installation because there is no main rule to be applied and every installation must be individually analyzed (for example cable pulling tension calculations and bending radii).

A typical example for mechanical stresses and other influencing factors on energy cables is given figure 3.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This international life cycle survey showed that the useful life of standard equipment varies between 10 and 25 years, while the average life span lies at approximately 15 years.

It is useful to consider special factors that influence life expectancies of systems and components such as temperature, humidity, mechanical stress and environment. The influence of temperature is often underestimated. Particular attention therefore has to be paid to environmental temperature in equipment and control rooms.#

The article is based on a TC C4 'Road Tunnels Operation' technical report under the same title, to be published in 2011. The report was established by: Urs WELTE (task leader - Switzerland), Alexander WIERER (Austria) and John BURACZYNSKI (USA).