



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Minna Poutanen

Maantietunnelin valaistus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

2.6.2021

Tekijä Otsikko	Minna Poutanen Maantietunnelin valaistus
Sivumäärä Aika	37 sivua + 2 liitettä 2.6.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	lehtori Tapio Kallasjoki
<p>Insinööriyön tavoitteena oli koota yhteen tietoa Suomen maantietunneleiden valaistuksesta. Suomessa maantietunneleiden rakentaminen on yleistynyt ja niiden tekniikka kehitty jatkuvasti, jotta voidaan parantaa turvallisuutta liikenteessä.</p> <p>Tässä työssä on esitetty vanhempien ja uudempien maantietunneleiden valaistusta. Työssä pohditaan uuden LED-valaistuksen etuja tunnelivalaistuksessa vanhempiin suurpainanatriumlamppuvalaisimiin verrattuna.</p> <p>Pääsin tutustumaan tarkemmin Lahdessa sijaitsevaan Liipolan tunneliin ja tunnelin tekniikan rakentamisesta vastanneelta yritykseltä saatuihin materiaaleihin. Liipolan tunneli oli insinööriyön tekemisen aikaan uusin Suomessa rakennettu tietunneli, jossa käytettiin uusinta tekniikkaa ja LED-valaisimia.</p> <p>Työn tuloksena saatiin koottua selkeää tietoa maantietunneleiden valaistuksen suunnittelusta, ohjauksesta ja valaisimista.</p>	
Avainsanat	valaistus, tunneli, valaistussuunnittelu

Author Title	Minna Poutanen Lighting in Road Tunnels
Number of Pages Date	37 pages + 2 appendices 2 June 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Senior Lecturer, Tapio Kallasjoki
<p>The aim of this engineering work was to gather information of Finnish road tunnels. In Finland, the construction of road tunnels has become more common, and their technology is constantly being developed to improve traffic safety.</p> <p>This work presents the lighting of older and newer road tunnels. The work considers the advantages of new LED lighting in tunnel lighting compared to older high-pressure sodium lamps.</p> <p>Liipola tunnel located in Lahti and the materials received from the company responsible for the construction of the tunnel technology were familiarized with. During the engineering work, the Liipola tunnel was the newest road tunnel in Finland, using the latest technology and LED lighting.</p> <p>The result is information was gained on the design, control, and lighting of road tunnel lighting.</p>	
Keywords	lighting, tunnel, lighting design

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	4
2	Maantietunneli	5
3	Näkeminen hämärässä	7
4	Valaistuksen perussuureita	7
5	Standardit ja ohjeet	8
6	Valaistuksen suunnittelu	9
6.1	Suunnittelun aloitus	9
6.2	Lähestymisluminanssi	11
6.3	Lähestymisluminanssin määrittäminen laskennallisesti	12
6.4	Kynnysalueen luminanssi	15
6.5	Siirtymäalueen luminanssi	16
6.6	Ulostulo- ja poistumisalueen valaistus	18
6.7	Häikäisy	18
6.8	Valaistuksen näkyminen vilkkumisena	19
6.9	Yhdyskäytävien valaistus	20
6.10	Yövalaistus	20
7	Tunnelin valaistus	21
7.1	Suurpainenatriumlamppuvalaisin	21
7.2	LED-valaisimet	22
7.3	Valaistuksen ohjaus	25
7.4	Valaistuksen ohjausjärjestelmä	27
7.5	Valaisimien puhtaanapito	27
7.6	LED-valaisimien hyödyt ja säästöt tunnelissa	27
8	Valaisimien asennus ja tarkastus	28

	2
8.1 Valaisimien asennus ja kaapelointi	28
8.2 Valaistuksen tarkastaminen	30
9 Liipolan tunneli	32
10 Yhteenveto	34
Lähteet	36
Liitteet	
Liite 1. Valaistusteknilliset laadunvalvontamittaukset	

Lyhenteet

DALI	Digital Addressable Lightning Interface – digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä
IP-luokka	Sähkölaitteen tai valaisimen koteloinnin tiiviyydestä kertova luku, joka määrittää suojauksen vettä ja pölyä vastaan.
LED	Light Emitting Diode – valoa säteilevä puolijohdekomponentti
Ra-indeksi	Värintoistoindeksi, joka kuvaa valonlähteen kykyä toistaa värejä.
UPS	Uninterruptible Power Supply – keskeytymättömän virransyötön järjestelmä tai laite.

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on selventää maantietunneleiden valaistusta, ja siihen liittyviä vaatimuksia ja ohjeita. Tunneleiden valaistus poikkeaa merkittävästi tievalaistuksesta, eikä tunneleiden valaistuksesta ole paljoa suomenkielistä tietoa saatavilla.

Maantietunnelilla tarkoitetaan maantiellä olevaa tunnelia, ja tähän aihealueeseen eivät kuulu esimerkiksi kevyen liikenteen väylien siltojen alitukset. Tässä työssä käsitellään yli 50 metrin tieliikennetunneleiden valaistusta. Esimerkkeinä tunneleiden valaistuksessa olen käyttänyt Suomesta löytyviä tunneleita. Euroopasta löytyy paljon tietunneleita, mutta ne poikkeavat Suomen tunneleista esimerkiksi valaisimien sijoittelun suhteen. Euroopassa tunneleita on rakennettu pitkään ja sen takia monissa tunneleissa on vanhaa tekniikkaa.

Tunneleiden rakentaminen on yleistynyt Suomessa viime aikoina. Maantietunneleiden valaistuksessa on paljon huomioitavaa liikenteen turvallisuuden takia. Tunnelit lyhentävät etäisyyksiä, sujuvoittavat liikennettä sekä mahdollistavat maastoesteiden alituksen. Suomessa kaupungillistuminen vaikuttaa myös erilaisten tunneleiden rakentamisen lisäämiseen, jotta voidaan tehdä kaupungeissa liikkumisesta helpompaa ja turvallisempaa sekä vähentää ruuhkia. Tunnelin rakentaminen kaupunkiin tuo lisää rakennusmaata sekä pienentää päästöjä lähialueen rakennusten pihilla, kun päästöt ohjataan piipulla ilmaan. Esimerkiksi Hämeenlinnan tunnelin rakentaminen yhtenäisti kaupunkia, kun kauppakeskus ja asuntoja rakennettiin tunnelin päälle sekä yhdisti keskustan ja Kaurialan toisiinsa. Tampereen keskustassa sijaitseva Rantatunneli mahdollisti tunnelin päällisen alueen käytettäväksi kaupungin rakentamiselle.

Insinööriyössä tarkemmin tarkisteltuna kohteena toimii joulukuussa vuonna 2020 liikenteen käyttöön avattu Lahden eteläisellä kehätiellä sijaitseva Liipolan tunneli.

2 Maantietunneli

Maantietunneli, toisin sanottuna myös tietunneli, on ajoneuvoliikenteen käyttöön tarkoitettu. Tunnelin pituudesta on eri määritelmiä. Lyhyessä tunnelissa ulostuloaukko on kokonaan tai osittain näkyvässä sisääntuloaukolta katsottuna. Lyhyen tunnelin pituus on yleensä alle 350 metriä. [11, s.79.] Pitkä tunneli on optisesti pitkä, eli ulostuloaukko ei näy tunnelin suuaukolta katsottuna. Pitkän ja lyhyen tunnelin valaistus poikkeaa myös toisistaan.

Maantietunneleiden järjestelmiin on kiinnitetty enemmän huomiota liikenneonnettomuuksien jälkeen, joita tunneleissa on käynyt vuosituhannen vaihteessa. Järjestelmien avulla maantietunnelista saadaan tehtyä turvallisempi, ja onnettomuustilanteissa toimiminen tehdään selkeäksi. Suomessa eri maantietunneleiden valmistumisen välissä on monia vuosia, joten tekniikan ja valaistuksen kehittämiseen sekä mahdollisten parannuksien tekemiseen on ollut aikaa.



Kuva 1. Vuosaaren tunneli lokakuussa 2020.

Suomen viisi pisintä maantietunnelia ovat [1.]:

- Tampereen rantatunneli (2016), 2 320 m
- Karnaisten tunneli (2009), 2 230 m
- Vuosaaren tunneli (2007), 1 520 m
- Liipolan tunneli (2020), 930 m
- Orosmäen tunneli (2009), 645 m

Listan vanhin (Vuosaari, kuva 1) ja uusin tunneli (Liipola, kuva 2) poikkeavat toisistaan. Vuosaaren tunneli avattiin 2007 parantamaan Vuosaaren sataman liikennettä. Näiden tunneleiden valaistus eroaa siten, että Vuosaaren tunnelissa toteutettu suurpainenatriumvalaisimia (keltainen väri) ja Liipolan tunnelissa on taas käytetty uudenmallisia LED-valaisimia, jotka tuottavat valkoista valoa.



Kuva 2. Liipolan tunneli.

3 Näkeminen hämärässä

Silmät sopeutuvat helpommin pimeästä valoisaan. Kirkkaasta valosta siirtyessä hämärään silmällä kestää vähän aikaa tottua valaistusmuutoksiin, jotta ihminen näkee hyvin. Tunnelin valaistuksessa on sen vuoksi otettava tarkasti huomioon päivänvalon ja tunnelin valaistuksen yhtenäisyys. Autoilijaa ei voi ajattaa valoisasta ulkoilmasta sisälle hämärään tunneliin, eikä myöskään yöllä valaistus saa olla liian kirkas.

Hämäränäkeminen muodostuu silmän kyvystä sopeutua valaistusmuutoksiin ja kontrastinäöstä. Hämäränäkö heikkenee ihmisen ikääntyessä.

Kontrastinäkö on silmän kyky erottaa pintojen luminanssierot toisistaan. Kontrastinäkö vaikuttaa paljon esimerkiksi siihen, kuinka hyvin näemme hämärällä ajaessa.

4 Valaistuksen perussuureita

Valovirta on valonlähteen tuottama näkyvän valon säteilyteho. Valaisimien tiedoissa ilmoitetaan valovirran arvot, joita käytetään kohteen valaistussuunnittelussa. Valovirran yksikkö on lumen (lm).

Valovoimalla kuvataan valaisimesta määrättyyn suuntaan lähtevän valon määrää. Valovoima on valaistustekniikan perussuure. Valovoiman yksikkö on kandela, (cd). Valovoima on sitä suurempi, mitä enemmän valovirtaa valonlähde tuottaa.

Luminanssi kertoo kappaleen pintakirkkauden eli pinnalta lähtevän valovoiman tarkasteluun suunnassa olevaa projektiopinta-alaa kohti. Luminanssista käytetään nimitystä valotiheys. Luminanssin yksikkö on kandelaa neliömetrille (cd/m^2). Tummat pinnat heijastavat vaaleita pintoja vähemmän valoa, jolloin luminanssi on pienempi. Keskimääräinen luminanssi kertoo, kuinka valoisalta tien pinta näyttää. Sen nostaminen parantaa havaitsemista, pidentää näköetäisyyttä sekä lyhentää reaktioaikaa. [2, s. 2.]

Valaistusvoimakkuus kertoo, kuinka paljon saadaan valovirtaa mitattavalle pinnalle. Sitä kuvataan tunnuksella E. Valaistusvoimakkuus ei ole nähtävä valo, vaan vasta valon heijastuminen pinnalta tekee valon näkyväksi. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lx), eli lm/ m². Valaistusvoimakkuutta pienentää mitattavan pinnan etäisyyden lisääminen valonlähteestä. [3, s. 2.] Suora auringonpaiste voi tuottaa jopa 100 000 lx. Yleisesti sisävalaistuksessa valaistusvoimakkuudet vaihtelevat 100–1000 lx välillä. Nämä tiedot helpottavat vertailua tunnelin valaistukseen.

Väriämpötila ilmoitetaan valaisimen tuotetietojen yhteydessä. Väriämpötilan yksikkö on kelvin (K). Yleensä puhutaan kylmästä tai lämpimästä valosta. Keltainen väri on noin 2 700 K (lämmin) ja neutraali valkoinen 4 000 K. Keskimääräinen päivänvalo on 5 000 K ja sininen taivas yli 8 000 K. [4, s. 3.]

5 Standardit ja ohjeet

Tiehallinto, nykyisin Väylävirasto tai Traficom, on antanut Suomessa tietunneleita koskevat määräykset ja ohjeet.

Tunnelin valaistus tulee järjestää niin, että tienkäyttäjillä on riittävä näkyvyys ympäri vuorokauden sekä tunnelin sisään-tuloalueella että tunnelin sisällä. Tunnelissa tulee olla sähkökatkoja varten varavalaistus, joka takaa riittävän näkyvyyden, jotta kuljettajat voivat ajaa ulos tunnelista. Tunneli tulee varustaa hätävalaistuksella, jotta tienkäyttäjät voivat poistua tunnelista jalan hätätilanteessa. Hätävalaistus sijoitetaan korkeintaan 1,5 m:n korkeuteen. [5, s. 15.] Tunnelin turvavalaistuksesta määrää standardi SFS-EN 16276, Evacuation Lighting in Road Tunnels.

Tietunnelidirektiivi on Euroopan Parlamentin ja Neuvoston direktiivi 2004/54/EY, ja se käsittelee Euroopan laajuisesti tunneleiden turvallisuutta koskevia vähimmäisvaatimuksia. Euroopan unionin tunnelidirektiivissä on säädetty yli 500 metristen tunnelien valaistuksesta. Valaistuksen tarkoituksena on taata tienkäyttäjien turvallisuus myös tunneleissa.

Tunnelivalaistuksessa tulee olla kolme osaa: normaalivalaistus, turvavalistus ja evakuointivalaistus. Turvavalistuksen tulee mennä päälle, kun virransyöttö normaalivalaistuksessa katkeaa jostain syystä. Onnettomuustilanteessa autoilija ohjataan poistumaan tunnelista jalkaisin evakuointivalaistuksen avulla. [6, s. 67.]

6 Valaistuksen suunnittelu

6.1 Suunnittelun aloitus

Tunnelin valaistuksen suunnittelu alkaa yleensä jo ennen itse tunnelin rakentamista. Ennen rakentamista, valaistusta voidaan hahmotella tunnelin ympäristön perusteella. Aluksi suunnittelussa otetaan huomioon tulevan tunnelin pituus ja ympäristö, näkeekö tunnelin läpi ja myös esimerkiksi onko tunnelin päällä metsää vai pelkkä taivas taustalla. Valaistusta voidaan määritellä myös havaintokuvan perusteella.

Tunnelin valaistusta suunnitellessa esille nousee monta tärkeää asiaa. Tunnelissa täytyy nähdä hyvin ja pystyä havainnoimaan. Valaisimet eivät saa häikäistä häiritsevästi.

Silmä tulee totuttaa päivänvalon mukaan tunnelin valaistukseen. Tunneliin ajettaessa tämä tarkoittaa nopeudesta ja luminanssitasoista määräytyvää matkaa ennen kuin kuljettajan silmät ovat tottuneet sisäosan valoisuuteen.

Kuvan 6 mukaan valaistuksen luminanssitasoa nostettaisiin tunnelin ulostuloalueella, mutta Suomessa tätä ei olla yleensä tehty.

Tärkeimmät valaistustekniset tekijät tunnelissa ovat ajoradan luminanssitaso ja luminanssin tasaisuus, vilkkumisen välttäminen ja häikäisyn rajoitus.

Tunnelin valaistuksen tilanteet:

- Päivävalaistus, joka mukautuu päivänvalon mukaan tunnelin sisäänajossa. Kirkaalla auringonpaisteella valaistusvoimakkuus on jopa 3 500 luksia.
- Yövalaistus, joka toteutetaan kuten tievalaistus. Yövalaistus on sisäalueen valaistus, jota voidaan himmentää ulkovalaistuksen himmentämisen mukaan. Yövalaistus on keskimäärin 40 luksia.
- Turvavalistus, jossa on evakuointivalaistus (osoitetaan turvallinen poistumisreitti) ja varavalistus (taataan toiminta häiriötilanteessa). Varavalistus on puolet sisävalaistuksen valaisimista, eli valaisinriviltä joka toinen valaisin toimii myös varavalistuksena. Varavalistus palaa UPS-varmennettuna esimerkiksi 30 minuuttia sähkökatkon sattuessa.

Turvavalistus käsittää lippuopasteet, evakuointivalaistuksen, sekä vilkkuvalot poistumistien oven pielessä. Lippuopasteiden avulla ilmaistaan sammuttimien, palopainikkeiden, poistumisreittien tai hätäpuhelimien sijainti tunnelissa. Turvavalistus ja evakuointivalaistus on akkuvarmennettu turvalokeskuksesta.

Onnettomuustilanteessa näkyvyyttä parannetaan poistumisopasteissa olevilla lisävalaisimilla, jotta ajoradalla näkisi paremmin. Poistumisopasteet asennetaan enintään 25 metrin välein.

Tunnelin lähestymisalue on ennen sisäänajoa. Päivänvalossa tunnelia lähestyvän autoilijan näkökentässä oleva luminanssi riippuu ympäristön pintojen valoisuudesta, tunnelin suunnasta ja sijainnista, sekä ympäristön heijastuksista. [6, s. 71.]

Tunnelin valaistusta suunnitellessa käytetään seuraavia kaavoja: lähestymisluminanssi, kynnysalueen luminanssi ja siirtymäalueen luminanssi.

6.2 Lähestymisluminanssi

Lähestymisluminanssi voidaan laskea tai mitata myöhemmin tässä työssä esitetyillä tavoilla. Lähestymisluminanssia voidaan parantaa tunnelin ympäristöön tehtävillä rakennusteknisillä tavoilla. Päivänvalon ja auringonsäteiden pääsyä tunnelin lähestymisaluelle tulee pienentää näkemisen parantamiseksi.

Ennen valaistussuunnittelua tunnelin rakennussuunnittelussa voidaan huomioida suuaukon suuntaus ja sen ympäristön muokkaus, ettei nouseva tai laskeva aurinko tai kirakas taivas olisi tunnelin suuaukon taustana. Tunnelin suuaukosta voidaan tehdä tummempi esimerkiksi käsittelyllä, muureilla, pensailta tai puilla. Luminanssia voidaan pienentää myös tummalla ja karkealla ajoradan päällysteellä.

Ajorata kuitenkin kuluu ja muuttuu harmaaksi, joten se lisää valaistuksen tasaisuutta tunnelin sisällä verrattuna uuteen pinnoitteeseen.

Tunnelin yläpuolista aluetta voidaan muokata sijainnin mukaan metsällä tai esimerkiksi rakennuksilla. Monissa tapauksissa on kannatettavaa rakentaa tai muokata maastoa, koska se vaikuttaa paljon siihen, kuinka paljon tunnelissa tarvitaan valaistusta. Mitä vähemmän valoa tunnelin suuaukolta mitataan, sitä pienempää valaistusta tarvitaan. Väheisemmän valaistuksen tarve tuo säästöä kustannuksissa.

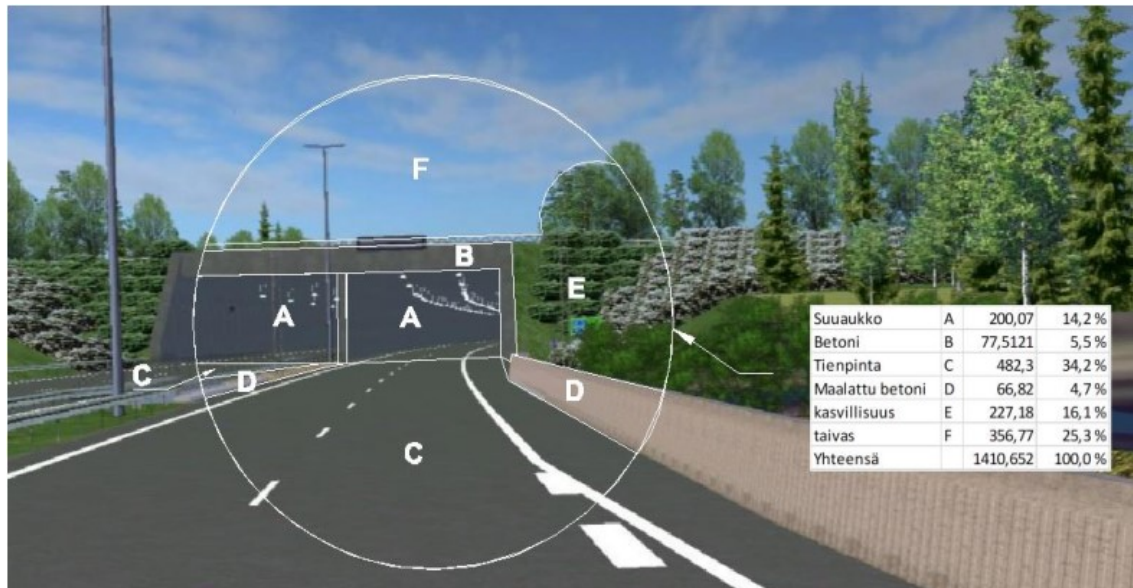


Kuva 3. Mestari-tunneli etelästä päin kuvattuna.

Mestari-tunnelin suuaukon ympäristössä on rakennuksia ja puita, joka vaikuttaa paljon tunnelin valaistuksen tarpeeseen. Kuvan 3 vastaan tulijoiden ajoradan yläpuolella olevat harmaat palkit ovat rakennettu häikäisysojaksi, kun tunnelista ajetaan ulos etelän suuntaan. [7.] Mestari-tunneli on 530 metriä pitkä tietunneli Espoossa Kehä 1:n varrella Leppävaarassa ja se on Suomen vilkkaimmin liikennöityjä tunneliosuuksia. [8.]

6.3 Lähestymisluminanssin määrittäminen laskennallisesti

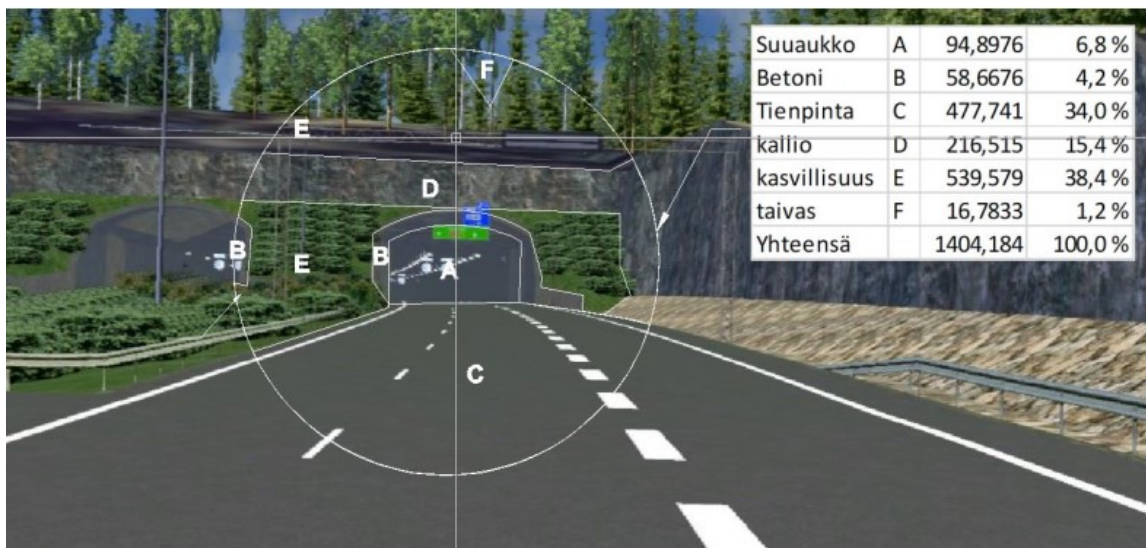
Lähestymisluminanssi määritellään L_{20} -menetelmällä. Kyseinen menetelmä tarkoittaa pysähtymismatkan etäisyydeltä, ennen tunnelin suuaukkoa asetetun 20°:n näkökartion sisällä olevan luminanssin määrittämistä.



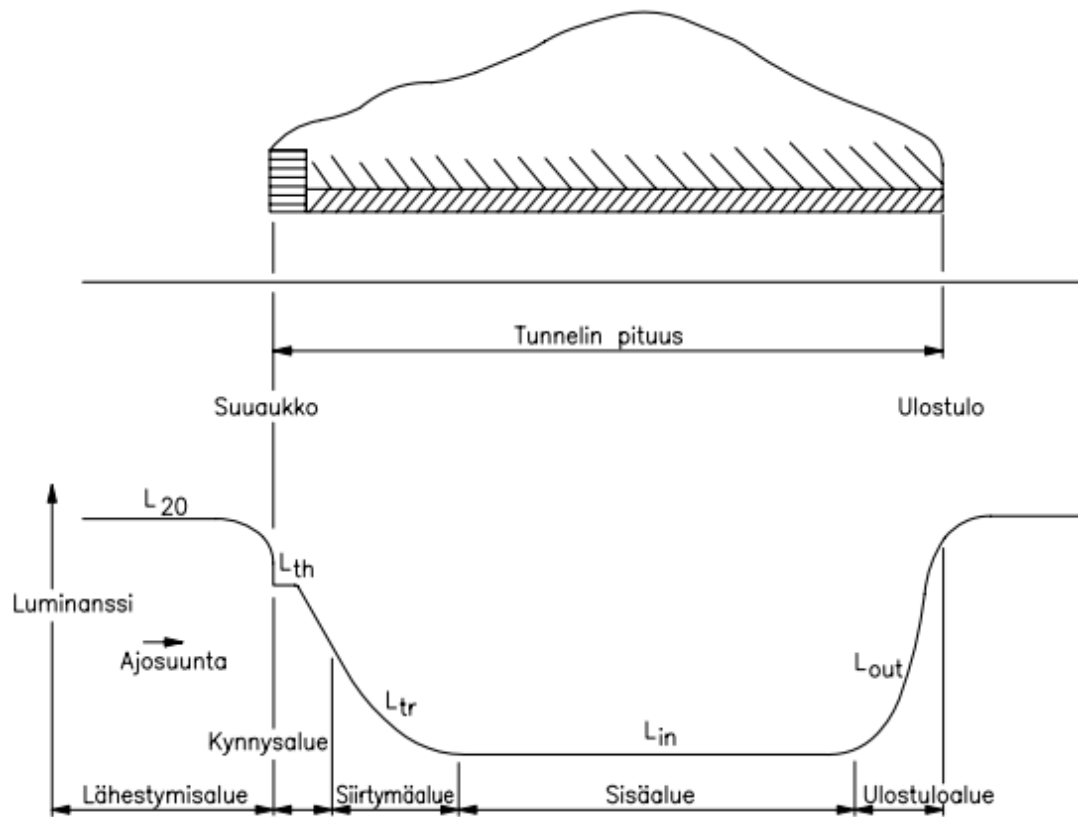
Kuva 4. Lähestymisluminanssi, Patomäen tunnelin läntinen suuaukko. [9.]

Kuvassa 4 on esitetty Patomäen tunnelin lähestymisluminanssin arviointi, kun tunnelin yläpuolella on kirkas taivas. Lähestymisluminanssi L_{20} on 5400 cd/m^2 , ja kynnyisluminanssi L_{th} on 320 cd/m^2 .

Kuvassa 5 on esitetty Liipolan tunnelin lähestymisluminanssin arviointi, kun tunnelin yläpuolella ja ympäristössä on metsää ja kalliota. Lähestymisluminanssi L_{20} on 2700 cd/m^2 , ja kynnyisluminanssi L_{th} on 160 cd/m^2 .



Kuva 5. Lähestymisluminanssi, Liipolan tunnelin itäinen suuaukko. [9.]



Kuva 6. Alueet tunnelivalaistuksessa. [10. s. 71.]

Lähestymisluminanssi lasketaan kaavasta 1. [11, s. 72.]

$$L_{20} = \gamma L_C + \rho L_R + \varepsilon L_E + \tau L_{th} \quad (1)$$

γ	on taivaan osuus näkökentän pinta-alasta
ρ	on tien osuus näkökentän pinta-alasta
ε	on ympäristön osuus näkökentän pinta-alasta
τ	on tunnelin suuaukon osuus näkökentän pinta-alasta
L_C	on taivaan luminanssi
L_R	on tien luminanssi
L_E	on ympäristön luminanssi
L_{th}	on kynnysalueen luminanssi

$\gamma, \rho, \varepsilon$ ja τ keroimien summan tulee olla yksi.

L_C, L_R, L_E määräytyy taulukon 1 avulla ajosuunnan ja ympäristön mukaan.

L_{th} kynnyksalueen luminanssina käytetään arviota luminanssista, kun tarkka arvo ei ole tiedossa.

Taulukko 1. Näkökentän osien keskimääräinen luminanssi (kcd/m^2). [11, s. 76.]

Ajosuunta	L_C	L_R	L_E			
			kallio	rakennukset	lumi	nurmikko
Pohjoiseen	8	3	3	8	15	2
Länteen tai itään	12	4	2	6	15	2
Etelään	16	5	1	4	15	2

6.4 Kynnyksalueen luminanssi

Kynnyksalueen alkuosalla tarvittava luminanssi saadaan laskettua kaavalla 2, kun käytetään L_{20} -menetelmää.

$$L_{th} = k * L_{20} \quad (2)$$

L_{th}	on kynnyksalueen luminanssi
L_{20}	on lähestymisalueen luminanssi
k	on luminanssikerroin

Luminanssikerroin k valitaan taulukosta 2.

Taulukko 2. Luminanssikerroin (k) ja pysähtymismatka. [11, s. 77.]

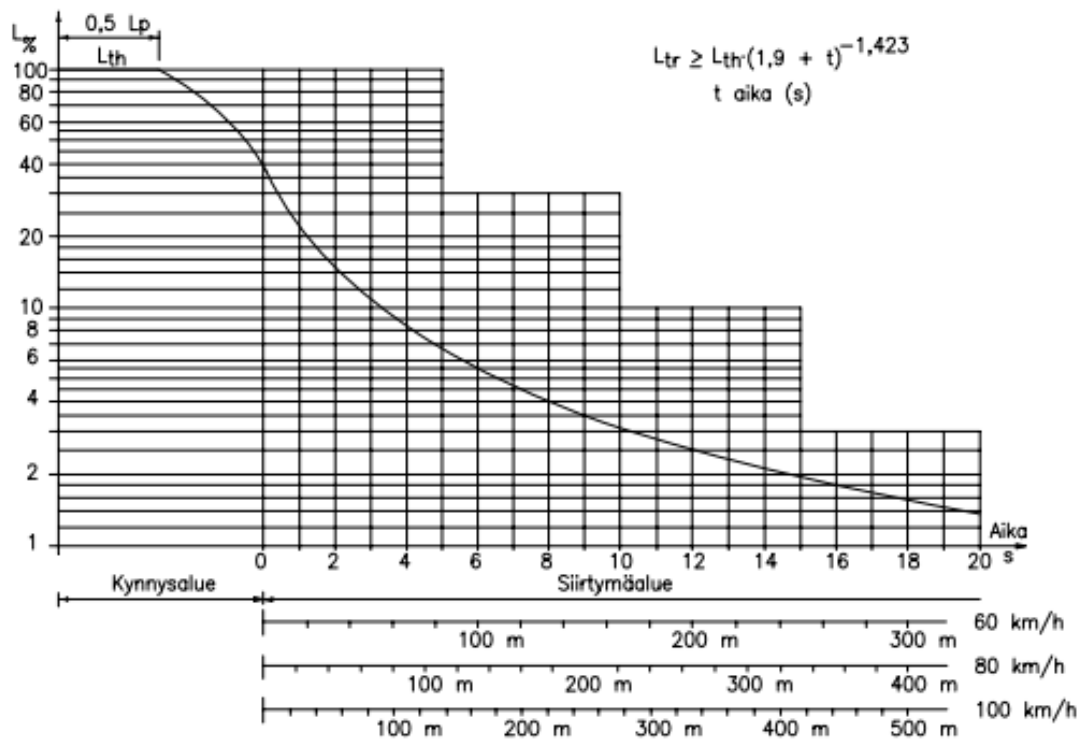
Suunnittelunopeus tai nopeusrajoitus (km/h)	k	Pysähtymismatka (m)
≤ 60	0,04	75
80	0,05	120
100	0,07	180
120	0,1	260

Taulukosta 2 saadaan valittua luminanssikertoimen lisäksi pysähtymismatka. Kynnysalue on pysähtymismatkan pituinen. Kynnysalueen alussa luminanssin keskimääräisen arvon on oltava täydessä arvossaan. Kynnysalueen jälkeen luminanssitasoa voidaan vähentää kuvan 7 käyrän mukaisesti.

6.5 Siirtymäalueen luminanssi

Esteet näkyvät siirtymäalueella, kun sopeutuminen alenevaan luminanssiin tapahtuu käyrän mukaan (kuva 7).

Siirtymäalueen luminanssia vähennetään portaittain suhteessa 3:1 tai portaattomasti, siten ettei arvo laske missään kohdassa käyrän alapuolelle. Siirtymäalueen päättymiskohta on siinä, missä luminanssi on sisäalueen arvo 1,5-kertaisena. Luminanssin on täytettävä vaatimukset koko tien leveydellä, myös pientareilla. [10, s. 73.]



Kuva 7. Siirtymäalueen luminanssi. [10, s. 74.]

Siirtymäalueen luminanssiin vaikuttaa nopeus, jolla tunnelissa ajetaan, tai minkä nopeuden mukaan se halutaan mitoittaa.

Tunnelin sisäalueella keskimääräinen luminanssi tulee olla vähintään kaksinkertainen, verrattuna tunneliin johtavan tien keskimääräiseen luminanssiin, kun luminanssi tulee tievalaistuksesta. Sisäalueen luminanssin tulee täyttää vaatimuksen koko tien leveydellä.

Ajoradalla saa olla noin 0,5 m levyinen tummempi kaista, jolla aiemmin mainittua luminanssiarvoa ei tarvitse saavuttaa. Tummemmalla päällystekaistalla lisätään seinän ja tienpinnan välistä kontrastia. Tunnelin sisäosan heijastusominaisuuksien tulee olla mahdollisimman hyvät, jotta tarvittavaa valonmäärää voidaan vähentää. Heijastusominaisuuden parannusta saadaan aikaan, kun käytetään vaaleata ja tasaista pintakäsittelyä seinissä, sekä vaaleita ja karkeita tienpäällysteitä. [11, s. 78.]

Tunnelissa kaikilla alueilla luminanssin yleistasaisuuden U_0 tulee olla vähintään 0,4. Pitkittäistasaisuuden U_1 tulee olla vähintään 0,6. [10, s. 74.]

Tunneliluokassa 1 tunnelin seinien luminanssin tulisi olla ajoradan luminanssiarvosta 25 %. Tunneliluokissa 2 ja 3 seinien luminanssin tulee olla kahden metrin korkeuteen asti 60 % ajoradan luminanssista. Luokassa 4 seinien keskimääräisen luminanssin tulisi olla kahden metrin korkeuteen sama kuin ajoradalla. [10, s. 75.]

6.6 Ulostulo- ja poistumisalueen valaistus

Yleensä tunnelin ulostuloalue valaistaan samalla tavalla kuin sisäalue. Vilkasliikenteisen tunnelin, jossa ulostuloaukon lähellä on suurempi onnettomuusriski, luminanssia voidaan lisätä päivällä. Luminanssia lisätään pysähtymismatkan pituudella portaattain 3:1 tai portaattomasti. 20 metriä ennen suuaukkoa luminanssin tulee saavuttaa viisinkertainen sisäalueen arvo. [11, s. 74.]

Poistumisalueen valaistus toteutetaan tunnelin sijaitessa tiellä, joka ei ole valaistu ja tien käyttönopeus on 50 km/h tai suurempi. Ulostuloaukon jälkeen tie valaistaan matkalta, joka on kaksinkertainen pysähtymismatkan pituus, kuitenkin enintään 200 metrin pituudelta. Keskimääräinen luminanssi on vähintään kolmasosan yöportaan arvosta. Luminanssin ollessa 1 cd/m² tai suurempi, tulee poistumisalueen loppuun järjestää sopeutusalue, kuten tievalaistuksessa. Tievalaistuksessa sopeutusalueen keskimääräinen luminanssi on 15–25 % tien valaistuksesta. [10, s. 76.]

6.7 Häikäisy

Estohäikäisyn esiintyminen tunnelivalaistuksessa on todennäköisempää, kuin esimerkiksi sisätilojen valaistuksessa. Estohäikäisy on yksi pahimpia epäkohtia tunnelivalaistuksessa, sillä valaistuksen luminanssikonsepti perustuu kohteiden havaitsemiseen ajoradalla sekä liikenneturvallisuuteen. [4, s. 42.]

Estohäikäisyä aiheuttavat suuret luminanssierot sekä kirkkaat valonlähteet näkökentässä, jotka estävät näkemästä hyvin.

Päivällä tunnelin estohäikäisyä tulee rajoittaa kaikilla alueilla paitsi ulostulo-osuudella. Näillä alueilla estohäikäisyn tulee olla $f_{TI} < 15\%$. Yöaikaan edellä mainitun vaatimuksen tulee täyttyä koko tunnelin pituudella. [10, s. 75.]

Estohäikäisy lasketaan kaavoilla 3 ja 4 [10, s. 75; 18, s. 43.]

$$f_{TI} = 65 \times (L_V/L_R^{0,8}), \text{ kun } L_R \leq 5 \text{ cd/m}^2 \quad (3)$$

$$f_{TI} = 95 \times (L_V/L_R^{1,05}), \text{ kun } L_R \geq 5 \text{ cd/m}^2 \quad (4)$$

L_R on ajoradan keskimääräinen luminanssi

L_V on näkökentässä olevien valaisimien aiheuttama harsoluminanssi.

Tunnelin kynnys- ja siirtymisalueella valaisimien asennuskulmalla tehdään tarkoituksellista häikäisyä. Näin saadaan käytettyä pienempää tehoa valaisimissa ihmisen silmän totuttamiseksi valaistuksen muutoksiin.

6.8 Valaistuksen näkyminen vilkkumisena

Valaistuksen näkyminen vilkkumisena ajaessa johtuu siitä, kun ajaessa valopisteiden luminanssin taajuudet sijoittuvat tietyille alueelle. Valaisimet, jotka palavat samanaikaisesti tulee sijoittaa tietyille etäisyydelle toisistaan. Ajettaessa mittausnopeudella vaihtelevan luminanssin taajuuksia 4–11 Hz ei saisi esiintyä, eikä vilkkumisen kesto olisi yli 20 sekuntia.

- Nopeudella 80 km/h vältettävä valaisinväliä 2–5,5 metriä, kun matkan pituus on yli 450 m.
- Nopeudella 100 km/h vältettävä valaisinväliä 2,5–7 metriä, kun matkan pituus on yli 550 m.
- Nopeudella 120 km/h vältettävä valaisinväliä 3–8 metriä, kun matkan pituus on yli 650 m [10, s. 75].

6.9 Yhdyskäytävien valaistus

Tunnelin koosta ja pituudesta riippuen tunnelissa on jalkaisin pelastumiseen yhdyskäytävä, joka on tunneliyhteys viereiseen tunneliin. Jalankulkukäytävien valaistuksen tulee toimia katkeamattomasti. Valaistusvoimakkuuden tulee olla 150 lx ja tasaisuuden U_0 0,25. Jalankulkukäytävissä valonlähteiden värinotoistoindeksin R_a tulisi olla vähintään 60. [11, s. 83.]

Yhdyskäytävien valaistuksen tulee olla jatkuva ja myös UPS-varmennettu. Käytävä valaistetaan useammalla valaisimella, ettei vikaantuminen tekisi yhdyskäytävää pimeäksi.

6.10 Yövalaistus

Yöaikaan tunnelin valaistus on himmeämpi. Pimeällä sisäalue kattaa koko tunnelin osuuden, eikä kynnys- ja siirtymäaluetta tarvita. Tie- ja tunnelivalaistus suunnitellaan siten, että niiden välistä eroa ei huomaa. Luminanssimittarin antaman arvon mukaan säätyvä valaistus auttaa silmiä mukautumaan tunneliin ajettaessa, kun näkyvyys heikkenee.

Kuvan 8 vasemmanpuoleisessa tunnelissa valaistus, joka pitäisi olla yöaikaan. Oikeanpuoleisessa tunnelissa tilanne, kun kaikki valaisimet ovat päällä.



Kuva 8. Tunnelin valaistus yöllä, jos valaistusta ei ohjattaisi ja kaikki valaisimet olisivat päällä. [7.]

7 Tunnelin valaistus

Tunnelissa ulkoiset tekijät tulee huomioida valaisimissa. Tunnelissa ei ole suoraa sadetta, mutta tunnelissa tulee huomioida esimerkiksi kylmyys, kosteus ja liikenteestä nouseva lika. Valaisimien tulee olla kestäviä, helposti asennettavia ja huollettavia sekä tiiviitä eli kestää kosteutta ja pölyä. Myös tiesuolauksen sumu syövyttää valaisimia. Uusissa tunneleissa käytetään nykyisin LED-valaisimia.

7.1 Suurpainenatriumlamppuvalaisin

Tunneleissa on aikaisemmin käytetty suurpainenatriumlamppuvalaisimia. Näissä valaisimissa on suurpainelampulle tarkoitettut liitännälaitteet, kuristin ja sytytin sekä lamppu on vaihdettavissa. Suurpainenatriumlampuissa on hyvä valontuotto, mutta värinasto on huo- noa ja suurpainenatriumlamput tuottavat kellertävää valoa.

Lamppujen elinikä on 12 000–48 000 tunnin välillä lampun tehon ja mallin mukaan. On olemassa myös kaksoissydämellä valmistettuja lamppuja, joilla on kaksinkertainen poltto-aika. Näissä tapauksissa joka toinen vaihtotyö jää pois. [12.] Esimerkkinä tunneleissa käytetyn kaksoissydämellä valmistetun suurpainenatriumlampun (kuva 9) ominaisuuksia.

- Teho 400 W, kuristinhäviön kanssa noin 450 W
- Värilämpötila 2050 K
- Valovirta 55000 lm
- Ra-indeksi 20
- Energialuokka A++



Kuva 9. TwinArc, suurpainenatriumlamppu kaksoissydämellä. [12.]

7.2 LED-valaisimet

LED-valaisimet tuottavat valkoista ja kirkasta valoa, toistavat värejä selkeästi ja niiden säädettävyyden on hyvä. LED-valaisimilla on pitkä käyttöikä, ja valmistajien ilmoittama elinikä on yleensä 50 000–100 000 tuntia. Valaisimissa ilmoitetaan myös valovirran alenemakertoimen, eli valovirran heikentyminen valaisimen säännöllisen käytön aikana. Esimerkkinä tunnelin LED-valaisimen valovirran teho keskimääräisen 100 000 tunnin käyttöikänsä aikana on L_{96} , eli 96 % valaisimen alkuperäisestä valovirrasta on jäljellä ilmoitetun käyttötuntimäärän jälkeen.

LED-valaisimien kehittyminen ja yleistyminen vaikuttaa niiden hintaan laskevasti, joten ne ovat myös kustannustehokkaita. Ne ovat yleistyneet myös tunnelivalaistuksessa, koska niissä on paljon hyviä puolia.

Esimerkkinä tunneleissa käytetyn LED-valaisimen (kuva 10) ominaisuuksia.

- Teho 460 W
- Värilämpötila 4000 K
- Valovirta 54000 lm
- Ra-indeksi >70
- Energialuokka A++



Kuva 10. Philips TubePoint gen2-valaisin. [13.]

Tunnelivalaistuksessa käytetään yleisesti 3000–6000 K:n värilämpötila-aluetta. Valaisimien on hyvä olla himmennettäviä ja DALI-yhteensopivia valaistuksen ohjauksen takia. Vaadittu suojausluokka maantietunnelissa tunnelin osuudessa on IP65. Tunnelin valaisimissa käytetään korkeampaa suojausluokkaa IP66, eli pölytiivistä ja voimakkaalta vesisuihkulta suojattu puhdistusta varten. IK-luokan, eli ilkevän keston ei tarvitse olla kovin suojaava tunnelin katossa olevissa valaisimissa. [13.]

Sekalaisilla valaisimilla toteutettuja tunneleita on myös rakennettu esimerkiksi Ruotsinpyhtäällä VT7/E18-moottoritieellä sijaitseva Markkinmäen maantietunneli (450 metriä). Tunnelissa kynnyks- ja siirtymäalueen valaistus on toteutettu suurpainenatriumvalaisimilla ja sisäalueen valaistus LED-valaisimilla.



Kuva 11. Markkinmäen tunnelin yövalaistus. [7.]

Päiväsaikaan tunneli on keltainen eivätkä valkoiset LED-valaisimet paljoo erotu pienen tehonsa takia, mutta yöllä tunneli muuttuu valkoisemmaksi, kun käytössä on pelkät LED-valot. Yöllä ei kynnys- ja siirtymäalueen valaistusta tarvita. Tässä ratkaisussa saatiin sähkönkulutuksella sen verran säästöä 12 vuoden aikajaksolla, että se voitiin toteuttaa LED-tekniikalla.

LED-valaistus on käytössä vuorokauden ympäri ja sen teho on noin 75 W valaisimelta. Suurpainenatriumvalaisimilla saman valaistuksen toteutuksen kulutus olisi ollut lähes kaksinkertainen. Tunnelin koko valaistusta ei olisi ollut kannattavaa toteuttaa LED-valaisimilla, koska niiden sähkönkulutus oli lähes sama suurpainenatriumvalaisimiin verrattuna ja valaisimien hinta noin kolme kertaa kalliimpi tunnelin rakentamisvaiheessa vuonna 2014. [7.]

7.3 Valaistuksen ohjaus

Tunnelin valaistuksen ohjaus perustuu luminanssimittarin antamaan luminanssiarvoon. Mittari on asennettu tietyn matkan päähän tunnelin suuaukon ulkopuolelle. Luminanssimittari mittaa tunnelin sisäänajoaukon keskikohdassa olevan kirkkauden ja tunnelin valaistusta säädetään sen arvon mukaan.

Ulkona ollessa hyvin aurinkoista tunnelin valaistus ohjataan kirkkaaksi mennessä tunneliin. Ihmisen silmä ei totu hämärään nopeasti, joten autoilijoita ei voida ohjata pimeään tunneliin. Tunnelin alkuosan valaistus on kirkas, ja tunnelin loppua kohti sitä voidaan himmentää, koska silloin silmä ehtii tottua hiljalleen pienempään valaistukseen.

Tunnelin lopussa valaistuksella ei ole niin suuri merkitys, kuin sisääntulossa, koska ihmisen silmä tottuu tunnelista ulos ajaessa kirkkaaseen valoon nopeasti.



Kuva 12. Tunnelin suuaukon alueella oleva luminanssimittari.

Mittarin linssin täytyy olla puhdas oikean mittaustuloksen varmistamiseksi. Likainen mittari antaa väärän mittaustuloksen ja valaistus säätyy väärin. Mittarin yhteyteen on asennettu puhdistuslaite, joka puhdistaa mittarin linssin viikoittain.

Mittarissa on lasinpyyhkijä ja tuulilasin pesulaite. Kuvassa 12 näkyvä sininen säiliö on lasinpesunestettä varten, ja sen tilavuus on 5 litraa.

Lähestymisluminanssin mittaamista varten on L20-luminanssimittarit. Mittarit asennetaan esimerkiksi 120 metrin päähän tunnelin suuaukolta. Mittarin asennusetäisyys riippuu tien nopeusrajoituksesta. Mittari suunnataan tunnelin suuaukon keskelle, noin ihmisen pään korkeudelle. Mittarit suunnataan siten, että 20 asteen muodostaman mittausympyrän keskipiste sijoittuu tunnelinsuun keskelle.

Kuvassa 12 esitetty mittari on Hagner TLS 420/SW, ja sen mittausalue on 0–6500 cd/m². Mittarin mittaama arvo 6500 cd/m² lähettää mittausviestin 20mA. Alle 4 mA viesti tulkitaan vikatilanteeksi. Mittareissa tulee olla ylijännitesuojat.

Tunnelivalaistusta ohjataan vähintään viidessä valaistusportaassa avoimella tiellä vallitsevien valoisuusolojen mukaan mittaamalla molempien suuaukkojen lähestymisluminanssit. Taulukko 5 on tehty suurpainenatrium- ja LED-valaisimille. Ryhmät 4 ja 5 ovat LED-valaisimia, ja muut ryhmät suurpainenatriumvalaisimilla toteutettu. Suurpainenatriumvalaisimien himmennys on 50 % tai 100 %.

Taulukko 5. Ohjausjärjestelmä valitsee oikeat valaisinryhmät päälle. [9.]

Valaistusporras		Lähestymisluminanssi	Käytössä olevat
Nro	L _{th} (cd/m ²)	L ₂₀ (cd/m ²)	valaisinryhmät
Y	1,5	0-30	4 (45 %) , 5 (45 %)
S	3	30-60	4 , 5
P1	30	60-600	3 (50 %), 4 , 5
P2	66	600-1320	2 (50 %), 3 (50 %) , 4 , 5
P3	132	1320-2640	1 (50 %), 2 (50 %), 3 , 4 , 5
P4	200	2640-	1 , 2 , 3 , 4 , 5

7.4 Valaistuksen ohjausjärjestelmä

Tunnelin valaistusta ohjataan esimerkiksi ohjelmoitavilla logiikoilla. Logiikasta lähtee tieto tunnelin valaistuskeskusten releille, joilla ohjataan valaisimia. Tämä ohjaus on käytössä suurpainenatriumvalaisimilla. DALI-ohjatuilla LED-valaisimilla logiikka ohjaa DALI-väylän ohjauslaitteita, joista on väylä valaisimille.

Logiikasta lähtee tieto tieliikennekeskuksen valvomo-ohjelmistoon SCADA:an, jolla voidaan eri paikasta ohjata tunnelin järjestelmiä, mukaan lukien valaistusta.

7.5 Valaisimien puhtaanapito

On selvää, että tunnelin sääolosuhteissa valaisimet likaantuvat pakokaasuista ja liikenteen autojen nostattamasta pölystä. Valaisimet, ja niiden lisäksi esimerkiksi opasteet puhdistetaan huolto-ohjelman mukaisesti. Puhdistusväli riippuu liikenteen määrästä, sekä tunnelin sijainnista. Vikailmoitusten perusteella voidaan vaihtaa yksittäishuollossa vikaantuneet tai loppuun palaneet lamput tai valaisimet.

7.6 LED-valaisimien hyödyt ja säästöt tunnelissa

Nykypäivänä valaistussuunnittelussa korostuu energiatehokkuus. LED-valaisimet on tunnettuja energiatehokkuudestaan. Kuitenkin ennen käytetyt suurpainenatriumvalaisimet olivat teholtaan noin 400 W, ja niiden häviöt laskettuna mukaan teho olisi noin 450 W. Tunnelin LED-valaisimen teho on noin 450 W.

Tunnelin sisäalueella saavutetaan pientä säästöä. Ennen sisäalueen valaistus on ollut noin 100–150 W, ja nykyisin valaisimien teho on 70–90 W. Tunnelin valaisimien vaihdossa ei vielä taloudellisesti ole merkittäviä eroja, mutta tulevaisuudessa saadaan toivottavasti enemmän säästöä talouden ja ympäristön kannalta. LED-valaisimien hinnat ovat laskeneet vuosien aikana.

LED-valaisimien elinkaari poikkeaa aiemmin käytetystä suurpainenatriumvalaisimien elinkaarista. [14, s. 8.]

LED-valaisimien yleistyessä tie- ja tunnelivalaistuksessa niiden elinkaarikustannuksista saadaan tarkempaa tietoa. LED-tunnelivalaisimien käyttöikä ja kunnossapitokustannukset selviää paremmin, kun aikaa kuluu ja vertailuja voidaan tehdä esimerkiksi viidentoista vuoden perusteella.

Esimerkkinä Markkinamäen tunnelin sisäalueen valaistus, joka on toteutettu LED-valaisimilla vuonna 2014. Valaisimille ei ole tarvinnut tehdä puhdistuksen lisäksi muita korjauksia tähän vuoteen 2021 saakka, eli noin seitsemän vuoden aikana.

8 Valaisimien asennus ja tarkastus

8.1 Valaisimien asennus ja kaapelointi

Valaisimet asennetaan yleensä yhteen tai kahteen hyllyyn, jotka kulkevat katossa tunnelin suuntaisesti. Tunnelissa on käytettävä kosteuden ja korroosionkestävää hyllyä. Hyllynä voidaan käyttää esimerkiksi Mekan KS 80-500 SP2.0 tikashyllyä. Kyseinen hylly on vahvistettu ja soveltuu raskaille kuormille [17.]. Uudet tunnelin LED-valaisimet painavat noin 6–25 kg. Hyllyn tyyppi ja kiinnitysvälit määräytyy myös valaisimien määrän ja painon mukaan. Hyllyjen ja kiinnitysmateriaalien tulee olla vähintään kuumasinkittyjä tai vastaavia materiaaleja korroosionkesto-ominaisuuksiltaan. Standardi SFS-EN ISO 12944-2 kuvaa ilmastonrasitusluokkia ja sinkin syöpymistä näissä luokissa. Tunnelissa käytetään C4-luokan hyllymateriaaleja, jotka kestävät kohtalaista suolapitoisuutta. [5, s. 10.]



Kuva 13. Tunnelin LED-valaisin asennettuna tikashyllyyn.

Kaapelointina tunnelissa on käytetty asennuskaapelia, esimerkkinä halogeenivapaa MMJ-kaapeli. Valaistuksen runkokaapelointi toteutetaan esimerkiksi 5x6 mm² ja valaisimille 3x2,5 mm² tai 5x2,5 mm².

Kuten esimerkiksi monissa rakennuksissa, myös tunnelissa valaistuksen jatkuvuus täytyy varmentaa. Sähkönjakelu on varmistettu UPS:lla ja usein myös varavoimalla. UPS-järjestelmä riittää varmentamaan turvavalaistuksen ja varavalaistuksen. Varavoimaa tarvitaan erityisesti, kun tunneliin on asennettu muita järjestelmiä, kuten savunpoistopuhaltimia.

Tunnelin sähköä vaativia laitteita ovat valaisimet ja turvavalaisimet, savunpoisto- ja ilmastointilaitteet, turvalaitteet sekä tunnelin opasteet ja tunnelin sulkemiseen tarvittavat laitteet.

Varavoimalla varmistetaan tärkeiden laitteiden sähkönsyöttö. Tilanteessa, jossa tavallinen sähkönsyöttö katkeaa, vaihtuu sähkönsyöttö varavoimalla toimivaksi. Tilanteessa valaistus saatetaan ohjata pienemmälle teholle varavoimakäytössä.

8.2 Valaistuksen tarkastaminen

Valaistus tarkastetaan silmämääräisesti pistokokeina eri puolilta tunnelia ja yhdyskäytävää. Ajoneuvotunnelin valaisimista tarkastetaan noin 5 %. Tarkistuksessa katsotaan valaisimien kiinnityksen ja runkorakenteet, merkintöjen kunto sekä lisäksi kaapelihyllyjen, keskuksien ja akustojen kunto.

Valaistukselle tehdään tarkastusmittaukset. Tunnelin päivävalaistuksen toiminnan tarkastuksessa testataan luminanssimittarin toiminta esimerkiksi huputtamalla mittari, josta nähdään mittarin reagointi valaistustason muutoksiin. Automaattiohjauksella luminanssimittarin mittaustietojen perusteella, sekä käyttöliittymästä tehtävillä käsiohjauksilla tarkastetaan valaistuksen ohjauksen säätymistä.

Yövalaistuksen tarkastuksessa järjestetään esimerkiksi tilanne, jossa luminanssimittari on pimennetty ja tievalaistus on puoliteholle himmennettynä. Silloin tunnelin sisäalueen valaistuksen pitäisi myös säätyä puolelle teholle. [16. Liite 1/12.]

Valaistuksen laatu tunnelissa tarkastetaan mittaamalla valaistuksen valaistusvoimakkuuden arvot. Mittauksen jälkeen mittaustuloksia verrataan laskettuihin arvoihin. Mitatut arvot eivät saisi olla yli 10 % eriävät, kuin lasketut arvot. Mittaus suoritetaan joka portaalla erikseen.

Tunnelin valaistuksen vakavia vikoja ja puutteita ovat esimerkiksi akuston riittämättömyys, jolloin se vaikuttaa turva- ja varavalaistuksen toimintaan. Myös kulkuväylän yläpuolella olevat kiinnikkeiden ja kannakkeiden repeämät ovat vakavia puutteita.

Ensisijaiset tarkastuskohteet turvallisuuden kannalta ovat seuraavat [16. Liite 1/12]:

- turvavalaistuksen toiminta eri tilanteissa
- valaisinryhmittäisten merkinnät
- evakuointivalaistus
- hätäpoistumisreitien valaistus
- hätäasemien valaistus
- päivävalaistuksen toiminta
- osittaisen päivävalaistuksen toiminta
- yövalaistuksen toiminta.

9 Liipolan tunneli

Esimerkkikohteena on Liipolan tunneli, joka on 930 metriä pitkä. Tunneli sijaitsee Vt 12 Lahden eteläisellä kehätiellä ja se on tarkoitettu vain moottoriliikenteelle. Tunnelin nopeusrajoitus on 80 km/h, eli pysähtymismatka on 120 metriä. Liipolan tunnelissa törmäyselementit on tehty vaaleiksi tasaisuuden saavuttamiseksi.

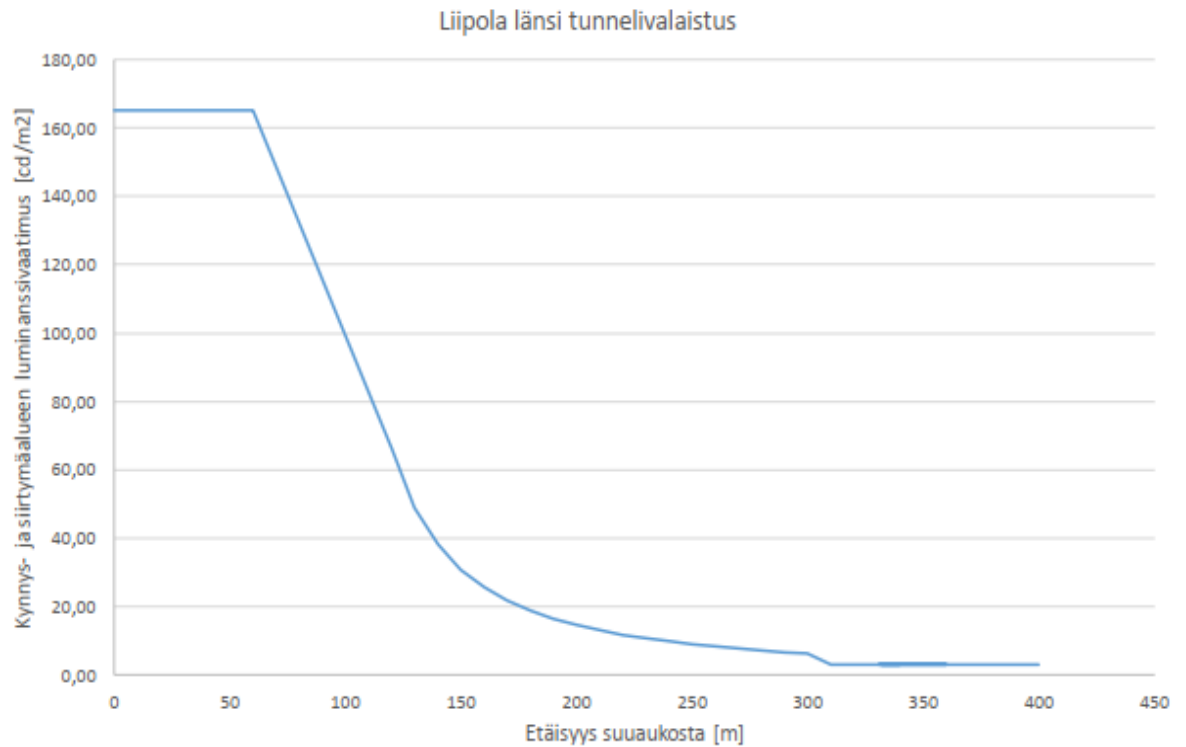


Kuva 14. Liipolan tunnelin sisäalueen valaistus.

Laskennallinen kynnysluminanssi on pohjoisen itäisellä suunaukolla 160 cd/m^2 ja eteläisen läntisellä suunaukolla 200 cd/m^2 .

Mittauksissa keskimääräinen valaistusvoimakkuus Läntisen suunaukon kynnyalueella on 4 064 luksia. Valaistusmittauksissa sisäalueella kahden valaisimen välistä mitattu keskimääräinen valaistusvoimakkuus oli 87 luksia.

Kirkkaalla auringonpaisteella valaistusvoimakkuus voi olla jopa 7 000 luksia kynnyksalueella. Valaisimina tunnelissa on käytetty Philips Tubepoint LED-valaisimia. Valaisimien värielämpötila on 4000K ja värintoistoindeksi $Ra > 70$. Led-valaisimen ottoteho on isoimmissa valaisimissa 450 W.



Kuva 15. Kynnyks- ja siirtymäalueen pituus. [9.]

Esimerkkikohteesta näkee helposti aiemmin opinnäytetyössä esitettyjä vaatimuksia. Kuvassa 16 on esitetty läntinen suuaukko, jossa valaisimia on enemmän tarpeeksi suuren valovoiman saamiseksi kynnyks- ja siirtymäalueelle.

Tunnelin sisäänajon suuaukolla valaisimia on asennettu tiheästi ja valaistus on kirkkaampi.

Kun tunnelia mennään eteenpäin sisäalueelle (kuva 14), valaisimia on asennettu harvempaan ja valaisimien tehot pienenevät. Kuvia vertaamalla huomaa valaisinmäärän ja valaisimien tehojen eron.

Liitteissä esitetty esimerkkinä valaistuksen mittaustuloksia.



Kuva 16. Liipolan tunnelin läntinen suuaukko, kynnyksalueen valaistus.

10 Yhteenveto

Valaistus on tärkeä osa tunneleiden tekniikkaa sekä tietunneleiden liikenneturvallisuuden kannalta. Valaistusteknisten ominaisuuksien lisäksi on myös tärkeää, miltä valaistus näyttää tunnelissa. LED-valaisimet ovat tuoneet paljon etuja myös sen suhteen.

Tunneleista ei löytynyt kovin paljoa tietoa tai materiaalia, koska Suomessa on rakennettu muuhun Eurooppaan nähden vähemmän tunneleita, ja niiden tekniikka on uutta. Sain materiaalia tunneleiden tekniikkaan erikoistuneilta henkilöiltä. Pääsin vierailemaan Liipolan tunnelissa ennen sen käyttöönottoa, joten sain tutustua paremmin tunnelin tekniikkaan ja valaistukseen.

Opinnäytetyön tekemisen aikana Liipolan tunneli oli uusin Suomessa rakennettu tietunneli, ja siellä oli uutta tekniikkaa. Tämän avulla oli hyvä tehdä vertailua aikaisemmin rakennettuihin tunneleihin ja niiden valaistukseen.

Tämän työn tavoitteena oli koota tietoa yhteen tunnelin valaistuksesta, ja havainnoida valaistusta erilaisilla kuvilla. Monet kuvista olen itse ottanut liikenteenkäyttäjän näkökulmasta. Mielestäni tavoite saavutettiin, ja tämä työ antaa selkeää tietoa tunnelin valaistuksesta ja sen suunnittelusta. Toivon, että opinnäytetyöni toimii tiedonlähteenä valaistustekniikasta kiinnostuneille.

Lähteet

- 1 Vt 12 Lahden eteläinen kehätie. 2020. Väylävirasto. Verkkoaineisto. <<https://vayla.fi/-/vt-12-lahden-etelainen-kehatie-loppuvuonna-liipolan-tunneli-liittyy-maamme-merkittavimpien-maantietunnelien-joukkoon>>. Luettu 22.4.2021.
- 2 ST 58.04, Ohjeita valaistuksen suunnitteluun ja toteutukseen. 2017. Sähkötietyö ry. Espoo: Sähköinfo.
- 3 Valaistussuunnittelijan käsikirja. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/3704275-Valaistussuunnittelijan-kasikirja.htm>>. Luettu 25.3.2021.
- 4 ST 57.40, Valaistustekniikan perussuureet ja määritelmät. 2017. Sähkötietyö ry. Espoo: Sähköinfo.
- 5 Tietunnelien hallinnointi ja turvallisuutta koskevat määräykset ja ohjeet. 2008. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/tietunneli_maaraykset_2008.pdf>. Luettu 18.2.2021.
- 6 Direktiivi 2004/54/EY. Euroopan laajuisen tieverkon tunnelien turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0054&from=FI>>. Luettu 14.4.2021.
- 7 Poutanen, Matti. 2021. Asennuspäällikkö, Caverion Suomi Oy, Helsinki. Keskustelu 23.4.2021.
- 8 Kehä 1 Mestarintunnelin liikenteenohjausjärjestelmän asennustyöt. 2020. Verkkoaineisto. <<https://www.fintraffic.fi/fi/uutiset/keha-1-mestarintunnelin-liikenteenohjausjarjestelman-asennustyot-kaynnistyvat-1-kesakuuta>>. Luettu 27.4.2021.
- 9 2020. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- 10 Tievalaistuksen suunnittelu. 2005. Tiehallinto. Verkkoaineisto. <<https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100034-05tievalsuunn.pdf>>. Luettu 16.2.2021.
- 11 Maantie- ja rautatiealueiden suunnittelu. 2015. Liikennevirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-16_maantie_rautatiealueiden_web.pdf>. Luettu 16.2.2021>.
- 12 Sylvania. Lamput, Twinarc SHP-TS tubular. Verkkoaineisto. <<https://www.sylvania.fi/lamput/suurpainenatriumlamput/item/356-twinarc-shp-ts>>. Luettu 13.4.2021.

- 13 Tunnel and underpass lighting, TubePoint gen2. Philips. Verkkoaineisto. <<https://www.lighting.philips.com/main/prof/outdoor-luminaires/tunnel-and-underpass-lighting/tubepoint-gen2>>. Luettu 20.4.2021.
- 14 Suomen tieyhdistyksen ammattilehti. 7/2015. Verkkoaineisto. <https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1351/tl_7-15.pdf>. Luettu 15.4.2021.
- 15 Meka Pro Oy. Tuotteet, tikashyllyt. Verkkoaineisto. <<https://meka.eu/fi/ks80-500-sp2-0-l-6000-hdg.html>>. Luettu 22.4.2021.
- 16 Tietunnelien teknisten järjestelmien tarkastaminen. 2015. Liikennevirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-27_tietunnelin_teknis-ten_web.pdf>. Luettu 16.3.2021.
- 17 SFS-EN ISO 12944-2:2017. Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 2: Ympäristöolosuhteiden luokittelu. Luettu 22.4.2021.
- 18 Estohäikäisy ja sen arviointi tie- ja katuvalaistuksessa. Verkkoaineisto. <https://www.lehtiluukku.fi/lehti/valo/_read/2-2019/231393.html?p=42>. Artikkelijulkaistu VALO 2/2019 lehdestä. Luettu 4.3.2020.

Valaistustekniset laadunvalvontamittaukset [9.]

Valaistustekniset laadunvalvontamittaukset
Liipola K tunneli

Liite 1
Läntinen suuaukko, kynnysalue

mittaus- piste sijainti (m)	oikea seinä 1m korkeudelta		oikeasta reunakivestä 0,64m		oikeasta reunakivestä 4,47m		oikeasta reunakivestä 7,03m		oikeasta reunakivestä 10,86m		vasen seinä 1m korkeudelta					
	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%				
31,92	#####	#####	3100	2733	13	4600	4320	6	4540	4320	5	3140	2733	15	#####	#####
34,46	#####	#####	3100	2707	15	4480	4280	5	4450	4280	4	3110	2707	15	#####	#####
36,99	#####	#####	3020	2667	13	4540	4227	7	4470	4227	6	3050	2667	14	#####	#####
39,53	#####	#####	3080	2640	17	4490	4173	8	4500	4173	8	3040	2640	15	#####	#####
42,07	#####	#####	3100	2653	17	4570	4213	8	4640	4213	10	3090	2653	16	#####	#####
44,61	#####	#####	3140	2693	17	4500	4280	5	4440	4280	4	3150	2693	17	#####	#####
47,14	#####	#####	3150	2747	15	4700	4347	8	4730	4347	9	3170	2747	15	#####	#####
49,68	#####	#####	3220	2760	17	4580	4373	5	4590	4373	5	3210	2760	16	#####	#####
52,22	#####	#####	3130	2733	15	4670	4333	8	4610	4333	6	3020	2733	10	#####	#####
Enmp	#####	#####	3116	2691	16	4554	4263	7	4552	4263	7	3107	2691	15	#####	#####
Up	#####	#####	0,97	0,98	-1	0,98	0,98	0	0,98	0,98	0	#####	#####	#####	#####	#####
					Ehm	4064	3739	9								
					Uo	0,74	0,71	5								

Katselusuunta tunneliin
Tampere



Kouvola

Valaistusteknilliset laadunvalvontamittaukset [9.]

Valaistusteknilliset laadunvalvontamittaukset
Liipolan K tunneli

Liite 1
Sisäalue, kahden sis. alueen valaisimen välistä

mittaus- piste sijainti (m)	oikea seinä 1m korkeudelta		oikeasta reunakivistä 0,64m		oikeasta reunakivistä 4,47m		oikeasta reunakivistä 7,03m		oikeasta reunakivistä 10,86m		vasen seinä 1m korkeudelta			
	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%	mit.	lask. ero-%		
667,29	0	#####	101	77	31	150	126	19	150	126	19	0	#####	
670,68	0	#####	72	57	26	95	87	9	95	87	9	0	#####	
674,06	0	#####	50	39	28	57	54	5	56	54	3	0	#####	
677,45	0	#####	39	32	22	45	43	6	46	43	8	0	#####	
680,84	0	#####	46	39	18	60	54	10	63	54	16	0	#####	
684,22	0	#####	73	57	28	103	87	18	109	87	25	0	#####	
687,61	0	#####	100	77	29	154	126	22	155	126	23	0	#####	
Ehmp	#####	0	69	54	27	95	82	15	96	82	17	#####	0	#####
Up			0,57	0,59	-4	0,47	0,52	-8	0,48	0,52	-8			
20,32														
					Ehm	87	73	19						
					Uo	0,45	0,44	3						

Katselusuunta tunneliin
Tampere



Kouvola