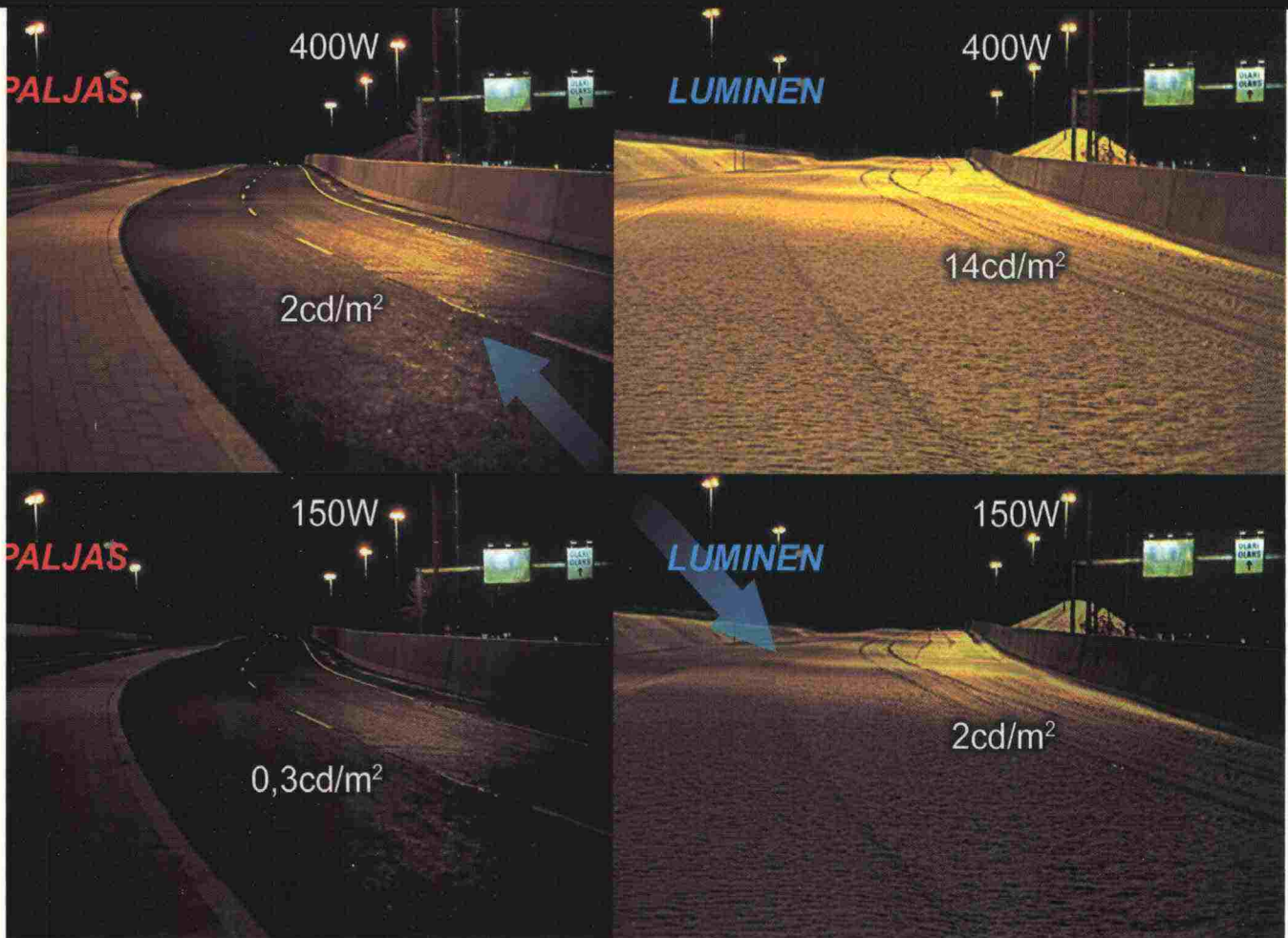


Tievalaistuksen vähentämisen vaikutus onnettomuuksiin

Tiehallinnon selvityksiä 63/2003



Pentti Hautala

Tievalaistuksen vähentämisen vaikutus onnettomuuksiin

Tiehallinnon selvityksiä 63/2003

Kannen kuva: Suomalainen Insinööritoimisto Oy

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-212-2
TIEH 3200855

Verkkajulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-213-0
TIEH 3200855-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2004

Julkaisua myy/saatavana:
asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011



TIEHALLINTO
Tekniset palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 150

Asiasanat: Tievalaistus, liikenneturvallisuus, energia, säästö
Aiheluokka: 34

TIIVISTELMÄ

Tievalaistuksen ajoittaisen vähentämisen vaikutus liikenneturvallisuuteen on analysoitu tieluokittain. Selvitys osoittaa yleisesti, että valaistuksen vähentämisen aiheuttama onnettomuuskustannusten lisäys on suurempi kuin sähkön säästö, jos alkuperäinen valaistushanke on ollut kannattava.

Niillä teillä, jotka on valaistu muilla kuin liikennetaloudellisilla perusteilla, valaistus voidaan öisin sammuttaa tai himmentää yleisen turvallisuuden ja viihtyisyyden salliessa liikennemäärän alittaessa seuraavat KVL:n arvot.

	<i>Sammutus</i>	<i>Himmennys</i>
Moottoritie	5 000	4 000
Valta- ja kantatie	1 000	2 000
Muu maantie ja paikallistie	1 000	1 500
Taajamatie	700	1 000

Kun ajorata on pitkähkön ajan luminen, himmentäminen ei lisää onnettomuuksia. Sammuttaminen lisää onnettomuuksia aina.

Sähkön päivähinta on yleensä kaksinkertainen yöhintaan verrattuna. Hintieroista riippumatta, yöajan suuren onnettomuusasteen takia, ne liikennemäärät, joilla kustannukset ylittävät säästöt ovat suunnilleen samat iltaisin ja yöllä.

Tiepiireissä on vaihteleva määrä sellaisia eriluokkaisia teitä, jotka on valaistu muilla kuin liikennetaloudellisilla perusteilla. Piirikohtaisilla lähtöarvoilla ja tieosittain tarkastelemalla on löydettävissä ne kohteet, joissa valaistusta voidaan vähentää öisin ja saada välittömästi säästöjä sähkönkulutuksessa.

Taajamavalaituksiin ei tulisi kohdistaa säästötoimia.

Pitkällä aikavälillä iäkkäiden tievalaistusten saneeraus on kannattavaa.

Kalusteiden ja ohjaustapojen kehittämistä tulisi tehostaa.

ESIPUHE

Tässä selvityksessä on tarkasteltu yleisten teiden liikenneturvallisuuksilannetta tievalaistuksen kannalta ja etsitty mahdollisuuksia sähkön kulutuksen vähentämiseksi.

Selvitys on tehty Tiehallinnon/tie- ja liikennetekniikan toimeksiannosta. Työtä on valvonut Kari Lehtonen. Seija Kaasinen on tehnyt liikenteen määrä- ja turvallisuusajot.

Selvityksen on laatinut Suomalainen Insinööritoimisto Oy, josta työhön ovat osallistuneet Pentti Hautala ja Tapio Järvinen.

Helsingissä marraskuussa 2003

Tiehallinto

SISÄLTÖ

1	LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET	9
2	NYKYINEN TIEVALAISTUS	10
3	LIIKENNETURVALLISUUS	11
3.1	Valaistuksen vaikutus liikenneturvallisuuteen	11
3.2	Luminanssin ja onnettomuuksien välinen riippuvuus	11
3.3	Valaistuksen polttoaika	14
3.4	Liikenteen tuntivaihtelu	15
3.5	Onnettomuusasteet	16
4	TIEVALAISTUKSEN AJOITTAINEN VÄHENTÄMINEN	17
4.1	Vaikutus liikenneturvallisuuteen	17
4.1.1	Paljas ajorata	17
4.1.2	Luminen ajorata	17
4.2	Sähkönkulutus	18
4.3	Johtopäätökset laskelmista	19
4.3.1	Moottoritie	19
4.3.2	Valta- ja kantatie	19
4.3.3	Muu maantie ja paikallistie	28
4.3.4	Taajamatie	28
4.4	Ohjaustavat	28
4.4.1	Kaksitehokuristin	29
4.4.2	Säätömuuntaja	29
4.4.3	Muut laitteet	29
5	VALAISTUSTYYPIT	30
5.1	Yleistä	30
5.2	Tasoliittymä	30
5.3	Kiertoliittymä	30
5.4	Tielinja	31
6	SANEERAUS	32
6.1	Yleistä	32
6.2	Suunnitelmien tarkistus	33
7	LÄHDELUETTELO	34
8	LIITTEET	35

1 LÄHTÖKOHDAT JA TAVOITTEET

Valaistuja yleisiä teitä on 10 500 km. Näiden käyttö ja kunnossapito maksaa vuosittain noin 70 milj.mk, josta energiakustannusten osuus on 40 milj.mk.

Edellisten lisäksi yleisillä teillä on valaistuja osuuksia, joista kunnat maksavat käytön ja kunnossapidon. Näiden kustannukset ovat samat kuin edellä, 70 milj.mk ja 40 milj.mk.

Muiden tienpitotoimien tapaan vähentyneet määrärahat koskevat myös tievalaistuksen rakentamista ja kunnossapitoa.

Tämän selvityksen tavoitteena on löytää sellaisia käyttö- ja ohjaustapoja sekä suunnittelu- ja asennusperiaatteita, joilla tievalaistuksen sähkönkulutusta voidaan pienentää ja parantaa hyötykustannussuhdetta. Säästötavoitteesta huolimatta liikenneturvallisuus ei saa huonontua.

2 NYKYINEN TIEVALAISTUS

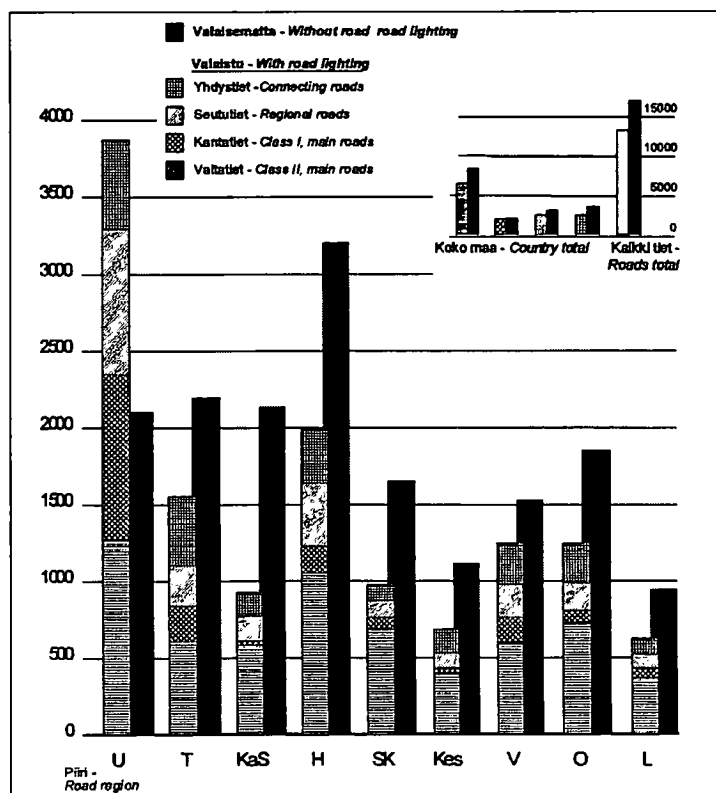
Yleisten teiden valaistustilanne oli 1.1.2000 seuraavan asetelman mukainen.

Toiminnallinen luokka	Pituus km	Osuus tieluokan pituudesta %	Osuus kokonaissuoritteesta %
- valtatiät	2241	26,1	22,4
- kantatiet	740	15,8	7,8
- seututiet	2144	16,0	9,5
- yhdystiet	5379	10,5	9,7
Yhteensä	10504	13,5	44,8

Yleisten teiden kokonaispituudesta valaistuja osuuksia on 13,5 %, mutta nämä tieosat hoitavat noin 45 % liikenteen kokonaissuoritteesta. Luvuista voidaan päätellä, että valtateiden valaistus perustuu liikennetaloudelliseen kannattavuuteen ja suurehkoihin liikennemääriin. Alemmissa toiminnallisissa luokissa valaistuksen perusteina ovat pääasiassa liikenneympäristön ja tien ominaisuudet, ajomukavuus, viihtyisyys ja yleinen turvallisuus.

Kuvassa 1 on liikennesuorite ja valaistus [1].

Hankekohtaisissa tarkasteluissa tulee käyttää tiepiirin sisäisiä rekisteri- ja kustannustietoja.



Kuva 1. Liikennesuorite valaistuilla ja valaisemattomilla tieosuuksilla toiminnallisissa tieluokissa tiepiireittäin ja koko maassa, yleiset tiet 1.1.2000, KVL 1999, milj. autokm/vuosi.

3 LIIKENNETURVALLISUUS

3.1 Valaistuksen vaikutus liikenneturvallisuuteen

Tievalaistus on ennaltaehkäisevä liikenneturvallisuutta parantava toimenpide. Sen merkittävimmät vaikutukset ovat pimeän ajan onnettomuuksien väheneminen.

Uusin tievalaistuksen ja liikenneturvallisuuden välistä riippuvuutta koskeva tutkimus on norjalaisen Transportökonomisk Institutin meta-analyysi vuodelta 1995 [2]. Sen mukaan tievalaistus vähentää pimeän ajan onnettomuuksia seuraavasti:

- kuolemaan johtaneet onnettomuudet 65 %
- loukkaantumiseen johtaneet onnettomuudet 30 %
- vain ajoneuvovahinkoihin johtaneet onnettomuudet 15 %

Tiehallinnon tulkinnan mukaan tievalaistus lievittää eniten vakavia onnettomuuksia, mutta vaikutus alenee tien standardin noustessa.

Tässä selvityksessä käytetään tievalaistuksen käsikirjassa vuodelta 1991 [3] esitettyjä henkilövahinkoihin johtaneiden onnettomuuksien vähenemäarvoja seuraavasti.

- moottoritie ja moottoriliikennetie 20 %
- muut autoliikennetiet 25 %
- sekaliikennetiet 30 %

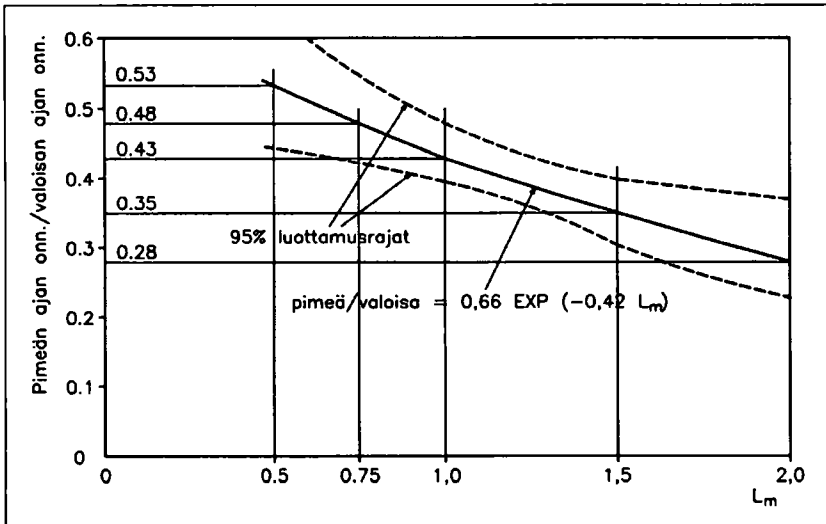
Näin menetellen kotimainen sovellus on norjalaisiin tuloksiin nähden varovainen ja taatusti varmallalla puolella.

3.2 Luminanssin ja onnettomuuksien välinen riippuvuus

Valaistustason ja liikenneturvallisuuden välistä riippuvuutta on tutkittu varsin vähän. Luotettavien ja tilastollisesti merkittävien tulosten aikaansaaminen edellyttää pitkäaikaisia ennen-jälkeen tutkimuksia.

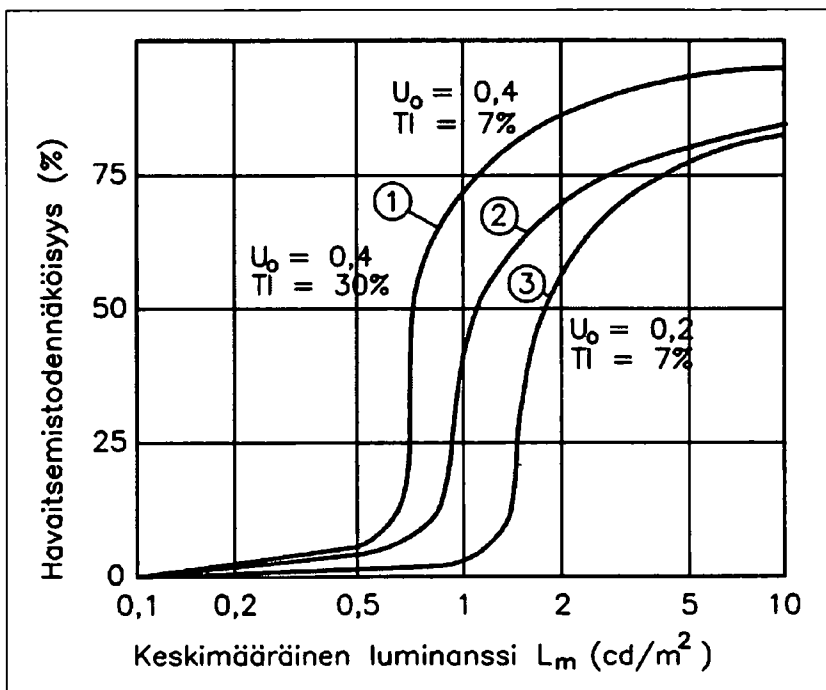
Edustavimman tutkimuksen [4] mukaan keskimääräisen luminanssin alueella 0,5-2,0 cd/m² luminanssin lisäys 1 cd/m² pienentää 35 % pimeän ja valoisan ajan onnettomuuksien suhdetta, kuva 2a. Tämän selvityksen kuluessa on todettu suomalaisten liikenneturvallisuusanalyysien tukevan käyrän muotoa.

Kuvasta 2a voidaan päätellä liikenneturvallisuuden edelleen parantuvan valon määrän lisääntyessä. Näin tietenkin tapahtuu ja lopulta tullaan päivänvalotilanteeseen. Luminanssia ei kuitenkaan kustannussyistä kannata lisätä yli 2 cd/m^2 - tason.



Kuva 2a. Keskimääräisen luminanssin sekä pimeän ja valoisan ajan onnettomuuksien suhteen välinen riippuvuus.

Kuvasta 2b, käyrä 1, nähdään tavanomaisen yleistasaisuusvaatimuksen täyttävässä tievalaistuksessa havaitsemistodennäköisyyden lisääntyvän jyrkästi keskimääräisen luminanssin kasvaessa arvosta $0,7 \text{ cd/m}^2$ arvoon $2,0 \text{ cd/m}^2$. Tämän yli menevällä osuudella näkösuorituskyky paranee hitaasti ja aiheuttaa nopeasti kasvavan valomäärän takia suuria energiakustannuksia.



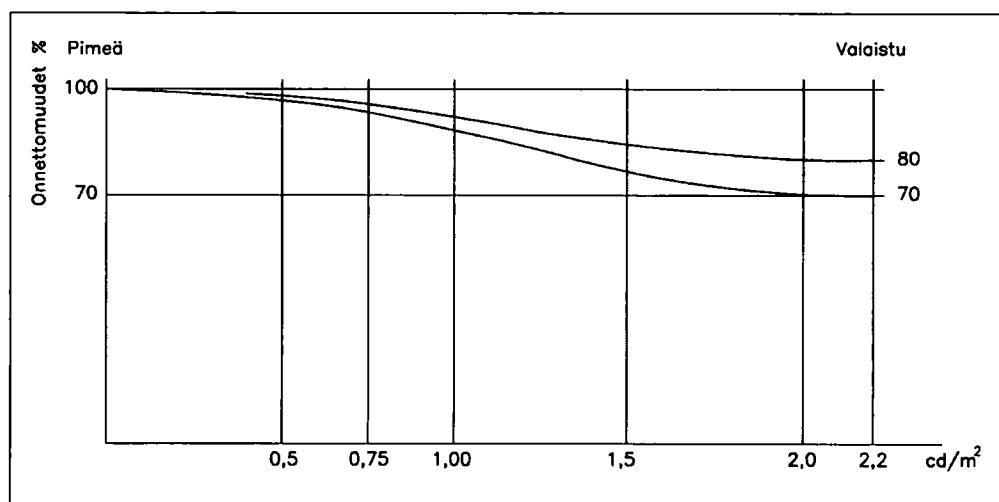
Kuva 2b. Ajoradan pimeimmässä kohdassa olevan esteen havaitsemistodennäköisyys keskimääräisen luminanssin funktiona erilaisilla yleistasaisuuden (U_o) ja kynnykskontrastin kasvun (TI) arvoilla.

Lumisella, valaistulla tiellä kesäajan luminanssi (1-1,5 cd/m²) nousee arvoon 4 -10 cd/m², millä alueella himmennuksen liikenneturvallisuutta huonontava vaikutus on vähäistä.

Valaistuksen vähentäminen on tehtävä siten, että yleistasaisuus täyttää valaistusluokan edellyttämät vaatimukset. Jos tasaisuuden sallitaan huonontuvan, esim. sammuttamalla yksirivisessä valaistustyyppissä joka toinen lamppu, siirrytään pahimmassa tapauksessa käyrälle 3. Jos halutaan sama havaitsemistodennäköisyys, vaatimaton tasaisuus on kompensoitava 3-5 -kertaisella luminanssilla. Edellä olevan perusteella lumisissakaan oloissa valaistusta ei pitäisi vähentää, jos alkuperäinen keskimääräinen luminanssi $L_m < 1,0$ cd/m² tai yleistasaisuus $U_o < 0,4$.

Kuva 2b perustuu laskemalla [5] saatuihin tuloksiin, jotka on tarkistettu ulkovalaistuslaboratoriossa luonnollisessa koossa olevalla tiellä. Menetelmä pohjautuu pienten kohteiden (20 cm x 20 cm) sijoittamiseen standardoiduissa kontrastitilanteissa ajoradan pimeimpiin kohtiin ja näiden havaitsemiseen 100 m etäisyydeltä. Tämä etäisyys ja neljän minuutin havaintokulma on kuljettajan kannalta kriittinen tilanne.

Kuvien 2a ja b tietojen sekä kohdassa 3.1 mainittujen eri toiminnallisten luokkien onnettomuuksien vähenemäarvojen perusteella on kehitetty kuva 3. Se osoittaa tässä selvityksessä käytetyn keskimääräisen luminanssin ja onnettomuuksien välisen riippuvuuden. Riippuvuus on luotettava korkeahkoilla luminanssien arvoilla, esimerkiksi vähentämistapauksissa 2,0 - 1,0 cd/m² ja 1,5 - 0,75 cd/m². Alhaisilla luminanssiarvoilla 1,0 - 0,5 cd/m² käyrä antaa liian pienen vaikutuksen.

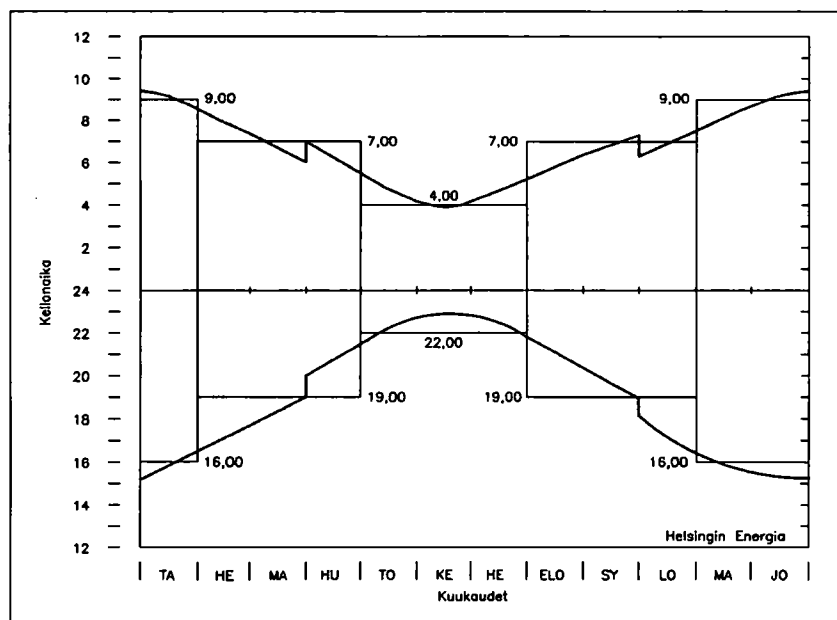


Kuva 3. Keskimääräinen luminanssi ja onnettomuusasteet verrattuna pimeään tien onnettomuusasteeseen. Arvo 2,2 cd/m² on CIE:n tutkimuksen mukainen luminanssi, joka vähentää pimeän ajan onnettomuuksia 30 % sekaliikennetiellä 20 % moottoritiellä. Käyrien väliarvot on interpoloitu kuvan 2a avulla.

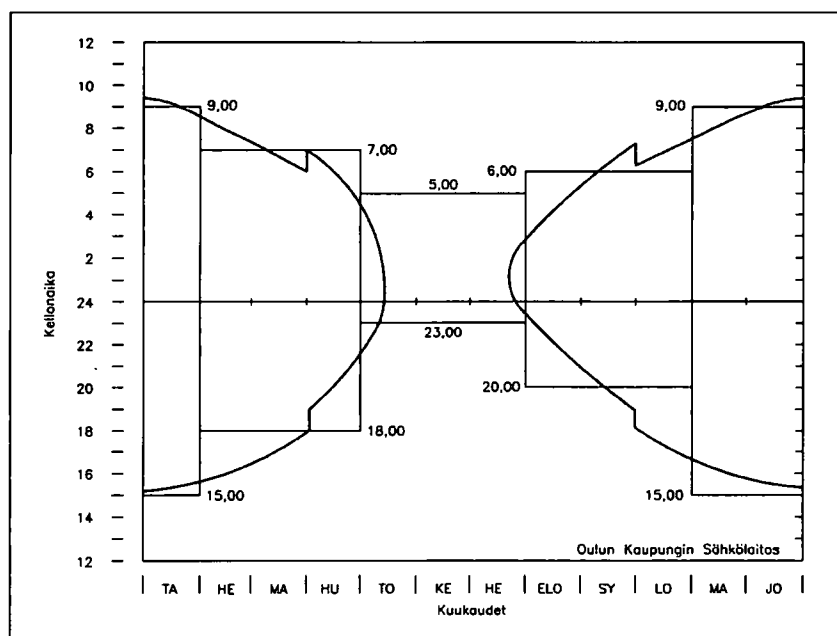
3.3 Valaistuksen polttoaika

Yleisten teiden valaistuksen polttoaikojen määrittelyssä on käytetty Helsingin ja Oulun tilastoja, kuvat 4 ja 5. Näistä on otettu kunkin kuukauden keskimääräinen polttoaika, joka on edelleen lähtökohtana onnettomuusasteen määrittelyssä.

Kuviin 4 ja 5 lisätyillä suorakaiteilla, laskemisen yksinkertaistamiseksi, vuosi on jaettu neljään ajanjaksoon, joilla kullakin on sama polttoaika kuukausittain.



Kuva 4. Valaistuksen polttoaika, Etelä-Suomi.

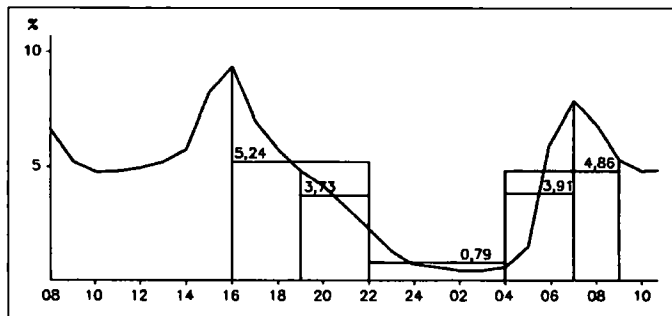


Kuva 5. Valaistuksen polttoaika, Pohjois-Suomi.

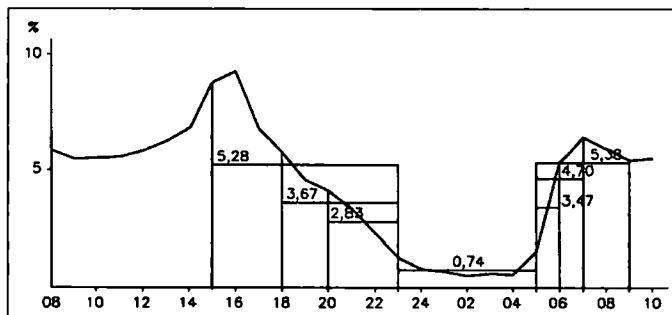
3.4 Liikenteen tuntivaihtelu

Laskelmissa on käytetty vuonna 1989 määriteltyjä tuntijakautuman arvoja. Kuvissa 6 ja 7 ovat valta- ja kantatiet Etelä- ja Pohjois-Suomessa sekä vastavasti muut maantiet kuvissa 8 ja 9.

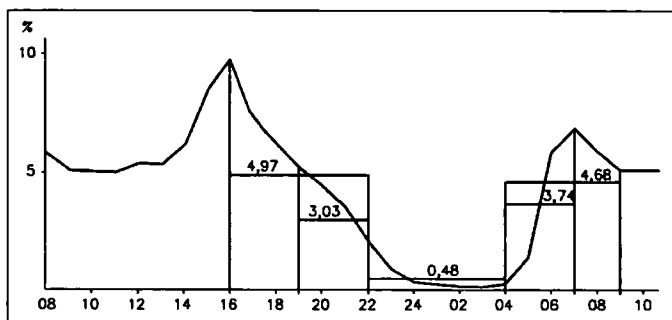
Kuviin on laskettu kohdassa 3.3 mainittujen ajanjaksojen tuntiliikenteen osuus keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä (KVL).



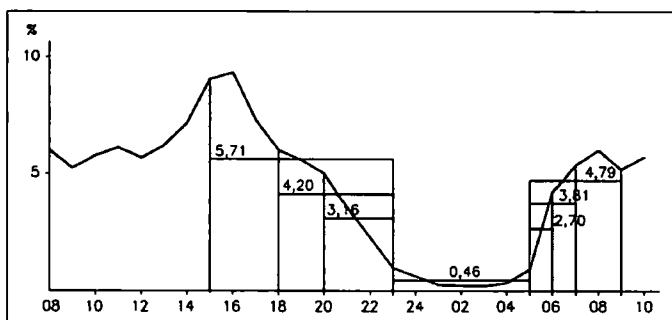
Kuva 6. VALTA- JA KANTATIET, Etelä-Suomi. Liikenteen tuntivaihtelu.



Kuva 7. VALTA- JA KANTATIET, Pohjois-Suomi. Liikenteen tuntivaihtelu.



Kuva 8. MUUT MAANTIET, Etelä-Suomi. Liikenteen tuntivaihtelu.



Kuva 9. MUUT MAANTIET, Pohjois-Suomi. Liikenteen tuntivaihtelu.

3.5 Onnettomuusasteet

Henkilövahinko-onnettomuusasteet on määritelty tarkkailevan liikennelaskennan tulosten ja onnettomuusrekisterin avulla.

Liikennesuorite on laskettu lähtien vuoden keskimääräisestä vuorokausiliikenteestä (KVL), korjaamalla sitä kausivaihtelukertoimella ja laskemalla kunkin kuukauden pimeän ajan (kellonaikojen mukaan määritetty valaistuksen poltto-aika) liikennemäärä tuntijakautuma-arvoilla.

Ylimmissä tieluokissa on ollut öitä ilman onnettomuuksia. Riski on kuitenkin hyvin korkea. Riski joutua liikenneonnettomuuteen aamuyöllä on 8-10 kertaa niin suuri kuin aamupäivällä ajettaessa. Analyysin tuloksista havaitaan jo yhden onnettomuuden nostavan onnettomuusasteen 2,5 - 4 -kertaiseksi.

Onnettomuusasteet vaihtelevat alueittain. Tiekohtaisista tarkasteluja tehtäessä tulisi käyttää tiepiirin rekistereistä laskettuja perusteita. Esimerkiksi Hämeen tiepiirin valaistujen moottoriteiden onnettomuusasteen keskiarvo on 7,4. Kun tätä verrataan koko maan valaisemattomien moottoriteiden keskiarvoon 11, saadaan valaistuksen tuottamaksi pimeän ajan onnettomuuksien vähenemäksi 33 %. Tämä täsmää kansainvälisten tutkimustulosten kanssa.

Taulukko 1. Henkilövahinko-onnettomuusasteet.

Valaistujen teiden henkilövahinko-onnettomuusaste, on laskettu onnettomuuksien kolmen vuoden (1992-1994) keskiarvolla. Rampeilla tapahtuneita onnettomuuksia ei ole otettu huomioon. Analyysin tuloksista on johdettu kustannustarkasteluja varten seuraavat HVJ-onnettomuusasteet (onn/10⁸ ajon.km) tietyyypeittäin ja eri ajanjaksoina. Yöajan ja taajaman arvot ovat koko maan keskiarvoja.

Tie	Vuorokaudenaika	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi
Moottoritie Moottoriliikennet	yö	20	20
	ilta ja aamu/kevät ja syksy	10	8
	ilta ja aamu/talvi	7	5
Valtatie Kantatie	yö	40	40
	ilta ja aamu/kevät ja syksy	18	15
	ilta ja aamu/talvi	17	14
Muu maantie Paikallistie	yö	65	65
	ilta ja aamu/kevät ja syksy	25	21
	ilta ja aamu/talvi	23	14
Taajamatie (mt, pt)	yö	80	80
	ilta ja aamu/kevät ja talvi	15	15
	ilta ja aamu/syksy	25	25

4 TIEVALAISTUKSEN AJOITTAINEN VÄHENTÄMINEN

4.1 Vaikutus liikenneturvallisuuteen

4.1.1 Paljas ajorata

Vähentämisen vaikutusta pimeään ajan onnettomuuksiin on tarkasteltu kahdessa tilanteessa. Valaistus sammutetaan kokonaan tai keskimääräinen luminanssi vähennetään puoleen. Jälkimmäinen merkitsee sähkönkulutuksen pienenemistä 40 %.

Henkilövahinko-onnettomuuksia koskevissa kustannuslaskelmissa oletetaan alkuperäisten pimeään ajan haittojen palaavan kokonaan tai osittain. Prosentuaalinen osuus on lähtötilannetta suurempi, koska muutosta verrataan täyden valaistuksen tuottamiin säästöihin. Lukuarvot on laskettu kuvan 3 käyristä.

Esimerkiksi liite 1/1 kuvaa etelä-suomalaisen moottoritien valaistuksen sammuttamista tai vähentämistä. Laskennan kulku on seuraava:

- otetaan henkilövahinko-onnettomuusaste taulukosta 1 (kesä, yö hvj = 20)
- oletetaan KVL:n arvoksi 1000 ajon/d
- kuvien 6-9 tuntijakautuman arvoilla lasketaan kunkin aikajakson liikennemäärä ajon/h ($0,79/100 \text{ d/h} \times 1000 \text{ ajon/d} = 8 \text{ ajon/h}$)
- kertomalla onnettomuusaste liikennemäärällä saadaan onnettomuuksien lukumäärä kilometriä kohti tunnissa ($20 \text{ hvj}/10^8 \text{ ajon km} \times 8 \text{ ajon/h} = 0,0000016 \text{ hvj/h}$)

Laskenta-aineistosta on kaksi esimerkkiä liitteissä 1 / ja 2.

Sammutuksen aiheuttama liikenneonnettomuuskustannusten lisäys saadaan kertomalla onnettomuuksien määrä henkilövahinko-onnettomuuden keskimääräisellä hinnalla ja kuvan 3 onnettomuussuhteella.

Onnettomuuskustannukset (mk/kmxh) on laskettu käyttämällä henkilövahinko-onnettomuuden hintana 1 milj.mk julkaisun "Tieliikenteen ajokustannukset" mukaan.

4.1.2 Luminen ajorata

Kun ajorata peittyy lumella, sen heijastusominaisuudet ovat ihanteelliset ja luminanssi nousee moninkertaiseksi. Kansikuvan yläosan esimerkissä paljaan ajoradan keskimääräinen luminanssi on 2 cd/m^2 ja puhtaan lumipinnan 14 cd/m^2 . Oletetaan tämän ilmiön toteutuvan aina. Jos kuivan ja paljaan ajoradan luminanssi on vähintään $0,6 \text{ cd/m}^2$, lumisen ajoradan arvo himmettynäkin on yli $2,2 \text{ cd/m}^2$. Tällöin ollaan kuvien 2 b ja 3 mukaan sellaisella alueella, missä havaitsemistodennäköisyys on lähes vakio. Tästä voidaan päätellä, ettei luminanssin väheneminen lisää onnettomuuksia. Näin ollen lumisen ajoradan tapauksessa himmentäminen voidaan aina tehdä.

Jos tievalaistus sammutetaan, ajoneuvon valojen ja lumisen ympäristön tuottama epäsuora valaistus synnyttää jossain määrin valottuneen tilanteen. Tällaista tapausta ei ole tutkittu mutta voidaan arvioida, että onnettomuudet lisääntyvät 65% paljaan ajoradan valaistuksen sammuttamisarvoista.

Moottoritien liikennemäärä on yleensä niin suuri, että tien pinta on paljas. Alempiluokkaisilla teillä voi olla lumenpeite niin pitkän ajan, että se voidaan ottaa huomioon valaistuksen vähentämisessä.

4.2 Sähkönkulutus

Sähkönkulutusta laskettaessa on käytetty seuraavia täyden valaistuksen tehontarvearvoja

- 20 kW vanhahko moottoritievalaistus, jossa lyhyt pylväsväli ja suuret lamput, valaistusluokka A1
- 10 kW tehokas moottoritievalaistus, jossa pitkä pylväsväli ja valotehokkaat lamput, valaistusluokka A2 ja A3
- 5kW yksiajorataisen tien valaistus, jossa pitkä pylväsväli ja suuret lamput, valaistusluokka A4
- 4 kW yksiajorataisen tien valaistus, jossa lyhyt pylväsväli ja pienet lamput
- 3 kW yksiajorataisen tien valaistus, jossa pitkä pylväsväli ja pienet lamput

Sähkön hintana on käytetty 0,20 - 1,00 mk/kWh. Taulukoita voidaan käyttää myös tarkasteltaessa valaistuksen ajoittaista vähentämistä ottaen huomioon päivä- ja yöenergian hinnat. Laskelmat on tehtävä hankekohtaisesti, koska hinnat vaihtelevat sähkölaitoksittain. Päiväenergiamaksu (esim. Etelä-Suomessa klo 7 - 23) on noin 15 % korkeampi kuin yleistariffin mukainen hinta. Yöenergiamaksu on vastaavasti noin 35 % päivähinnasta. Yönaikaisen sähkön kulutuksen väheneminen voi johtaa koko vuorokauden sähkönkulutuksen aiheuttamien kustannusten nousuun.

Liitteessä 1 esitetyissä sammuttamislaskelmissa on verrattu onnettomuuskustannusten lisäystä ja pelkän sähkönkulutuksen vähenemistä. Valaistuksen vähentämistä koskevissa kuvissa katkoviivat osoittavat sähkön säästöä, kun ohjauksen (kallein ratkaisu) kustannukset on otettu huomioon. Ohjaustapoja on tarkasteltu kohdassa 4.4.

Kustakin tietypistä on tässä esitetty ne tapaukset, joissa on pienin onnettomuuskustannusten lisäys. Sammutustapauksessa tievalaistuksen kokonaisteho on kerrottu energian yksikköhinnalla. Tapauksessa luminanssin vähentäminen puoleen (1,5 - 0,75 cd/m⁵) energian kulutus pienenee 40 % eli säästöä syntyy 40 % sammutuksen arvosta.

4.3 Johtopäätökset laskelmista

4.3.1 Moottoritie

Kuvissa 10-13 ovat moottoritien valaistustilanteet. Moottoritien valaistuksen rakentaminen on kannattavaa, kun KVL > 18 000 ajon/d.

Kuvasta 10 voidaan tarkastella esimerkiksi etelä-suomalaista moottoritietä, jonka tehontarve on 20 kW ja sähkön hinta 0,40 mk/kWh. Jos valaistus sammutetaan öisin, sähkösäästö ja onnettomuuskustannusten lisäys ovat yhtä suuret, kun KVL on 20 000 ajon/d. Tällainen kohde tulisi saneerata sähkönkulutuksen pienentämiseksi. Jos tehontarve on 10 kW, liikennemääräraja on noin 10 000 ajon./d. Edelleen, iltaisin tai aamuisin syksystä kevääseen, säästöt ja menot ovat yhtäsuuret KVL:n ollessa noin 5000 ajon./d, kun otetaan huomioon sähkön päivä- ja yöhinnat.

Pohjois-Suomessa moottoritievalaistuksen sammuttaminen, kuva 11, aiheuttaisi varsin pienillä liikennemäärillä sähkön säästöä suuremmat onnettomuuskustannusten lisäykset.

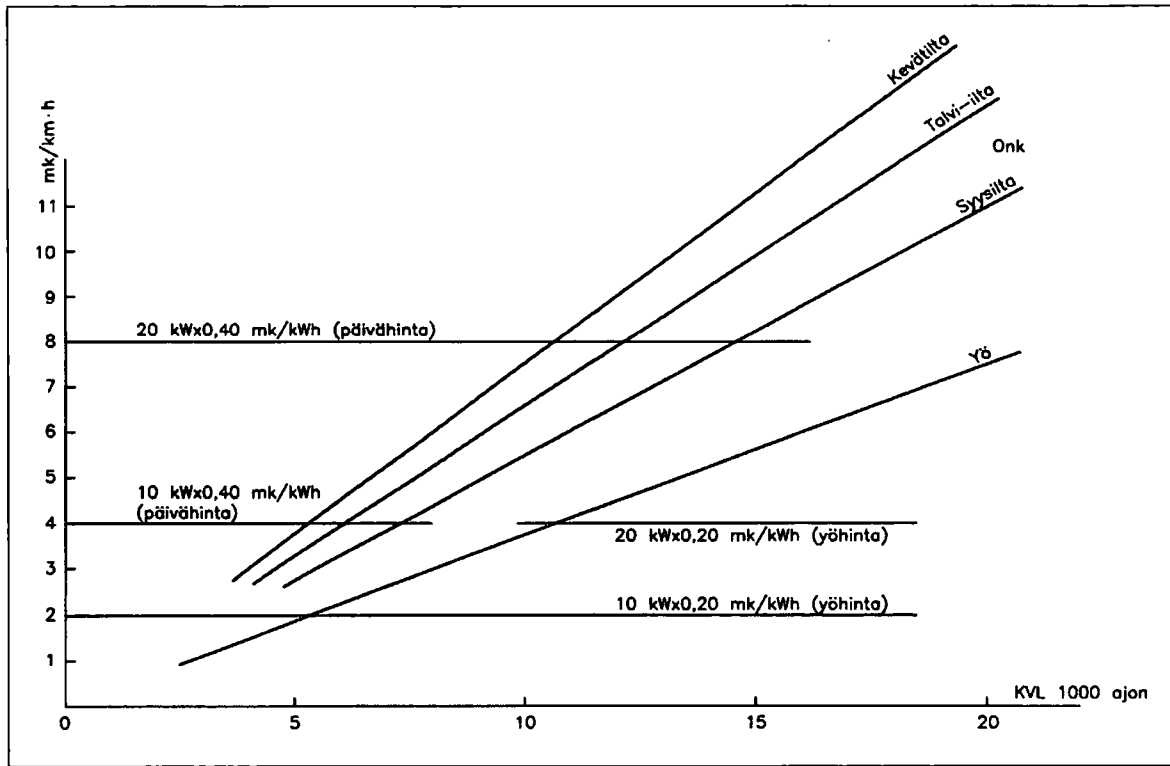
Kuvien 12 ja 13 mukaan valaistustason vähentäminen puoleen öisin tuottaa yhtä suuret säästöt ja menot, kun KVL on noin 8 000 ajon./d, tehontarve on 10 kW ja sähkön hinta 0,40 mk /kWh. Yöhinnalla raja on noin 4000 ajon/d.

Moottoritieillä ei esiinny lumipintaa niin kauan, että se kannattaisi ottaa huomioon.

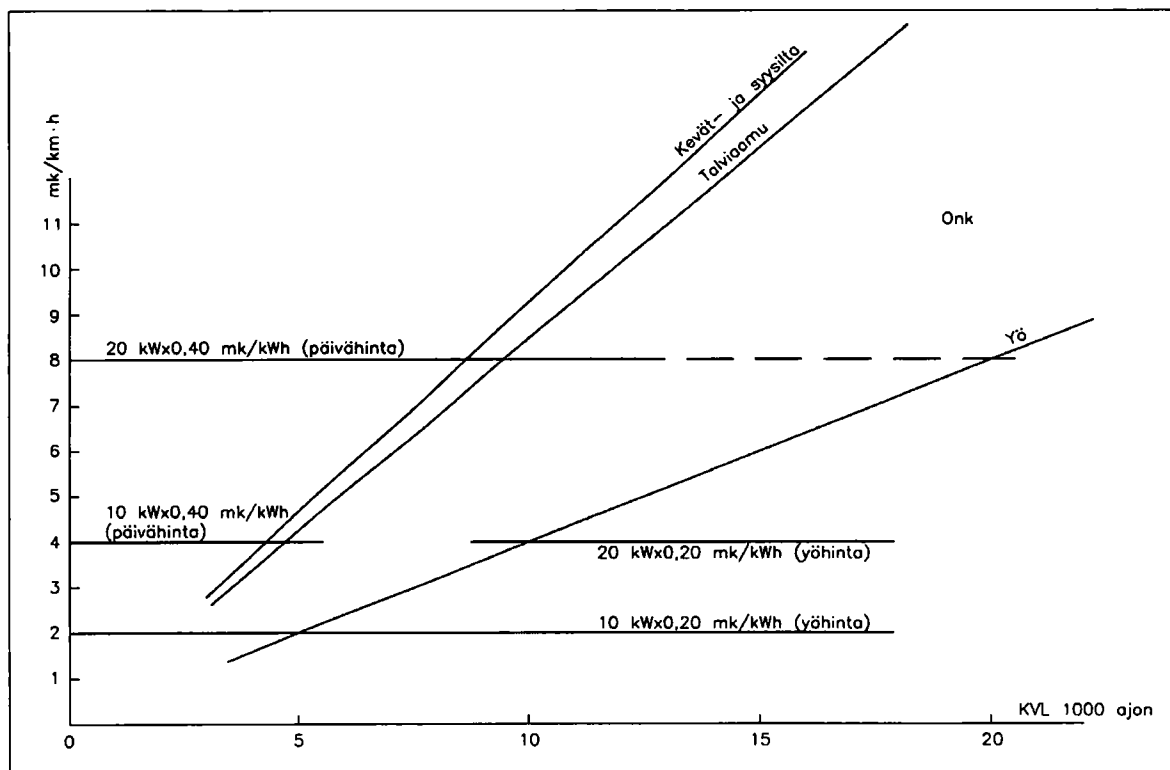
4.3.2 Valta- ja kantatie

Kuvissa 14-17 ovat valtatievalaistustilanteet. Valtatievalaistuksen kannattavuusraja vaihtelee 4000 - 8000 ajon./d liikenteen erottelun ja liittymätiheyden mukaan. Tiepiirit ovat yleensä rakentaneet valaistuksen, kun liikennemäärä on ollut vähintään 6000 ajon/d.

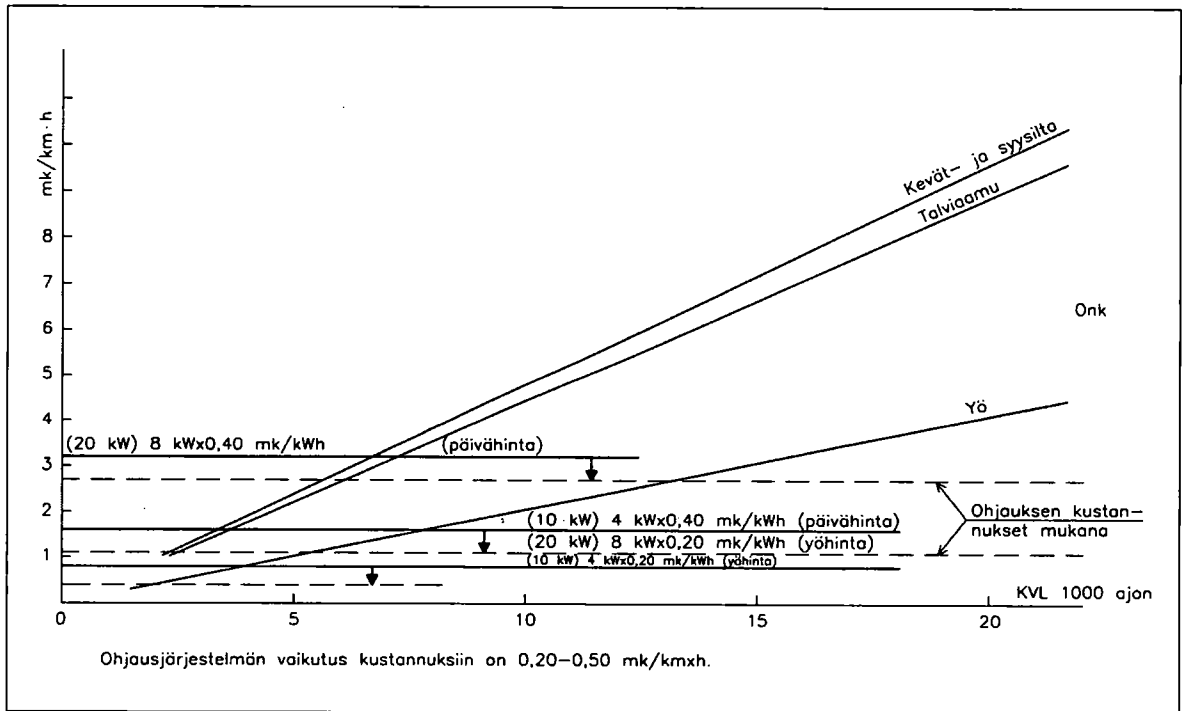
Tällaisten valaistusten sammuttamista tai vähentämistä harkittaessa on otettava huomioon, että säästöt ja menot ovat yhtä suuret varsin pienillä liikennemäärillä (1000-4000 ajon./d).



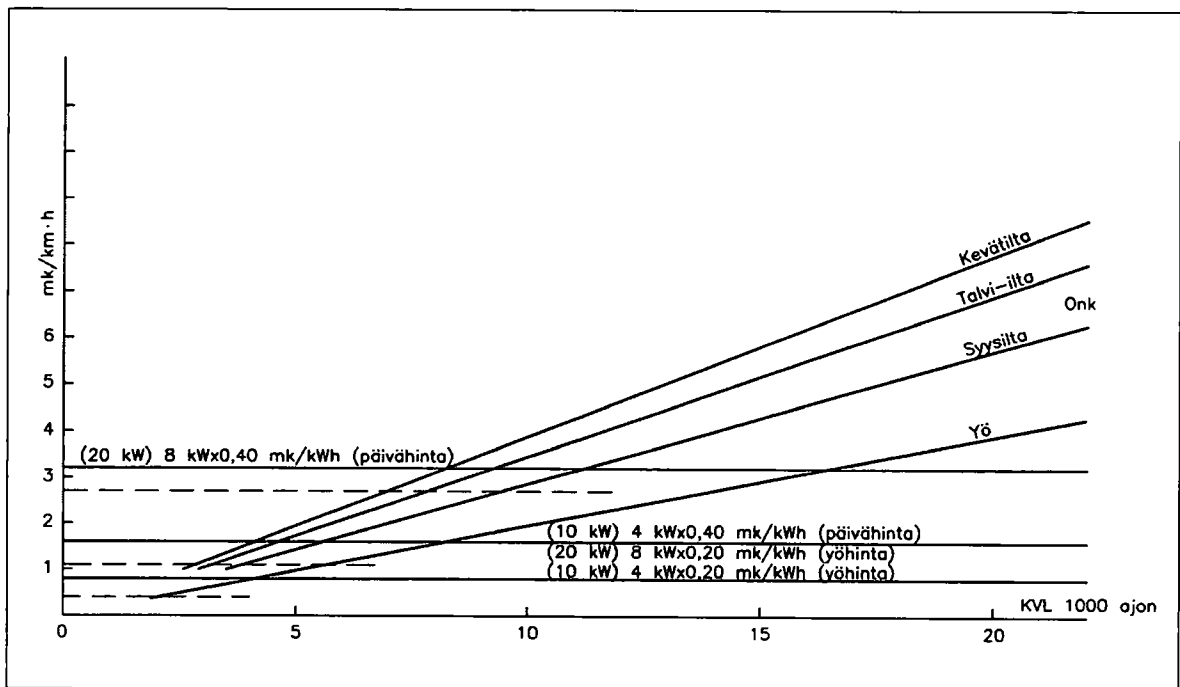
Kuva 10. MOOTTORITIE, Etelä-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi $1,5 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 25 %.



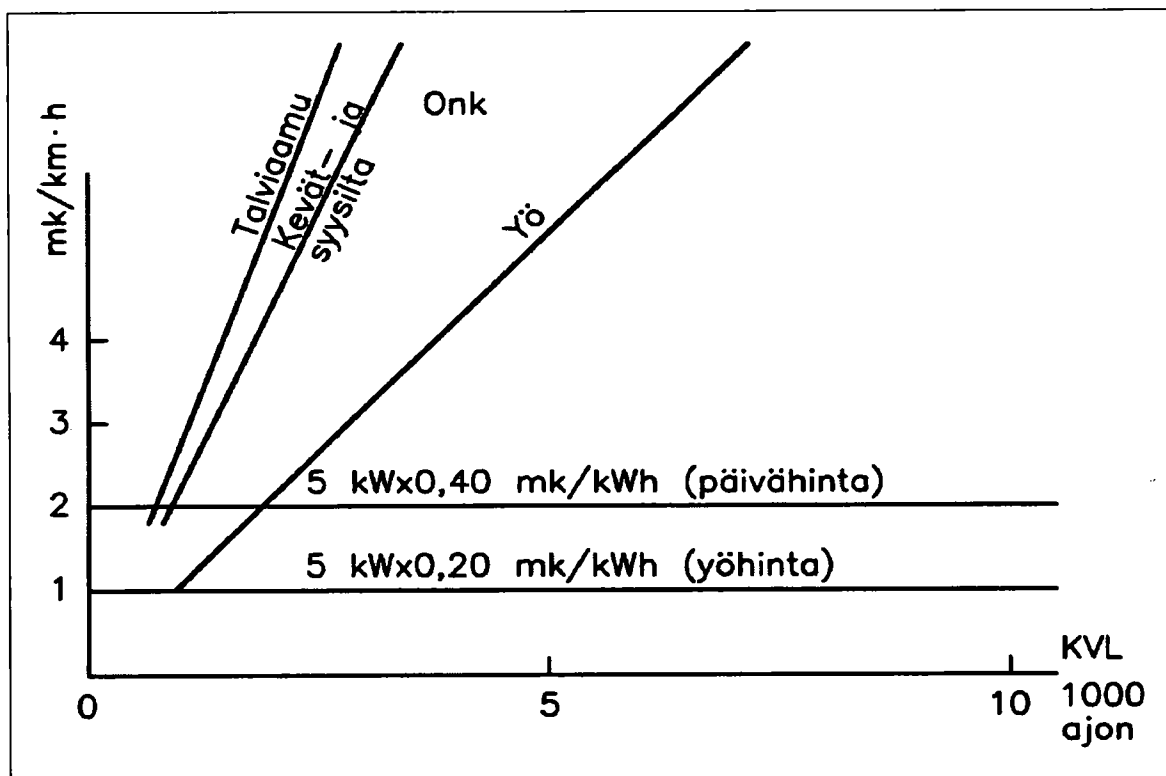
Kuva 11. MOOTTORITIE, Pohjois-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi $1,5 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 25 %.



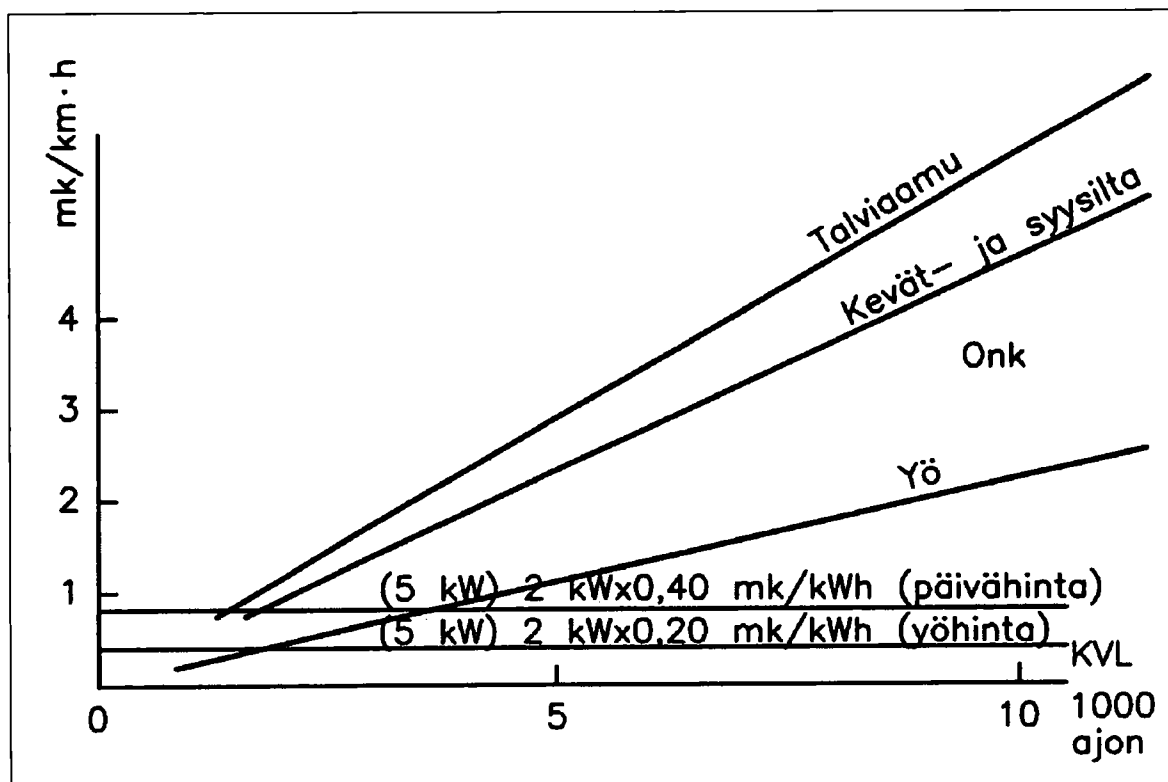
Kuva 12. MOOTTORITIE, Etelä-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,5 \rightarrow 0,75 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 13 %.



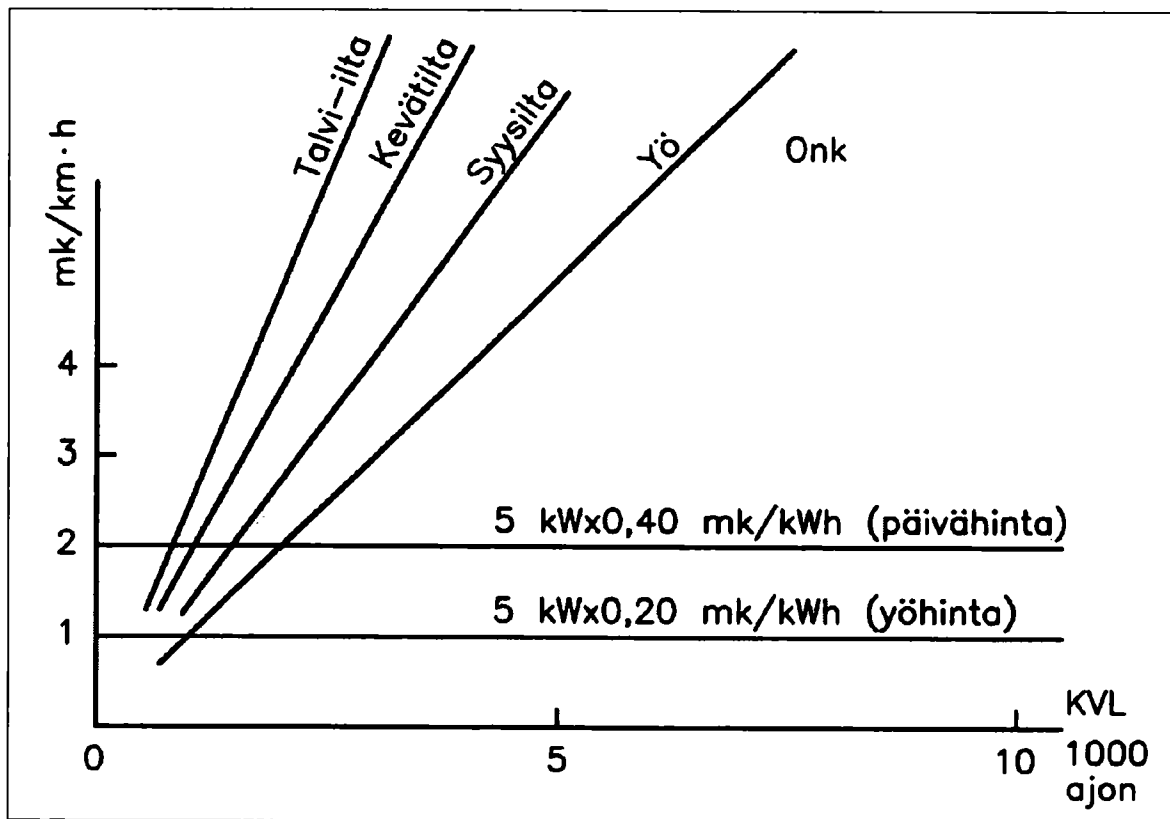
Kuva 13. MOOTTORITIE, Pohjois-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,5 \rightarrow 0,75 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 13 %.



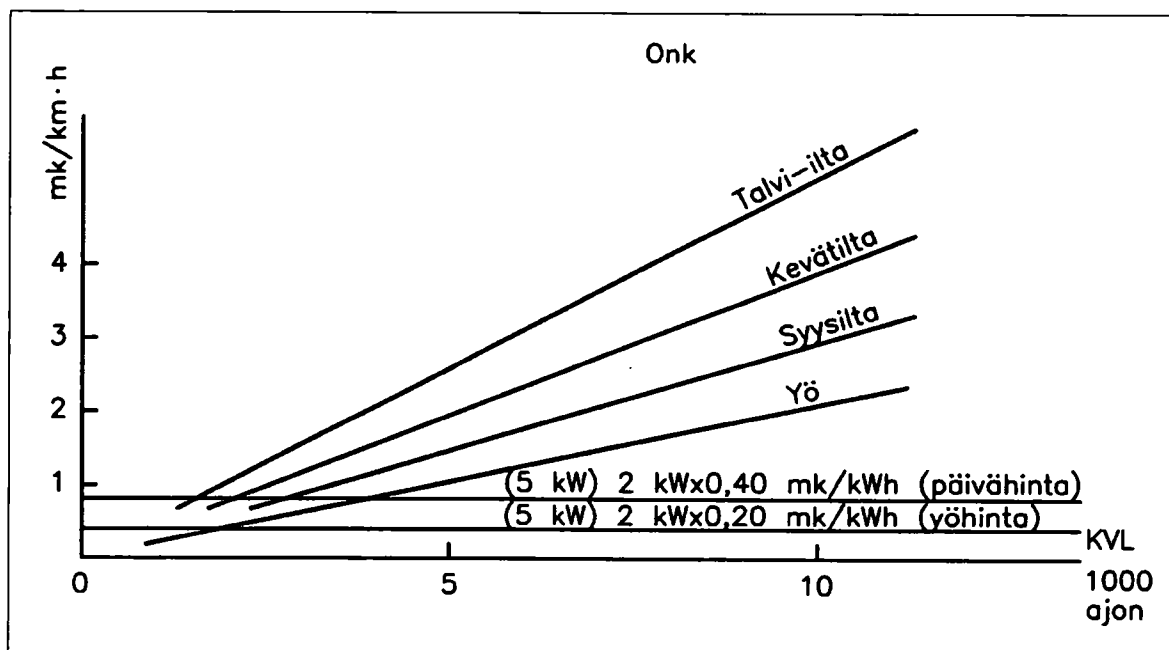
Kuva 14. VALTA- JA KANTATIE, Etelä-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5$ cd/m^2 . Onnettomuuksien lisäys 33 %.



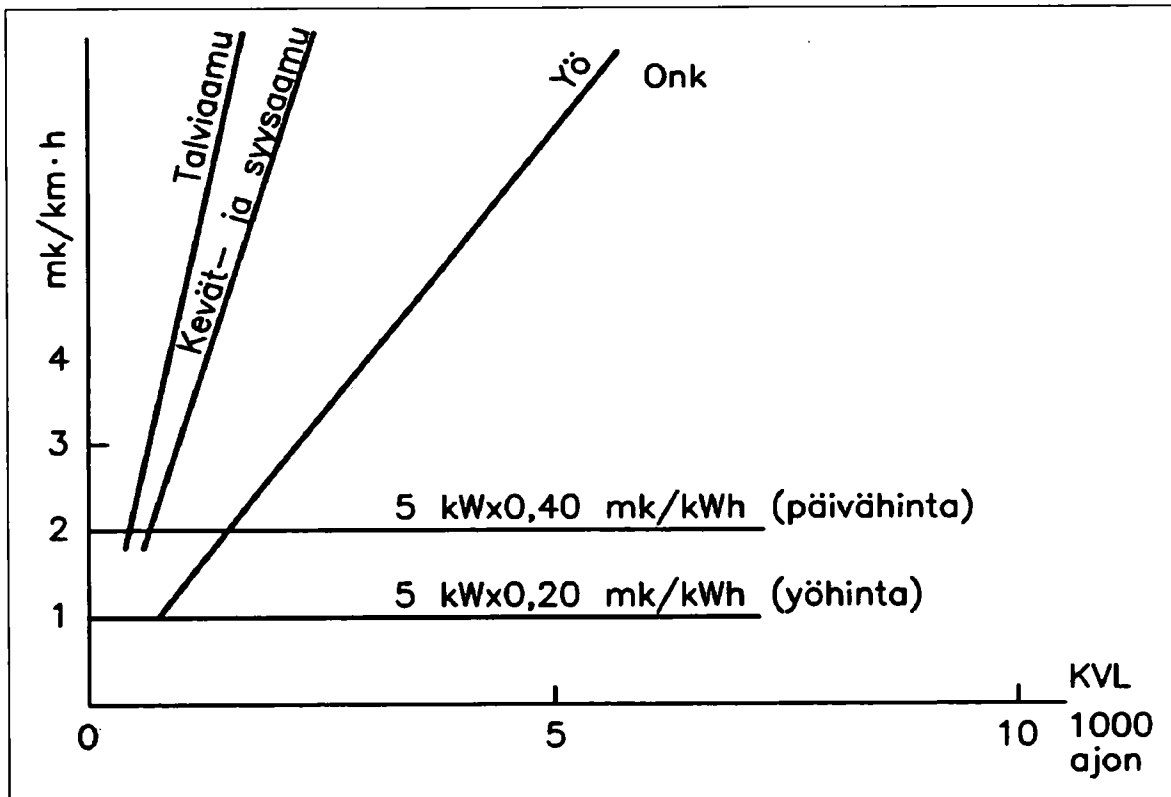
Kuva 15. VALTA- JA KANTATIE, Etelä-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5$ cd/m^2 ($5 \rightarrow 2,5$ cd/m^2). Onnettomuuksien lisäys 7% (0%). Suluissa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.



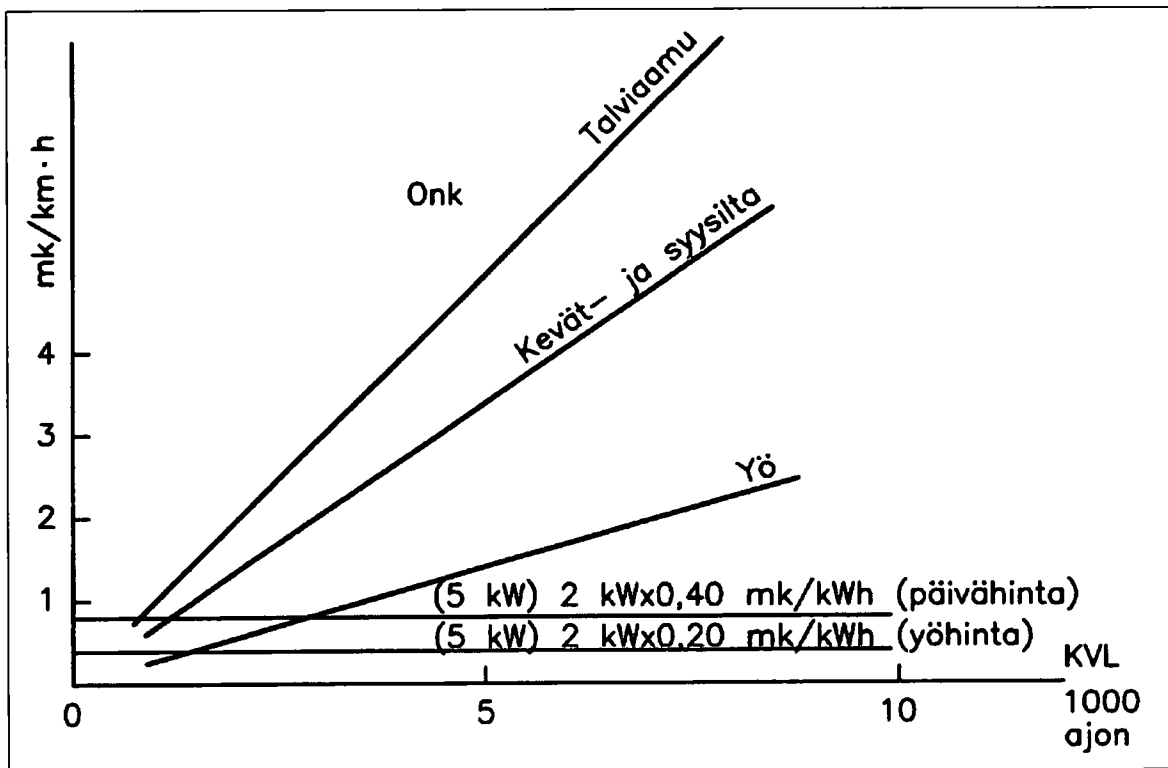
Kuva 16. VALTA- JA KANTATIE, Pohjois-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi $1,0 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 33%.



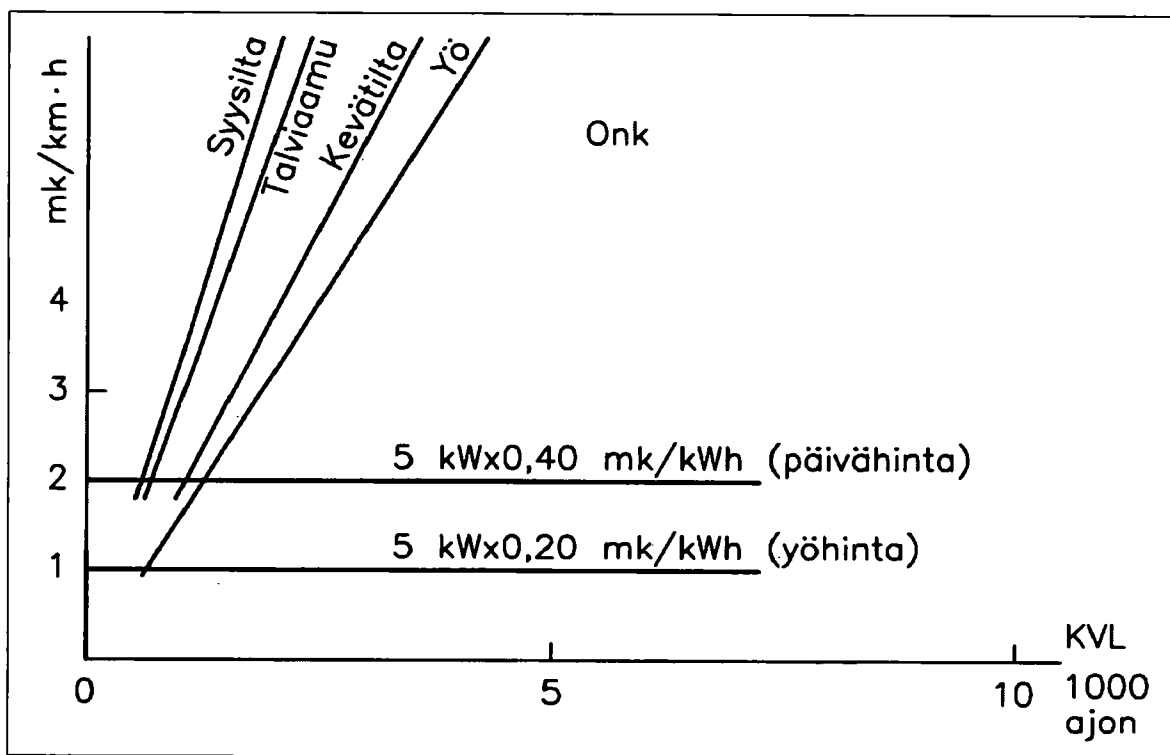
Kuva 17. VALTA- JA KANTATIE, Pohjois-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5 \text{ cd/m}^2$ ($5 \rightarrow 2,5 \text{ cd/m}^2$).
Onnettomuuksien lisäys 7% (0%). Suluissa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.



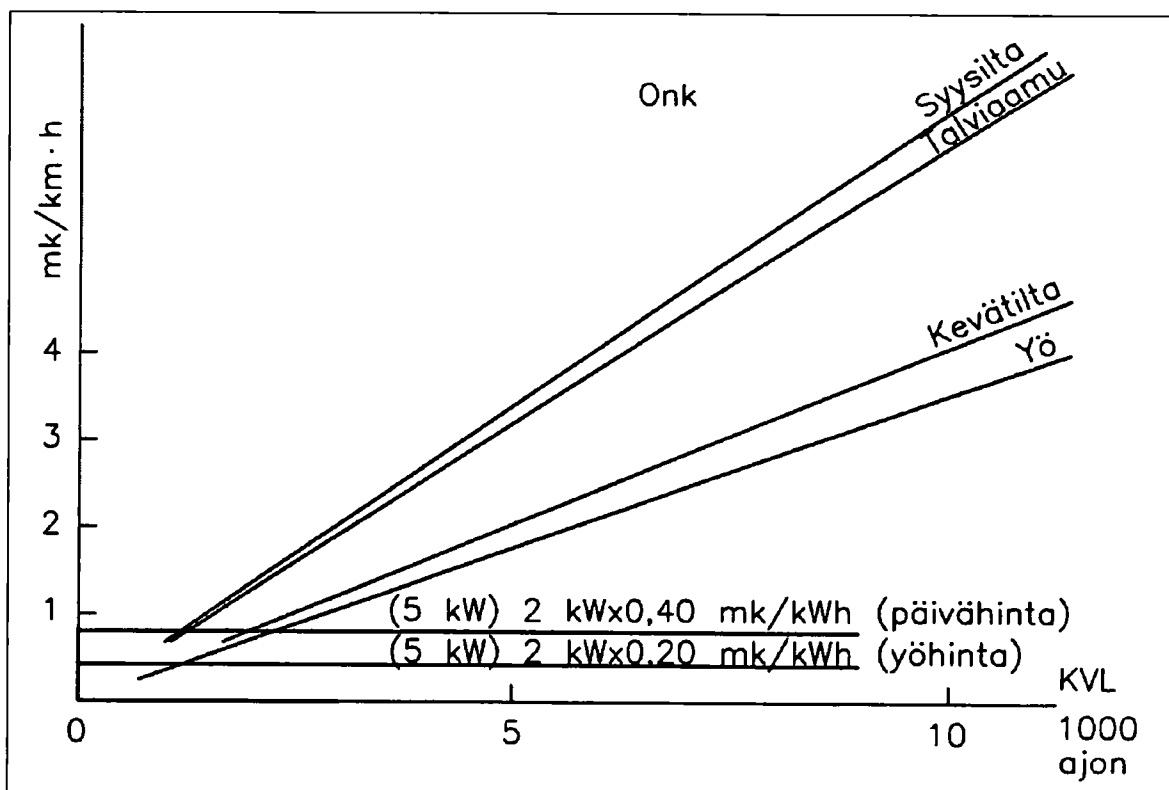
Kuva 18. MUU MAANTIE JA PAIKALLISTIE, Etelä-Suomi. Valaistus sammutettu.
Luminanssi $1,0 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$. Onnettomuuksien lisäys 43%.



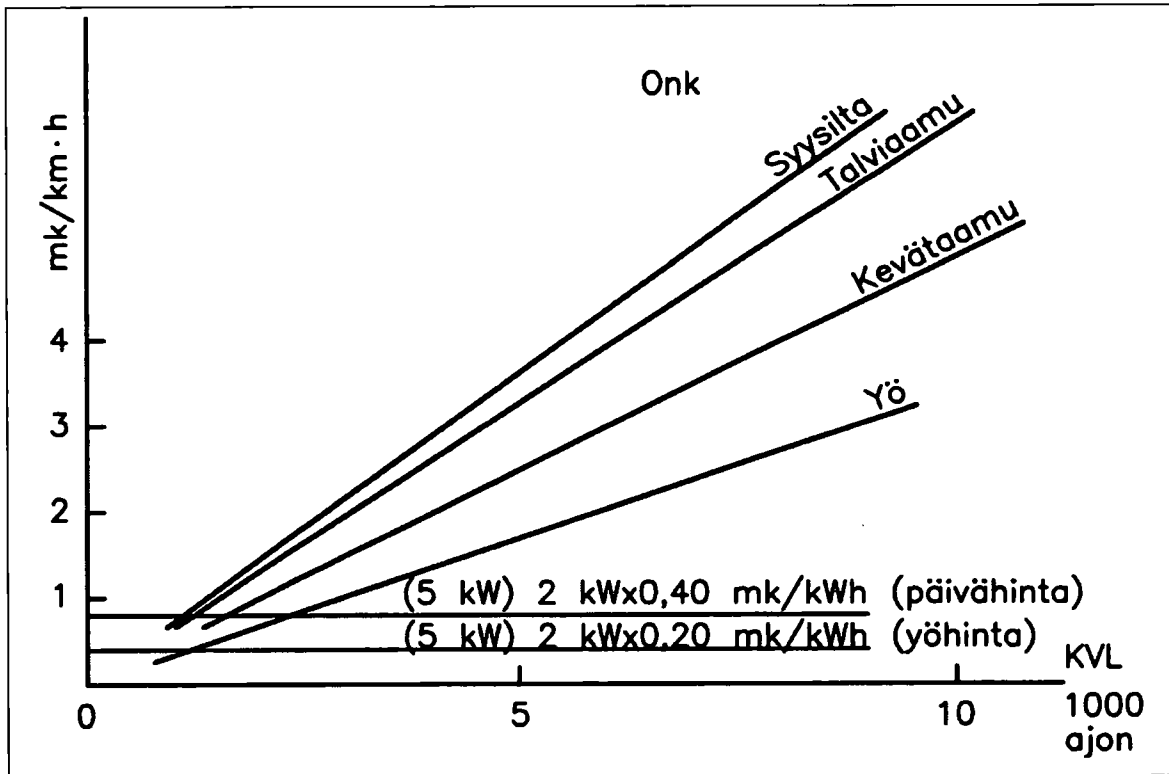
Kuva 19. MUU MAANTIE JA PAIKALLISTIE, Etelä-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5 \text{ cd/m}^2$
($5 \rightarrow 2,5 \text{ cd/m}^2$). Onnettomuuksien lisäys 9% (0%). Sulussa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.



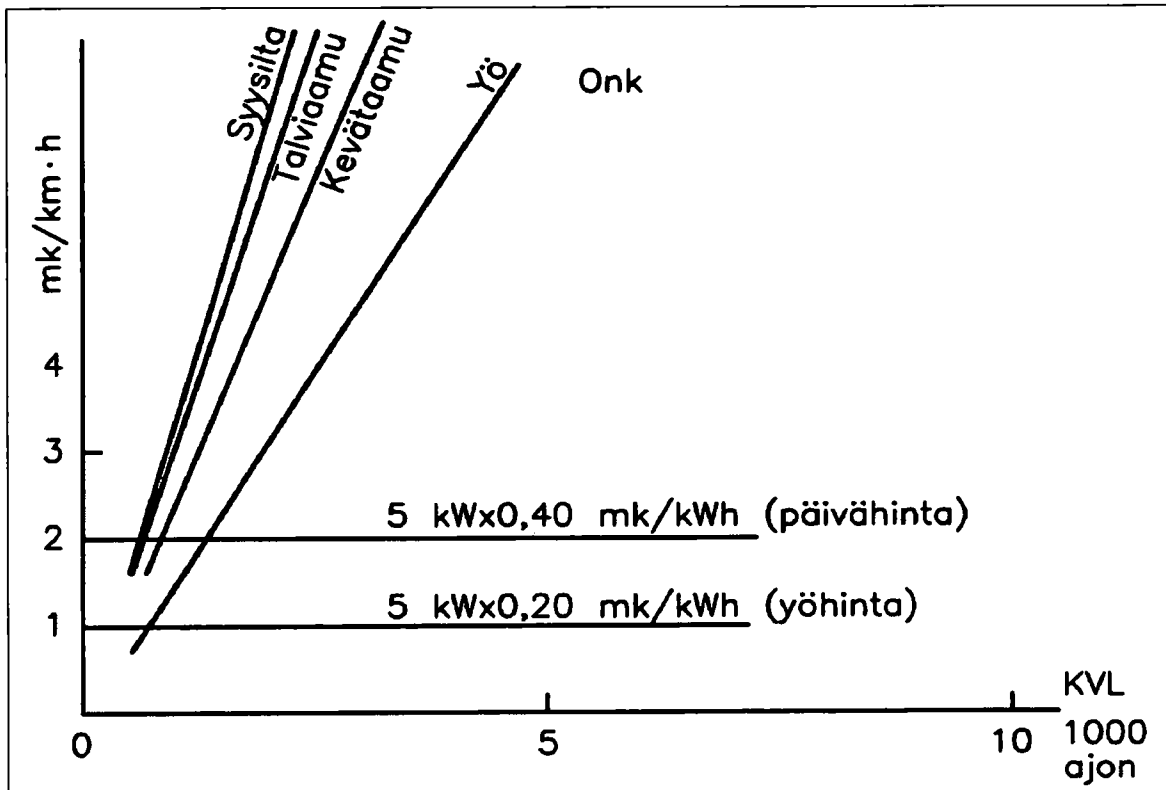
Kuva 20. MUU MAANTIE JA PAIKALLISTIE, Pohjois-suomi. Valaistus sammutettu.
Luminanssi $1,0 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$. Onnettomuuksien lisäys 43%.



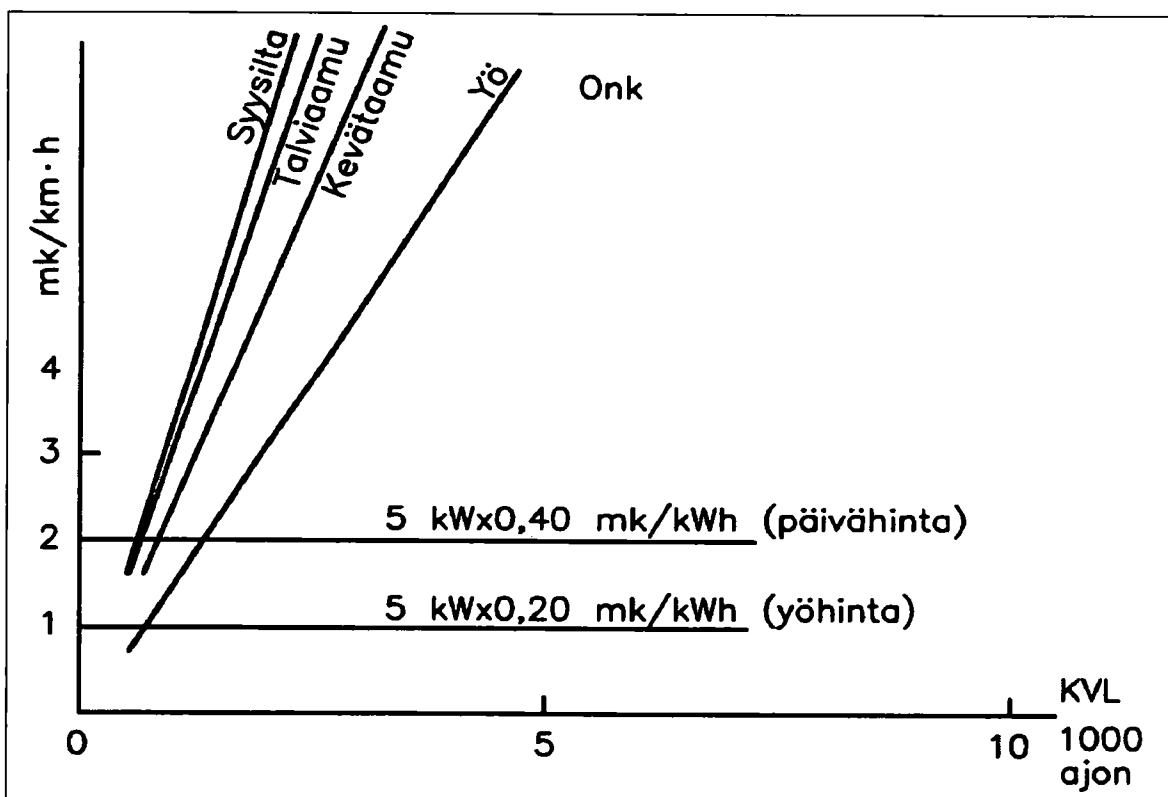
Kuva 21. MUU MAANTIE JA PAIKALLISTIE, Pohjois-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5 \text{ cd/m}^2$
($5 \rightarrow 2,5 \text{ cd/m}^2$). Onnettomuuksien lisäys 9% (0%). Suluissa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.



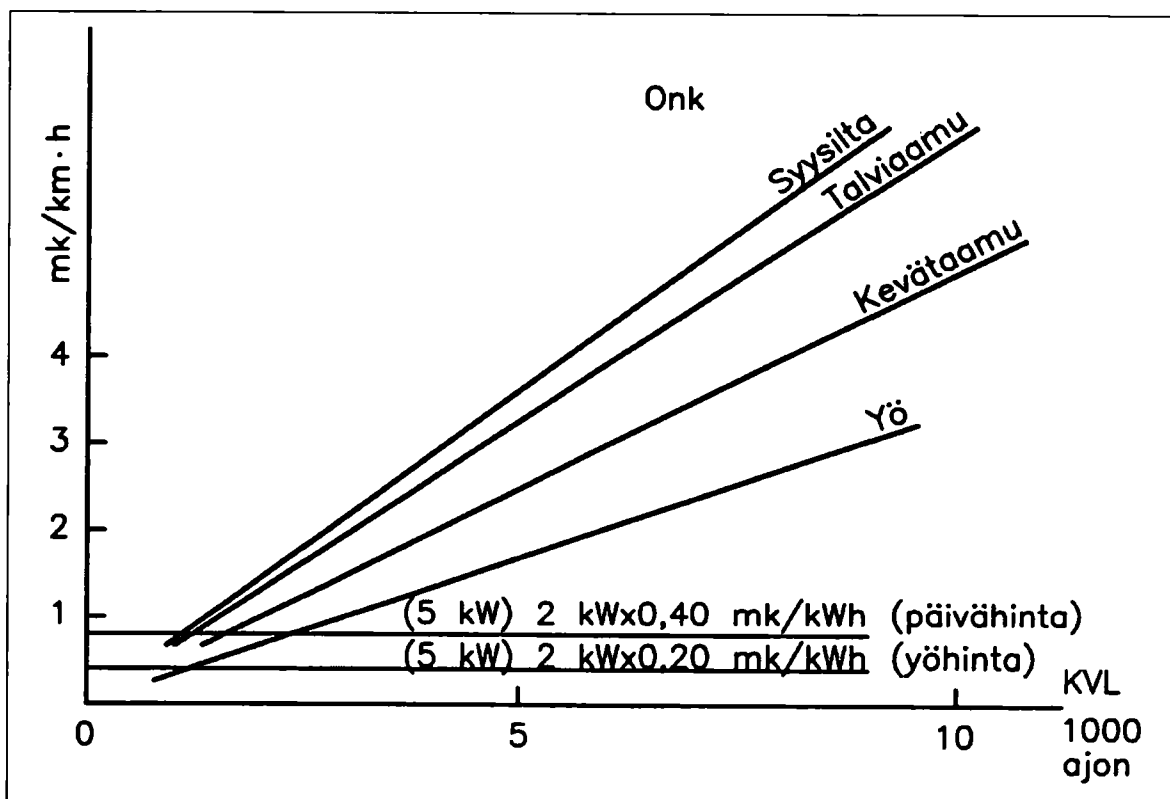
Kuva 22. TAAJAMATIE, Etelä-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi $1,0 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 43 %.



Kuva 23. TAAJAMATIE, Etelä-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5 \text{ cd/m}^2$ ($5 \rightarrow 2,5 \text{ cd/m}^2$).
Onnettomuuksien lisäys 9% (0%). Suluissa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.



Kuva 24. TAAJAMATIE, Pohjois-Suomi. Valaistus sammutettu. Luminanssi $1,0 \rightarrow 0 \text{ cd/m}^2$.
Onnettomuuksien lisäys 43%.



Kuva 25. TAAJAMATIE, Pohjois-Suomi. Luminanssi vähennetty $1,0 \rightarrow 0,5 \text{ cd/m}^2$ ($5 \rightarrow 2,5 \text{ cd/m}^2$).
Onnettomuuksien lisäys 9% (0%). Suluissa olevat luvut koskevat lumista tien pintaa.

Ajoradan ollessa pitkähkön ajan luminen valovirtaa voidaan vähentää niin, että luminanssi alenee puoleen alkuperäisestä (paljaan, kuivan ajoradan) arvosta. Himmennetty luminanssi on tällaisessa tilanteessa edelleen niin korkea, että onnettomuudet eivät lisäänty. Ohjauslaitteiden ominaisuudet vaikuttavat käytännön mahdollisuuksiin.

Tiepiirien alueilla on myös valta- ja kantateitä, jotka on valaistu muilla perusteilla kuin suuren liikennemäärän takia. Tällaiset kohteet on ratkaistava tiekohtaisilla tarkastetuilla.

4.3.3 Muu maantie ja paikallistie

Kuvissa 18-21 ovat muun maantien ja paikallistien valaistustilanteet. Tällaisen sekaliikennetien valaistus on kannattava, jos KVL > 3000 ajon/d.

Kuvasta 18 voidaan tarkastella esimerkiksi etelä-suomalaista maantietä, jonka valaistuksen tehontarve on 5 kW ja sähkön hinta 0,40 mk/kWh. Jos valaistus sammutetaan öisin, sähkönsäästö ja onnettomuuskustannusten lisäys ovat yhtä suuret, kun KVL on 1500 ajon/d. Himmennettäessä luminanssi puoleen arvoonsa liikennemääräraja on noin 2500 ajon/d. Pohjois-Suomessa liikennemääräarvot ovat hieman edellistä suuremmat.

Ajoradan ollessa luminen voidaan menetellä samalla tavalla kuin valta- ja kantateillä.

Tiepiirien alueilla on muita maanteitä ja paikallisteitä, jotka on valaistu muilla perusteilla kuin kannattavan liikennemäärien takia. Valaistuksen ajoittainen vähentäminen on tehtävä tiekohtaisilla tarkasteluilla.

4.3.4 Taajamatie

Kuvissa 22-25 ovat taajamatien valaistustilanteet. Taajamavalaisuksen liikennetaloudellista kannattavuutta ei yleensä lasketa, koska nämä tiet valaistaan enimmäkseen muilla perusteilla. Kuvat osoittavat onnettomuuskustannusten lisäyksen ylittävän sähkön säästön varsin pienillä liikennemäärillä. Taajamateille ei ehdoteta valaistuksen vähentämistä.

Ajoradan ollessa luminen voidaan menetellä samalla tavalla kuin valta- ja kantateillä.

Englantilaisen tutkimuksen [6] mukaan katuvalaistuksen parantaminen vähentää rikoksia tilastollisesti merkittävästi.

4.4 Ohjaustavat

Edellä on tarkasteltu pelkästään energiankulutuksen vähenemistä. Käytännössä ohjausjärjestelmän asennuskustannukset vähentävät näitä säästöjä. Vähennys on laitteista riippuen 0,20 - 0,50 mk/km H h.

4.4.1 Kaksitehokuristin

Nykyaikaisista ohjaustavoista halvin on kaksitehokuristin, jolla luminanssi voidaan himmentää puoleen arvoonsa tasaisuuden pysyessä muuttumattomana.

Uusissa asennuksissa tämä lisää valaisimen hintaa 300 mk/kpl ja kaapelointikuluja 5 mk/m. Perinteelliseen asennukseen verrattuna lisäys on kannattava, kuoletusaika 3 vuotta.

Vanhoja asennuksia korjattaessa lisäkustannukset ovat 600 mk/valaisin ja 35 mk/kaapelimetri. Kaksiajorataisella tiellä lisäys on kannattavuuden rajoilla, kuoletusaika 11 vuotta. Muilla teillä tämä ei kannata, koska kuoletusaika on 18 vuotta. Kuristin ei myöskään aina mahdu kaikkiin valaisimiin.

4.4.2 Säättömuuntaja

Säättömuuntaja soveltuu vanhojen asennusten ohjaukseen, koska se ei vaadi lisäkaapelointia. Parhaissa tapauksissa tämän ohjaustavan asentaminen kuolettaa lisäkustannukset noin kolmessa vuodessa. Muuntaja lyhentää syöttöjen pituuksia. Se sopiikin parhaiten taajamiin, missä keskuksia on tiheämmin kuin vapailla tielinjoilla.

4.4.3 Muut laitteet

Edellisten lisäksi on käytettävissä tyristoritekniikkaan perustuvia laitteita (esim. INTE-LUX), joilla voidaan ohjata valaistusta syöttöryhmittäin.

Valaisinkohtainen ohjaus on mahdollista esim. Luxicom Telemanagement -järjestelmällä. Tähän voidaan liittää myös kaikkien valaistuskalusteiden seuranta kunnossapitoa varten.

Molemmissa järjestelmissä automaattisia ohjausparametrejä ovat myös ajoradan vallitseva luminanssi, sää ja liikennemäärä. Erikoistilanteet hoidetaan ohjauskeskuksesta, esim. erilaiset tapahtumat, tien kunnossapito, suojateiden käyttö, yms.

Digitaaliset tehonvaihtajat esim. Chronosense ja Tridonic ZRM, ovat valaisimiin asennettavia kalusteita. Ne vaikuttavat samaan tapaan kuin kaksitehokuristimet.

5 VALAISTUSTYYPIT

5.1 Yleistä

Yleensä valaistustyypit ryhmitellään valaisimien sijainnin ja kiinnitystavan perusteella. Valaisimien ja pylväiden sijoitus riippuu pääasiassa seuraavista tekijöistä:

- tieluokan edellyttämät valaistusteknilliset vaatimukset
- valaistuslaitteiden rakenne
- valaistustyypin soveltuminen tien ja liikenteen luonteeseen teknillisen laatutason, optisen ohjauksen ja ulkonäön kannalta
- taloudellisuus

Uusissa hankkeissa edelliset ovat suunnittelun lähtökohtia. Ne pätevät myös saneerauksissa ja tuottavat useimmiten erittäin hyvän hyötykustannussuhteen.

5.2 Taso- ja eritasoliittymät

Tievalaistuksen käsikirjassa esitetyt taso- ja eritasoliittymien valaistusperiaatteet pätevät edelleen.

Jos tielinjaa ei valaista, yksittäinen tasoliittymä voidaan valaista enintään kahdella korkealla ($H > 20$ m) pylväällä, joissa on kaksi tai useampia valaisimia. Valaisimet suunnitetaan siten, että liittymän keskeisin osa saa tasaisen ja riittävän luminanssin sekä ulkoapäin lähestyvälle taataan kohteiden havaitsemiseksi riittävä pystytason valaistusvoimakkuus.

Eritasoliittymät tulisi valaista kokonaan joko pylväs- tai mastovalaituksella.

5.3 Kiertoliittymät

Kiertoliittymä valaistaan aina. Tielinjalla käytetty luminanssiperiaate ei ole käyttökelpoinen valaistustason laskentaperuste, koska liittymässä on useita havaitsemisuuntia, katseluetäisyydet ovat lyhyitä ja kohteet yleensä suoraan näkyvissä.

Koska kiertoliittymä katkaisee jatkuvan ajoyhteyden, valaituksella korostetaan poikkeuksellisen liikennepaikan havaitsemista ulkoapäin lähestyttäessä. Ajoradan valaistusluokka määritellään vaakataso valaistusvoimakkuuden avulla, jonka keskimääräisen arvon tulee olla 30 % enemmän kuin parhaiten valaistun liittyvän tien.

Käytännössä kiertoliittymään pyrkii tulemaan liikaa valoa. Tämä estetään huolellisella valaisimien sijoittelulla ja lampputehon avulla.

Pienissä ($d < 20$ m) ympyröissä riittää yksi pylväs keskellä. Isoissa ympyröissä reunasijoitus on käyttökelpoinen. Se tuottaa, ulkoapäin lähestyville, hyvän optisen ohjauksen ja pystytason valaistusvoimakkuuden reunakiviin ja ympyrässä jo oleviin ajoneuvoihin. Ympyrässä ajavien kannalta myös luminanssiperiaate toteutuu.

5.4 Tielinja

Tievalaistuksen käsikirjassa esitetyt tielinjan valaistusperiaatteet pätevät edelleen.

Suunnittelussa pyritään sellaisiin ratkaisuihin, joiden keskimääräiset vuosikustannukset 20 vuoden ajalta ovat mahdollisimman pienet. Tämä toteutuu useimmiten silloin, kun tehontarve kW/km on pienin.

Valaisimien valonjako-ominaisuuksiin pitää kiinnittää huomiota. Taajamavalaisuksiin sopivien valaisimien käyttöä tielinjalla on harkittava tarkoin. Esimerkiksi, sama pylväsväli ja lamppu ST-250W. Taidevalaisin tuottaa luminanssin 1,1 cd/m² ja tievalaisin 1,8 cd/m² tai lampulla ST-150W luminanssin 0,9 cd/m².

Kun valaistun päätien viereen sijoitetaan erillinen kevyen liikenteen tie, ratkaisut tulisi suunnitella niin, että valaistuslaitteiden määrä pysyisi kohtuullisena.

Tavoitteeksi tulisi ottaa myös perinteellistä tievalaistusta lisäävien toimien välttäminen. Esimerkiksi vierialueen tai tien yli menevien rakenteiden voimakas kohdevalaistus lisää ympäristön luminanssia niin, että ajorata joudutaan valaisemaan tai sen tasoa nostamaan.

6 SANEERAUS

6.1 Yleistä

Yli 20-vuotiaiden asennusten saneeraus on yleensä kannattavaa. Yksistään pienemmät energiakustannukset kuolettavat usein muutostyön nopeasti. Kun otetaan lisäksi huomioon pylväisiin törmäämisestä aiheutuvat kustannukset, tulos muuttuu vieläkin edullisemmaksi.

Tievalaistus uusitaan kokonaan mm. seuraavissa tapauksissa:

- kalusteiden käyttöaika on loppuun kulunut, ja ne ovat peruskorjauksen tarpeessa
- asennuksen käyttö- ja kunnossapitokustannukset ovat kohtuuttoman suuret
- tien parantamisen yhteydessä
- valaistustaso on liian alhainen tieluokkaan nähden

Osittainen uusiminen on esim. valaisimien, valolajin ja lampputehon vaihtaminen. Näin nostetaan valaistusluokkaa, pienennetään energiakustannuksia mutta ei voida vähentää törmäyskustannuksia.

Nykyisten tievalaistusten joukosta löytyy piirikohtaisten tarkastelujen avulla runsaasti tieosia, joiden valaistus tulisi saneerata. Syitä ovat vanhentuneet tai loppuun kuluneet kalusteet ja rakenteet, liian lyhyt pylväsväli, valotehottomat lamput.

Nämä tulisi tarkistaa seuraavan esimerkin mukaan.

Muu kaksikaistainen maantie, KVL 4000 ajon/d.

Nykyinen elohopeavalistus QE-250, jonka jäykkien pylväiden väli on 36 m. Valaistus uusitaan kokonaan nykyaikaisilla suurpainenatriumvalaisimilla ST-250 käyttäen myötääviä pylväitä 56 m välein.

Nykyinen asennus

- käyttö- ja kunnossapitokustannus	15 400	mk/kmxa
- törmäyskustannukset	58 300	- " -
	<u>73 700</u>	mk/kmxa

Saneeraus

- vanhan asennuksen purkaminen	20 000	mk/km
- uuden valaistuksen rakentaminen	195 000	- " -
	<u>215 000</u>	mk/km

Uusi asennus

- käyttö- ja kunnossapitokustannukset	10 800	mk/kmxa
- törmäyskustannukset	9 700	- " -
	<u>20 500</u>	mk/km

Likimääräinen kuoletusaika on 4 vuotta ja ensimmäinen vuoden tuottokerroin $e = 0,247$.

6.2 Suunnitelmien tarkistus

Uusista periaatteista huolimatta suunnitelmien laatimista tulisi tilaajan ja rakennuttajan toimesta valvoa, erityisesti KVR-, KVV- ja LVR-urakoiden yhteydessä. Laatuun kuuluu myös valaistuksen vaikutus liikenteeseen, turvallisuuteen, yleiseen järjestykseen, taajama- ja kaupunkikuvaan jne.

Pylväiden ja valaisimien ulkomuotoa voidaan muuttaa lähes rajattomasti. Lampputyyppejä ja valolajeja on runsaasti. Liikenteen turvallisuuden ja sujuvuuden kannalta peruslähtökohta on järkevä valonkäyttö. Estetiikan ja mukavuuden takia valotehokkuutta ja valonjako-ominaisuuksia ei saisi kurjistaa niin, ettei siedettäviä vuosikustannuksia saavuteta eikä näkemisen edellyttämät valaistustekniset vaatimukset täyty kaikissa sääolosuhteissa.

7 LÄHDELUETTELO

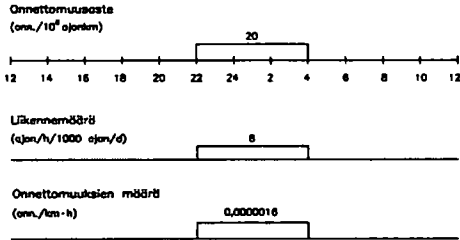
1. Yleiset tiet 1.1.2000. Tielaitoksen tilastoja 2/2000, Helsinki 2000
2. Meta-analysis of evaluations of public lighting as accident countermeasure. Transportekonomisk Instituttt. Transportation Research Record 1485/1995.
3. Tievalaistuksen käsikirja. TIEL 2140003. Helsinki 1991
4. Road Lighting as an Accident Countermeasure. Technical Report. Pub.No CIE93, 1992
5. van Bommel, W.J.M. & de Boer, J.B., Road Lighting. Philips Technical Library. Antwerpen 1980.
6. Painter, Kate, The effect of improved lighting on crime. Institute of Criminology. Cambridge 1998.

8 LIITTEET

Ote laskenta-aineistosta

Liitteet 1 ja 2

Tievalaistuksen vähentämisen vaikutus onnettomuuksiin



Onnettomuuskustannukset (mk/km·h)

Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,40
10000	4,00
20000	8,00
30000	12,00

Luminanssin vähentäminen 1,3 → 0,75 cd/m². Onnettomuudet lisääntyvät 1,3%.

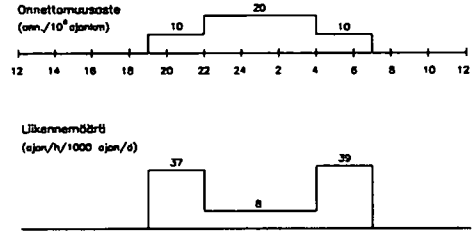
Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,21
10000	2,08
20000	4,16
30000	6,24

Sähkön säästö (mk/km·h)

Sähkön hinta mk/kWh	Säätetty teho kW/km	
	20	10
0,20	4,00	2,00
0,30	6,00	3,00
0,40	8,00	4,00
0,50	10,00	5,00
0,60	12,00	6,00
0,80	16,00	8,00
1,00	20,00	10,00

Sähkön säästö 40%

Sähkön hinta mk/kWh	Säätetty teho kW/km	
	8	4
0,20	1,60	0,80
0,30	2,40	1,20
0,40	3,20	1,60
0,50	4,00	2,00
0,60	4,80	2,40
0,80	6,40	3,20
1,00	8,00	4,00



Onnettomuuskustannukset (mk/km·h) illalla.

Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,93
10000	9,30
20000	18,60
30000	27,90

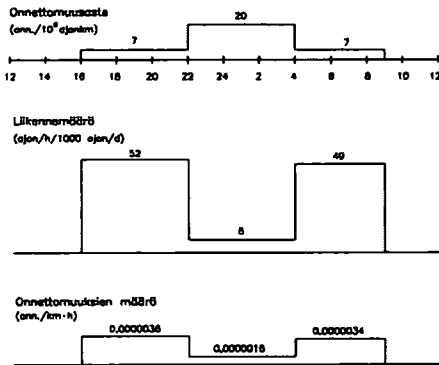
Vähentäminen puoleen

Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,48
10000	4,81
20000	9,62
30000	14,43

Sähkön säästö (mk/km·h) ks. a

a) Kesä

b) Syksy ja kevät



Onnettomuuskustannukset (mk/km·h) aamulla.

Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,85
10000	8,50
20000	17,00
30000	25,50

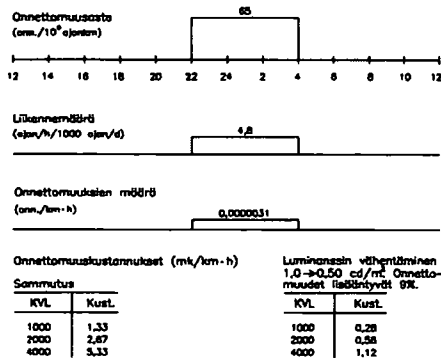
Vähentäminen puoleen

Sammustus	
KVL	Kust.
1000	0,44
10000	4,42
20000	8,84
30000	13,26

Sähkön säästö (mk/km·h) ks. a

c) Talvi

Tievalaistuksen vähentämisen vaikutus onnettomuuksiin



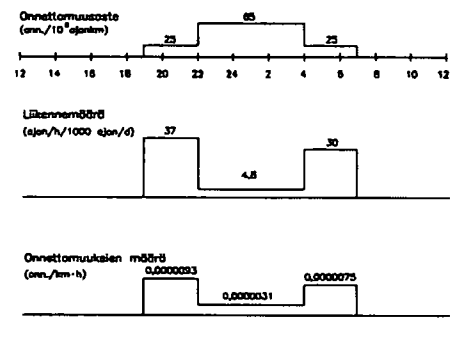
Sähkön säästö (mk/km·h)

Sähkön hinta mk/kWh	Säästetty teho kW/km	
	5	3
0,20	1,00	0,80
0,30	1,50	0,80
0,40	2,00	1,20
0,50	2,50	1,50
0,60	3,00	1,80
0,80	4,00	2,40
1,00	5,00	3,00

Sähkön säästö 40%

Sähkön hinta mk/kWh	Säästetty teho kW/km	
	2	1,2
0,20	0,40	0,24
0,30	0,60	0,36
0,40	0,80	0,48
0,50	1,00	0,60
0,60	1,20	0,72
0,80	1,60	0,96
1,00	2,00	1,20

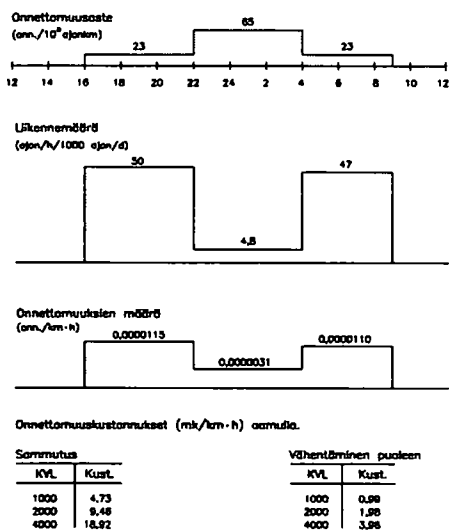
a) Kesä



Onnettomuuskuulumukset (mk/km·h) osuilla.

Sähkön säästö (mk/km·h) ks a

b) Syksy ja kevät



Sähkön säästö (mk/km·h) ks a

c) Talvi

Etelä-Suomi
Muu maantie ja paikallistie

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-212-2
TIEH 3200855