



Trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter i samspelet mellan gatumiljöns utformning och en mer energieffektiv belysning

Annika K. Jägerbrand

<p>Utgivare:</p>  <p>581 95 Linköping</p>	<p>Publikation: VTI rapport 816</p>		
<p>Författare: Annika K. Jägerbrand</p>	<p>Utgivningsår: 2014</p>	<p>Projektnummer: 50788</p>	<p>Dnr: 2009/0552-24</p>
<p>Titel: Trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter i samspelet mellan gatumiljöns utformning och en mer energieffektiv belysning</p>	<p>Projektnamn: TEB</p>		
<p>Uppdragsgivare: Skyltfonden, Trafikverket</p>			
<p>Referat</p> <p>Projektets syfte var att studera trafiksäkerhetsaspekter i ny belysning och deras samspel med gatumiljön för oskyddade trafikanter. Projektet undersökte således belysningsförutsättningar, påverkan på cyklister, samspelet mellan belysning, trafiksäkerhet, gatumiljö och/eller andra effekter såsom trygghet, gällande tre olika ljuskällor och typer av belysning (kvicksilver 125W, keramisk metallhalogen 70W samt LED 25W) belägna i ungefär samma typ av gatumiljö på en gång- och cykelväg på Kungsholms strand i Stockholm.</p> <p>Resultaten visar att energiåtgången för LED är 28 % av traditionell kvicksilverbelysning och 49 % av keramisk metallhalogenbelysning. Denna studie visar att det är möjligt att få tillräckliga jämnhetsnivåer med LED-belysning men att detta är beroende av armaturens utformning, design och antalet stolpar per meter väg (i detta fall 15,3 m stolpavstånd).</p> <p>I denna undersökning påvisades inga skillnader i cykelhastighet för LED-belysning mellan dagsljus och mörker eller mellan olika typer av belysning.</p> <p>Analyser av trygghetsaspekter fungerade bra att göra baserat på enkla uppskattningar av hur bra belysningen fungerar (genom analys av digitala foton) och till exempel upplevelse av synbarhet stämmer mycket bra överens med de uppmätta fysikaliska belysningsmåten.</p> <p>Slutsatsen är att trygghetsaspekter och trafiksäkerhetsaspekter i större omfattning bör diskuteras sammanhängande för oskyddade trafikanter, speciellt i beaktande av att skapa mer attraktiva miljöer för dessa trafikantgrupper.</p>			
<p>Nyckelord: belysning, säkerhet, trygghet, LED, energy, hastighet, cyklister</p>			
<p>ISSN: 0347-6030</p>	<p>Språk: Svenska</p>	<p>Antal sidor: 42</p>	

<p>Publisher:</p>  <p>SE-581 95 Linköping, Sweden</p>	<p>Publication: VTI rapport 816</p>		
<p>Author: Annika K. Jägerbrand</p>	<p>Published: 2014</p>	<p>Projectcode: 50788</p>	<p>Dnr: 2009/0552-24</p>
<p>Title: Traffic safety and perceptions of safety in the interaction between street environment and a more energy efficient lighting</p>	<p>Project: TEB</p>		
<p>Sponsor: Skyltfonden, the Swedish Transport Administration</p>			
<p>Abstract</p> <p>The project's aim was to study the traffic safety aspects of new lights and the interaction with the street environment for pedestrians and cyclists. This project investigated the lighting conditions, effects on cyclists, and the interactions between lighting, traffic safety, street environmental conditions and/or other effects such as perceptions of safety for three different light sources (mercury vapour 125W, ceramic metal halide 70W and LED 25W) located in about the same type of street environment on a pedestrian and bicycle path on Kungsholms strand in Stockholm.</p> <p>Results show that the energy consumption of the LED lighting is 28% of the traditional mercury vapour lighting and 49% of ceramic metal halide lighting. This study shows that it is possible to obtain sufficient uniformity levels with LED lighting but that the levels are dependent on the luminaire design, pole design and the number of poles per meter road (in this study the pole spacing was 15.3 m).</p> <p>This study demonstrated no difference in cycle speed for LED lighting between daylight and darkness, or between different types of lighting.</p> <p>It worked well to perform analysis of perception of safety aspects based on simple estimates (through analysis of digital photographs). For example, perceptions of visibility corresponds very well with the measured uniformity.</p> <p>Conclusions are that aspects of traffic safety and perceptions of safety should generally be discussed coherent for unprotected road users, but especially when aiming for creating more attractive and sustainable environments for these road users.</p>			
<p>Keywords: lighting, safety, perceptions, LED, energy, speed, bicyclist</p>			
<p>ISSN: 0347-6030</p>	<p>Language: Swedish</p>	<p>No of pages: 42</p>	

Förord

Denna rapport utgör slutrapport i projektet ”Trafiksäkerhetsaspekter i samspelet mellan gatumiljöns utformning och en mer energieffektiv belysning”, (projektnummer 50788, diarienummer 2009/0552-24), finansierat av trafikverkets Skyltfond. Slutrapporten är framtagen med ekonomiskt stöd från Trafikverkets Skyltfond. Ståndpunkter och slutsatser i rapporten reflekterar författaren och överensstämmer inte med nödvändighet med Trafikverkets ståndpunkter och slutsatser inom rapportens ämnesområde.

Inom projektet har gjorts studier av olika belysningsförutsättningar längs en gång- och cykelväg, effekterna på cyklister samt ett förslag på variabler att använda för att bedöma trygghets- och trafiksäkerhetsaspekter för oskyddade trafikanter.

Projektet initierades av Annika Jägerbrand (projektledare) och har genomförts av Annika Jägerbrand, VTI, med viss assistens av Håkan Hellgren, Unswank Konsult och Staffan Dahlberg.

Stort tack till Anna Niska, Kerstin Robertson, VTI, Henrik Gidlund (dåvarande Stockholm stad, numera Trafikverket) och Jan Kristofferson, Sustainable Innovation in Sweden (SUST), nationellt centrum för energieffektivisering.

Speciellt stort tack till Skyltfonden som gjorde denna studie möjlig!

Stockholm mars 2014

Annika Jägerbrand
Projektledare

Process för kvalitetsgranskning

Intern/extern peer review har genomförts 17 mars 2014 av Sara Janhäll, VTI. Annika Jägerbrand har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 18 mars 2014. Projektledarens närmaste chef Kerstin Robertson har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 26 mars 2014. De slutsatser och rekommendationer som uttrycks är författarens egna och speglar inte nödvändigtvis myndigheten VTI:s uppfattning.

Process for quality review

Internal/external peer review was performed on 17 March 2014 by Sara Janhäll, VTI. Annika Jägerbrand has made alterations to the final manuscript of the report. The research director of the project manager Kerstin Robertson examined and approved the report for publication on 26 March 2014. The conclusions and recommendations expressed are the author's and do not necessarily reflect VTI's opinion as an authority.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund	9
1.1 Belysning och trafiksäkerhet för cyklister på GC-väg.....	10
1.2 Belysning och trygghet för trafikanter på GC-väg	11
1.3 Översikt över trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter på GC-väg.....	13
2 Mål och syfte.....	14
3 Material och metoder	15
3.1 Område Kungsholms strand	15
3.2 Mätningar av spektralfördelning, belysningsstyrka och luminans.	16
3.3 Mätningar av cykelhastighet	18
3.4 Analyser av upplevelse och trygghet i samspel med belysningen	19
3.5 Dataanalyser.....	20
4 Resultat.....	21
4.1 Spektralfördelning och ljuskvalité hos ljuskällorna	21
4.2 Jämförelse mellan belysning.....	23
4.3 Cykelhastighet i olika belysning	25
4.4 Samspel mellan gatumiljö och belysning, trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter	26
5 Diskussion	30
6 Trafiksäkerhetsnyttan.....	33
Referenser.....	35

Bilaga A: Luminansbilder Kungsholms strand

Bilaga B: Bilder Kungsholms strand

Trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter i samspelet mellan gatumiljöns utformning och en mer energieffektiv belysning

av Annika K. Jägerbrand
VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut
581 95 Linköping

Sammanfattning

LED-belysning eller lysdiod (Light Emitting Diode) är en typ av ljuskälla som nyligen börjat användas i större omfattning på gång- och cykelvägar (GC-vägar) i Sverige och övriga världen. Bättre belysning har potential att minska antalet singelolyckor för oskyddade trafikanter och det är därför viktigt att veta hur sådan belysning bör utformas. Projektets syfte var att studera trafiksäkerhetsaspekter i ny belysning och deras samspel med gatumiljön för oskyddade trafikanter. Projektet undersökte belysningsförutsättningar, påverkan på cyklister, samspelet mellan belysning, trafik-säkerhet, gatumiljö och/eller andra effekter såsom trygghet för tre olika ljuskällor och typer av belysning (kvicksilver 125W, keramisk metallhalogen 70W samt LED 25W) belägna i ungefär samma typ av gatumiljö på en gång- och cykelväg på Kungsholms strand i Stockholm.

Resultaten visar att energiåtgången för LED är 28 % av traditionell kvicksilverbelysning och 49 % av keramisk metallhalogenbelysning. LED kan ha något låga nivåer av belysningsstyrka men med bra ljusspridning på armaturen uppnås bra jämnhet. Denna studie visar att det är möjligt att få tillräckliga jämnhetsnivåer med LED-belysning men att detta är beroende av armaturens utformning, design och antalet stolpar per meter väg (i detta fall 15,3 m stolpavstånd). Det bör antagligen ställas högre krav på jämnhet eftersom det är en avgörande variabel för synbarhet av vägbanan och trygghetsupplevelse av sidoområdet för oskyddade trafikanter.

Antalet LED-stolpar som behövs längs en sträcka är dock betydligt högre än jämfört med kvicksilverbelysning och keramisk metallhalogenbelysning, vilket gör LED dyrare per kilometer belyst väg. Fördelarna är att livslängden är så pass mycket längre att man i ett tidsperspektiv sparar in på energi, drifts- och underhållskostnader. Det kan bli negativa effekter av ny energieffektiv belysning (på antalet singelolyckor eller på tryggheten) ifall stolpavstånd, belysningsstyrka och jämnhet underdimensioneras, armaturen inte tillåter tillräcklig spridning eller installation sker i miljöer med många objekt eller annat som skymmer sikten. I denna undersökning påvisades inga skillnader i cykelhastighet för LED-belysning mellan dagsljus och mörker eller mellan olika typer av belysning.

Analyser av trygghetsaspekter fungerade bra att göra baserat på enkla uppskattningar av hur bra belysningen fungerar (genom analys av digitala foton) och till exempel upplevelse av synbarhet stämmer mycket bra överens med de uppmätta fysikaliska belysningsmåten.

Riktlinjer med fokus på vad som är en acceptabel belysning sett ur trygghets- och upplevelseaspekter saknas i dagsläget, men är betydligt mer relevant för mer energieffektiv (LED) belysning då det är möjligt att installera extremt låga effekt- och belysningsnivåer för att spara maximalt med energi. Utan bättre riktlinjer för upplevelse riskerar man att underbelysa för oskyddade trafikanter och därmed göra miljöer mindre trafiksäkra och attraktiva. Därför bör trygghetsaspekter och trafiksäkerhetsaspekter i större omfattning diskuteras sammanhängande för oskyddade trafikanter, speciellt i beaktande av att skapa mer attraktiva miljöer för dessa trafikantgrupper.

Traffic safety and perceptions of safety in the interaction between street environment and a more energy efficient lighting

by Annika K. Jägerbrand

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI)

SE-581 95 Linköping

Summary

LED lighting or Light Emitting Diodes is a type of light source that is starting to be used in larger scale on pedestrian and bicycle lanes in Sweden and elsewhere. Better lighting has the potential to reduce the number of single accidents to unprotected road users and therefore it is important to know how such lighting should be designed. The project's aim was to study the traffic safety aspects of new lights and the interaction with the street environment for pedestrians and cyclists. This project investigated the lighting conditions, effects on cyclists, and the interactions between lighting, traffic safety, street environmental conditions and/or other effects such as perceptions of safety for three different light sources (mercury vapour 125W, ceramic metal halide 70W and LED 25W) located in about the same type of street environment on a pedestrian and bicycle path on the Kungsholms strand in Stockholm.

Results show that the energy consumption of the LED lighting is 28% of the traditional mercury vapour lighting and 49% of ceramic metal halide lighting. LED may have slightly lower levels of illumination but with good light distribution of the luminaire, it is possible to achieve good uniformity. This study shows that it is possible to obtain sufficient uniformity levels with LED lighting but that the levels are dependent on the luminaire design, pole design and the number of poles per meter road (in this study the pole spacing was 15.3m). The number of LED poles required along a distance is higher than necessary for mercury vapour lighting and ceramic metal halide lighting, which currently makes the LED more expensive per kilometer illuminated path. The advantages of LED lightings are that the longevity is so much longer that in the longer time-scale perspective, it is possible to make substantial savings on energy, operating and maintenance costs.

There may be adverse effects of new energy-efficient lighting (on the number of single-vehicle accidents or perceptions of safety) if the pole spacing, illumination or uniformity is under dimensioned or if the fixture does not allow for good light distribution or if installations occurs in environments with many objects or other things that block the view. This study demonstrated no difference in cycle speed for LED lighting between daylight and darkness, or between different types of lighting.

It worked well to perform analysis of perception of safety aspects based on simple estimates (through analysis of digital photographs). For example, perceptions of visibility corresponds very well with the measured uniformity.

Policies focusing on what is an acceptable lighting viewed from a combined view of traffic safety and perceptions of safety are currently missing, but is of high relevance for more energy efficient lighting. Without better guidance for the perceptions of safety there is a risk of installing new lighting with too low levels of illumination, thereby making the road and its surroundings less safe and unattractive for unprotected road users. Consequently, aspects of traffic safety and perceptions of safety should be discussed coherent for unprotected road users, but especially when aiming for creating more attractive and sustainable environments for these road users.

1 Bakgrund

LED-belysning eller lysdiod (engelska Light Emitting Diode) är en typ av ljuskälla som nyligen börjat användas i stor skala på gång och cykelvägar (GC-vägar) i Sverige och övriga världen. Den traditionellt använda belysningen på GC-vägar är kvicksilverlampor (t.ex. 125W), högtrycksnatrium (t.ex. 50 och 70W) och ibland används även keramisk metallhalogen (t.ex. 70W). Traditionellt har kvicksilverlampor används för att få mer vitt ljus, till skillnad mot högtrycksnatrium som ger väldigt gult (monokromatiskt) ljus. Keramisk metallhalogen har varit ett alternativ ifall man inte velat använda kvicksilverlampor men ändå velat ha ett vitare ljus än högtrycksnatrium. Övriga ljuskällor som går att använda på GC-vägar inkluderar lysrör och induktionslampor (Trafikverket & SKL 2012a).

Tillkomsten av det s.k. Ekodesigndirektivet (EC No 245/2009) och dess implementering i svensk lag (SFS 2008) medför omfattande krav på effektiv energianvändning och låg miljöpåverkan av energianvändande produkter som i praktiken innebär att kvicksilverlampor blir olagliga att saluföra (sälja och köpa) från 2015. Medan kvicksilverlamporna blir förbjudna är keramisk metallhalogen dyrare och har kortare livslängd än högtrycksnatrium. Samtidigt är användningen av gult ljus och högtrycksnatrium inte optimalt ur en trygghetsaspekt då man vill kunna identifiera och tydligt se personer man möter vilket försvåras med gult ljus, medan däremot gult ljus är acceptabelt ur en trafiksäkerhetsaspekt på vägar. Således är antalet ljuskällor som kan användas för reinstallation och nyinstallation på GC-vägar begränsat och LED-lampor kommer som ett bra alternativ som har lång livslängd (upp till 25 000-100 000 timmar enligt tillverkarna, se Tabell 1), bra spektralfördelning (den kan regleras) och relativt låg effekt (t.ex. 25W).

Tabell 1 Översikt över olika ljuskällors medellivslängd. För enskilda märken finns produkter med högre medellivslängd. Adapterad från Trafikverket & SKL (2012a).

Ljuskälla	LED	Keramisk metallhalogen (gatubelysning)	Högtrycks natrium	Kvick-silver	Kompakt-lys-rör	Lysrör	Induktions-lampa
Livslängd (timmar)	25000-100000	8000-16000	12000-22000	12000-16000	8000-12000	11000-70000	60000

Den höga livslängden på LED-belysningen i kombination med den låga effektnivån gör att LED lamporna både drar lite energi men också kommer att kosta mindre på längre sikt ur drift- och underhållssynpunkt (förutsatt att de håller den kvalité som utlovas).

Eftersom utomhusbelysningen ofta är energikrävande på grund av den höga effekten och de långa brinntimmarna är det viktigt att använda ljuskällor med låga effektnivåer men utan belysningsstyrkebortfall för att kunna nå optimal energieffektivisering. LED-belysningen kan leda till stora energibesparingar, exempelvis utbyte av en systemeffekt om 46W till LED-belysning 25W leder till en energibesparing om 40 % (Kristoffersson 2013) och med dimring kan ytterligare besparingar göras. Trots att LED-belysningen fortfarande är dyrare i inköp än alternativa ljuskällor börjar kommunerna byta ut sin GC-vägsbelysning till LED-belysning. Exempelvis Jönköping, Härryda, Laholm och Lerum för att nämna några.

Medan kvicksilver, högtrycksnatrium, keramisk metallhalogen och övriga ljuskällor alla har flerårig beprövad erfarenhet av att användas utomhus i olika typer av klimat och förutsättningar finns betydligt mindre erfarenhet av användningen av LED, speciellt under längre tid. Det finns dessutom mycket få studier som undersöker skillnader

mellan traditionellt använt belysning och LED ur viktiga aspekter såsom: belysningsförutsättningar, användning, trafiksäkerhet, trygghet och samspel med gatumiljön för GC-vägar och oskyddade trafikanter. Det är svårt att separera dessa aspekter eftersom de är sammanhängande och påverkar varandra.

Exempelvis är ett underbelyst område inte trafiksäkert eller tryggt vilket med stor sannolikhet kommer att leda till mindre användning jämfört med trygga områden med tillräcklig belysning. Även om två områden skulle ha exakt samma typ av ljuskälla och armaturer kan de uppfattas olika trygga och säkra beroende på interaktioner med omgivningen och hur området (belysningen) uppfattas och samspelar med miljön. Det finns givetvis också trygghetsaspekter som inte direkt går att påverka genom hur man arkitekturmässigt skapar området, såsom individuella och sociala faktorer (se t.ex. Jansson mfl. 2013).

I detta projekt avsågs från början att studera trafiksäkerhetsaspekter i ny belysning och deras samspel med gatumiljön för oskyddade trafikanter. Det finns flera undersökningar utförda som studerar fotgängares upplevelse av belysning (t.ex. Johansson mfl. 2011; Harita 2013) men även boendes uppfattning av ny belysning (t.ex. Kuhn mfl. 2013), medan betydligt färre undersökningar gjorts med fokus på cyklister. För att begränsa omfattningen i detta projekt bestämdes således för att fokusera på cyklister.

Gatumiljön och dess samspel med ny energieffektiv belysning är viktigt ur trafiksäkerhetsaspekter men är ännu viktigare ur trygghetsaspekterna eftersom samspelet med gatumiljön direkt påverkar överblick, områdets atmosfär och sikt. Därför ingår även trygghetsaspekter för oskyddade trafikanter på GC-väg till viss del i detta projekt.

1.1 Belysning och trafiksäkerhet för cyklister på GC-väg

Niska m.fl. (2013) konstaterar att ”ungefär en tredjedel av de trafikanter som skrivs in på sjukhus är cyklister”. Majoriteten av cyklisterna skadas i singelolyckor och singelolyckor är också den dominerande olyckstypen bakom de svårare skadefallen (Thulin & Niska 2009). Singelolyckor är därför ett stort problem för trafiksäkerheten hos cyklister. Merparten av olyckorna som involverar cyklister i Sverige inträffar på cykelbana.

Då flertalet cykelolyckor på cykelbana är klassade som frontalkollisioner diskuterar Thulin & Niska (2009), att möjliga åtgärder är att exempelvis bredda banan eller att förbättra sikten. Exempel på vägrelaterade faktorer som orsak till olyckor som framkommit i rapporten av Thulin & Niska (2009) är: ojämnt underlag, kört mot/över kant, kört på fast föremål, kört på tillfälligt föremål, kommit utanför vägen. Samtidigt är det svårt att härleda en exakt orsak till varför en cykelolycka sker. Det är snarare så att flera bidragande händelser eller orsaker som leder till att olyckan sker, exempelvis att hög fart eller dålig sikt gör att cyklisten inte uppfattar ojämnheter eller föremål på vägbanan (Niska & Eriksson 2013). Niska och Eriksson (2013) konstaterar också att det förekommit singelolyckor där man angett att mörker eller dålig gatubelysning bidragit till att olyckan skett. Eftersom flera orsaker bidrar till att olyckan sker är det svårt att uppskatta potential för att minska antalet omkomna eller allvarligt skadade cyklister utifrån åtgärdsförbättringar. I Niska & Eriksson (2013) görs bedömningen att ”vägbelysning för synbarhet” har maximal potential att minska antalet med 0-5%.

GCM-handboken (SKL & Trafikverket 2010) poängterar speciellt att gcm-vägars belysning fyller flera behov men att det ur trafiksäkerhetssynpunkt är viktigt att trafikanterna kan upptäcka hinder på vägen. De avgörande faktorerna för cyklisters trafiksäkerhet sett ur belysningssynpunkt på GC-väg är därför att synbarhet av vägbanan och dess sidoområde är tillräckligt bra, det vill säga att ljusstyrkan och jämnheten är

tillräcklig för att upptäcka ojämnheter eller föremål i cyklistens väg. Förekomsten av mörkare partier på ytan av vägen (dvs. ojämnheter i luminansen) såsom ofta är fallet emellan belysningsstolparna som placerats för långt isär eller dimrats till för låg nivå försvårar för cyklister att se hela vägytan tydligt och utgör en onödig säkerhetsrisk som kan justeras med hjälp av korrekt/optimalt använd teknik eller armatur. Eftersom utomhusbelysning åldras finns dock viss risk att svarta partier uppstår på vägytan några år efter installation, trots att installationen dimensioneras för att undvika sådana.

Mätningar på GC-väg och trottoar för tre olika ljuskällor (kvicksilver, högtrycksnatrium och keramisk metallhalogen) med traditionella armaturer visar att belysningsstyrkan snabbt sjunker och når väldigt låga nivåer emellan lamporna (< 5 lux) (Jägerbrand 2011). I samma undersökning uppmättes belysningsstyrkejämnheter (belysningsstyrkans medelvärde / minimivärdet) på 19 vägavsnitt med skuggningseffekter av träd och endast två vägavsnitt hade ett värde över 0,4 som krävs för lägsta belysningsklassen P6 för GC-vägar med plana beläggningar.

En annan undersökning som kartlagt 18 olika typer av vägavsnitt ur belysningssynpunkt visade att endast 50 % uppfyllde kraven i luminansjämnhet i verkligheten (Jägerbrand & Carlson 2011) och att även om belysningen uppfyller kraven betyder inte att den är energieffektiv (exempelvis Pracki & Jägerbrand 2013). Överlag visar dessa undersökningar att de rekommenderade belysningsklasserna inte alltid upprätthålls och således är det viktigt att göra fältmätningar för att se ifall den planerade installationen uppfyller de krav som är rekommenderade av Trafikverket och SKL, eller ifall de ligger under eller över kraven eftersom detta kan få effekter på trafiksäkerheten eller energiåtgången. Utifrån dessa aspekter är det därför av vikt att undersöka huruvida ny energieffektiv belysning motsvarar kraven som bör ställas för att upprätthålla en god trafiksäkerhet för cyklister och övriga oskyddade trafikanter.

Förutom att undersöka de exakta belysningsförutsättningarna som gäller för de aktuella vägavsnitten bedömdes att en viktig aspekt för att bedöma cyklisters trafiksäkerhet var att undersöka vilken hastighet de har i olika ljuskällor. Även om det i dagsläget saknas information om sambandet mellan hastighet och olycksrisk eller olyckans allvarlighet för cyklister är sannolikheten stor att det finns liknande samband som påvisats för motorfordon. I detta projekt antogs att ifall sikten/synbarheten är dålig bör man cykla saktare av säkerhetsskäl medan bättre belysning bör leda till högre hastigheter under förutsättning att inga fotgängare eller cyklister belamrar GC-vägen.

1.2 Belysning och trygghet för trafikanter på GC-väg

Ur trygghetssynpunkt framhävs rumslighet, atmosfär och orientering som viktiga variabler i GCM-handboken (SKL & Trafikverket 2010). Man vill ha en belysning som ger ”rätt” atmosfär, en bra överblick, sikt och man vill speciellt att det går att överblicka sidoområden bra.

Stadsmiljöer som är mindre gröna, har mer trafik, buller och mer människor kan göra att fotgängare skyndar sig igenom området jämfört med miljöer som är mer gröna, har mindre trafik, buller och människor (Franěk 2013). Även stadsmiljöer som upplevdes som mindre öppna orsakade högre hastighet hos fotgängarna som ingick i studien. Franěk (2013) visade också att det fanns ett samband mellan att försökspersonerna gick långsammare att de samtidigt upplevde mer positiva och stärkande känslor, vilket kan tolkas som att faktorerna mindre grönska, mer trafik, mer buller och mer människor kan upplevas som stressande i stadsmiljö.

I en fallstudie om oskyddade trafikanters anspråk på tryggheten i stadsmiljö drar Westin (2011) slutsatsen att följande omständigheter ger en känsla av otrygghet: kväll/natttid,

avsaknad av belysning, folktomma platser, ”stökiga” platser (klotter, nedskräpning) samt närvaro av personer med avvikande beteende. Liknande faktorer har pekats ut som viktiga för tryggheten i bostadsområde, där bra belysning och låg vegetation pekades ut som speciellt viktiga, men även att känna och identifiera folk i området och att kunna sätta dom i rätt sammanhang (Lindgren & Nilsen 2012). Synbarhet hade därför en nära koppling till att se andra individer och kunna avgöra ifall de var önskvärda eller ej.

Synbarhet i form av ”brightness” (ljushet eller ljusstyrka) har diskuterats i litteraturen som avgörande för ifall man skall uppfatta områden säkra eller ej ur brottsynpunkt (t.ex. Fotios & Goodman 2012; Fotios 2013). ”Bra ljus”, dvs. tillräcklig belysningsstyrka, Ra index (CIE General Colour Rendering Index) över 60 och en relativt hög S/P (skotopisk / fotopisk) kvot möjliggör identifikation och optimalt seende/synbarhet, vilket är bra förutsättningar för att kunna identifiera avvikande beteende. Samtidigt är det bra att man är medveten om att det enda bra belysning kan åstadkomma är att man ser bra, så ifall det man ser är lika störande eller oroväckande som tidigare kommer inte belysningen att kunna påverka trygghetskänslan eller rädslan för att brott ska begås.

Vegetation i samspel med belysning kan både öka och minska trygghetskänslan, beroende på hur vegetationen sköts, placeras, växer och hur belysningen placeras.

Mänskliga respsen till träd och annan vegetation visar direkta kopplingar med hälsa, men också som följd att det finns en relation till ekonomiska fördelar med bättre visuell kvalitet (som grönområden medför) (Ulrich 1986). Samtidigt finns en myt om att grönområden eller vegetation i sig utgör risker och uppmuntrar till kriminell aktivitet och därför skulle vara mer otrygga. En studie i Philadelphia (Pennsylvania, USA) visade att andelen vegetation var negativt korrelerat till överfall, rån och inbrott men inte med stöld (Wolfe & Mennis 2012).

Jansson m.fl. (2013) har gått igenom vetenskaplig litteratur i en reviewartikel om människors trygghetsuppfattning i relation till urbana trädbevuxta grönområde (t.ex. parker eller i närheten av bostadsområden). Jansson m.fl. (2013) drar slutsatsen att individuella och sociala faktorer, liksom vegetationens karaktär, samt drift och underhåll är viktiga aspekter för upplevelsen av trygghet, medan vegetationsrelaterade aspekter som var betydelsefulla var landskapets design, översikt/kontroll, densitet, karaktär samt underhåll. Miljöer av öppen karaktär som saknar lägre uppväxt vegetation typ buskar kan upplevas positivt ur trygghetsperspektiv.

Gunnarsson m.fl. (2012) har i en rapport utvärderat hur vegetationen kan anpassas för ökad trygghet och har identifierat följande fyra egenskaper som är särskilt viktiga:

- Vegetation i förhållande till utemiljö. Till exempel kan belysningen samspela med vegetationen, men andra faktorer är också viktiga såsom avstånd, sidoområdets vegetation.
- Överblick och kontroll. Öppna siktstråk, överblick, möjlighet till flyktvägar.
- Täthet och genomsikt. Vegetationen mellan knä och ögonhöjd bör vara lätt att se igenom, medan hög vegetation (t.ex. träd, buskar eller klängväxter) tolkas som en barriär. Medeltät vegetation ger ökad trygghet.
- Välskött och prydligt. Prydligt och välskött ger mer karaktär av trygghetsskapande än vild och oordnad vegetation.

1.3 Översikt över trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter på GC-väg.

Vissa trygghetsaspekter är liknande eller samma som trafiksäkerhetsaspekterna för oskyddade trafikanter (som inte befinner sig i blandtrafik), medan andra aspekter skiljer sig åt. För att få en överblick sammanställdes dessa (se Tabell 2).

Tabell 2 Trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter på GC-väg som är relevanta för denna studie och möjliga mätvariabler.

Område	Trafiksäkerhetsaspekter	Trygghetsaspekter	Mätvariabler
Vägytan	Belysningsstyrka Jämnhet	Belysningsstyrka Jämnhet	Lux/luminans Jämnhet (styrka/luminans)
Vägbanan	Skymmande sikt Styrka och jämnhet för identifikation av föremål Tillräcklig vägbredd	Synbarhet- skymmande sikt Färgåtergivning (identifiering)	Antal meter i oskymmande sikt Ra index /spektralfördelning Vägbredd Kontrastskillnader (synbarhet)
Sidoområdet	Synbarhet av objekt man kan skada sig på (kanter eller rörliga t.ex.) Synbarhet av andra objekt	Inga skymmande objekt i högre höjder (mellan knä-till huvudhöjd). Synbarhet "Trygghetsintryck" "Snygghetsintryck"	Lux/luminans och jämnhet i sidoområdet och i gränsen mellan sida/vägbana (vägyta + knä till ögonhöjd) Förekomst av objekt och deras synbarhet Helhetsintryck: <ul style="list-style-type: none"> • Avstånd, stråk, slutna rum • Överblick och kontroll av miljön • Genomsikt • Skötsel/snygghet

2 Mål och syfte

I projektet ingick inledningsvis att försöka svara på följande frågor:

- Hur reagerar oskyddade trafikanter i olika gatumiljöer och i samspel med en mer energieffektiv gatubelysning?
- Vilken slags gatumiljö och belysning är mest trafiksäker och upplevs mest trygg för oskyddade trafikanter?
- Kan införandet av en mer energibesparande belysning inverka negativt eller positivt på trafiksäkerhet, trygghet eller upplevelse av trafiksäkerheten?

Dessa frågor har tagits upp separat under rubriken trafiksäkerhetsnyttan (Kapitel 6).

Projektets syfte är att studera trafiksäkerhetsaspekter i ny belysning och deras samspel med gatumiljön för oskyddade trafikanter med fokus på cyklister. Med ny belysning avses LED-belysning, dvs. lysdiod-belysning.

Målen med projektet var att studera vilka effekter ny energieffektiv belysning har på:

- (I) belysningsförutsättningar
- (II) påverkan på cyklister
- (III) samspelet mellan belysning, trafiksäkerhet, gatumiljö och/eller andra effekter såsom trygghet

Projektet genomfördes genom en pilotstudie som undersökte ovanstående aspekter i tre olika typer av gång- och cykelvägsbelysning belägen i ungefär samma typ av gatumiljö på Kungsholms strand i Stockholm. De tre typerna av belysning var kvicksilver (125W), keramisk metallhalogen (70W) samt LED (25W).

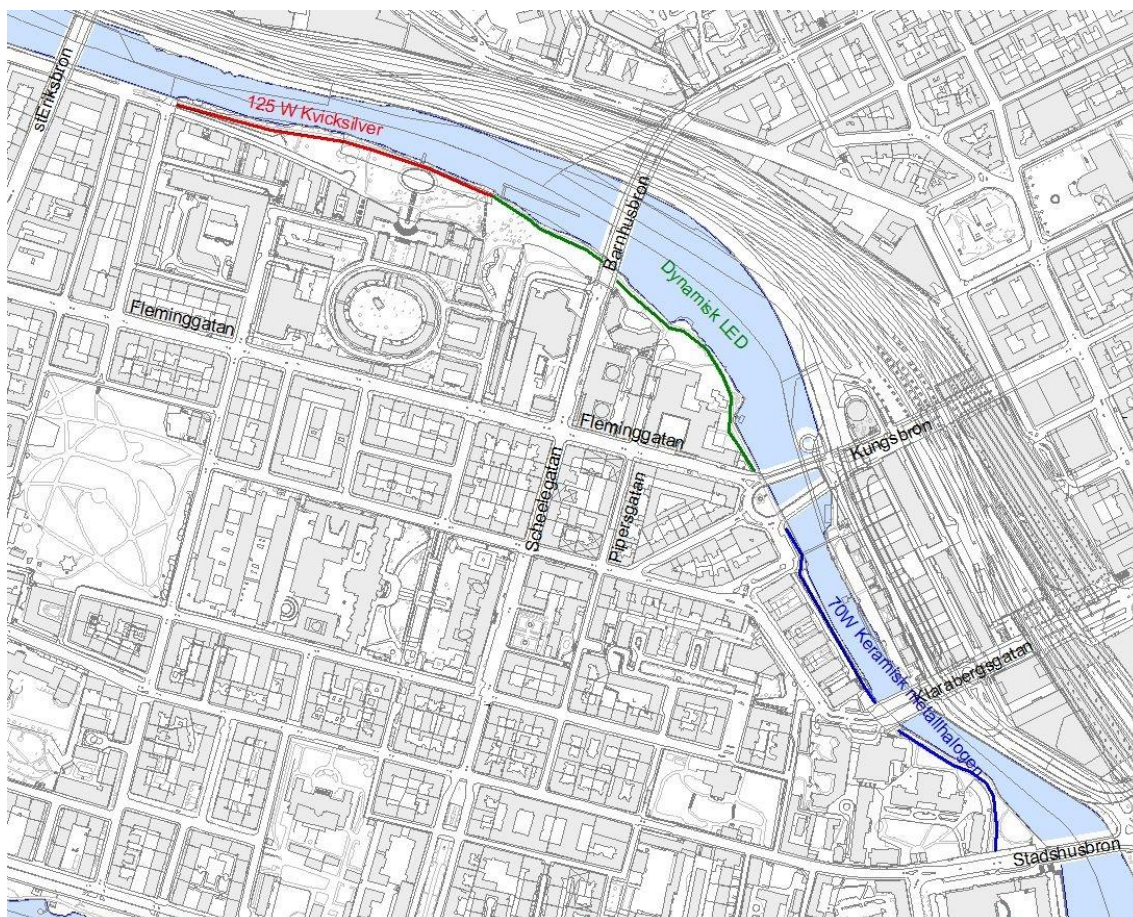
3 Material och metoder

3.1 Område Kungsholms strand

I projektets startfas framkom information om att mätningarna i projektet gick att utföra på Kungsholms strand, där ett innovativt projekt med styrningssystem i LED-armatur initierades. Projektet på Kungsholms strand genomfördes i samverkan mellan Stockholm Stad/Trafikkontoret, Tritech, Fagerhult, Sust. Energimyndigheten medfinansierade projektet på Kungsholms strand. Projektets resultat har redovisats i två rapporter: Harita (2013) och Kristoffersson (2013).

Området är beläget i centrala Stockholm på en gång och cykelväg som har tre olika sorters ljuskällor utmed samma sträcka: kvicksilverbelysning (125W), 70W keramisk metallhalogenbelysning och LED-belysning (25W), se karta (Figur 1). LED-belysningen (Azur från Fagerhult med Dali styrssystem, ljusflöde max 2000lm) installerades under 2012 i syfte att testa olika strategier för styrning. I denna undersökning har inga dimrade lampor använts.

Stolpvärderna för ljuskällorna är något olika på de olika sträckorna: kvicksilverbelysningarna har ett stolpvärd på 21,6 m, LED 15,3 m och keramisk metallhalogen cirka 21,3 m (medelvärden).



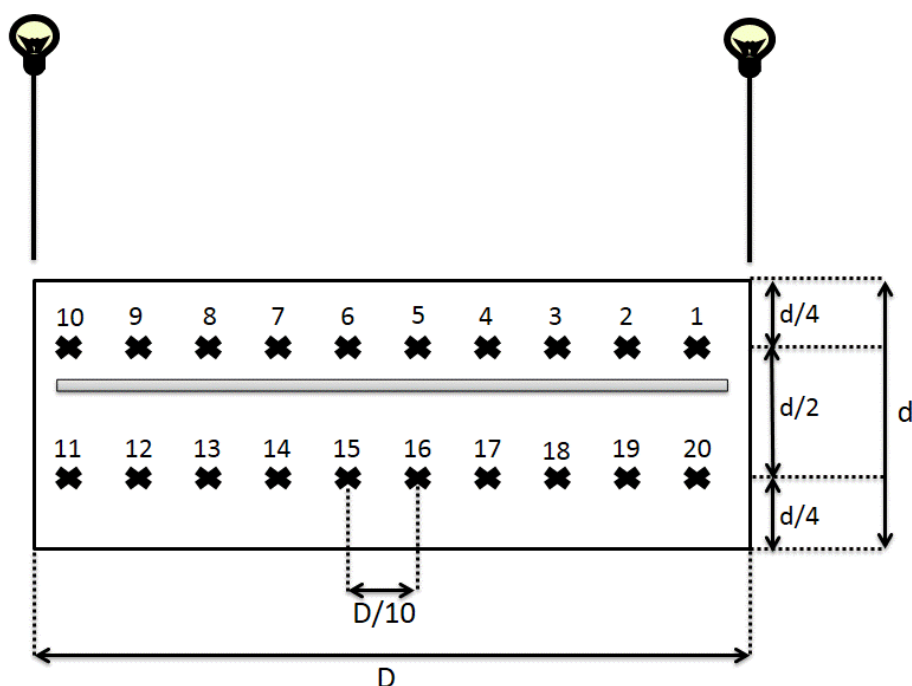
Figur 1 Karta över gång- och cykelvägen (GC-vägen) och var de olika ljuskällorna är belägna i Kungsholms strand, Stockholm. Foto: Henrik Gidlund, Trafikverket.

3.2 Mätningar av spektralfördelning, belysningsstyrka och luminans.

Mätningar av spektralfördelning, belysningsstyrka och luminans genomfördes vid samma tillfälle för varje sträcka och då utfördes även mätningar av stolpavstånd och vägbredd.

3.2.1 Spektralfördelning

Spektralfördelningen uppmättes nedanför belysningsstolparna med Jeti Specbos 1201 spectroradiometer (Jeti Technische Instrumente GmbH, <http://www.jeti.com>) mot en vit yta. Samma vita yta fotograferades med luminanskameran för kalibrering av luminansfoto.



Figur 2 Skiss av hur belysningsstyrkemätningarna gjordes på vägytan. Nummer 1-20 anger punkten i vilken ordning mätningen gjordes.

3.2.2 Belysningsstyrka

Belysningsstyrka uppmättes 18-23 april 2012 i mörker (natttid). Belysningsstyrkan uppmättes horisontellt på vägytan mellan två belysningsstolpar (=sträckan) med Konica Minolta T10 i enlighet med Figur 2. Totalt uppmättes 20 mätvärden per sträcka. För kvicksilverbelysningen och keramisk metallhalogenbelysningen gjordes mätningar på 3 sträckor medan 10 sträckor användes för mätning av belysningsstyrkorna i LED-belysningen.

3.2.3 Luminans

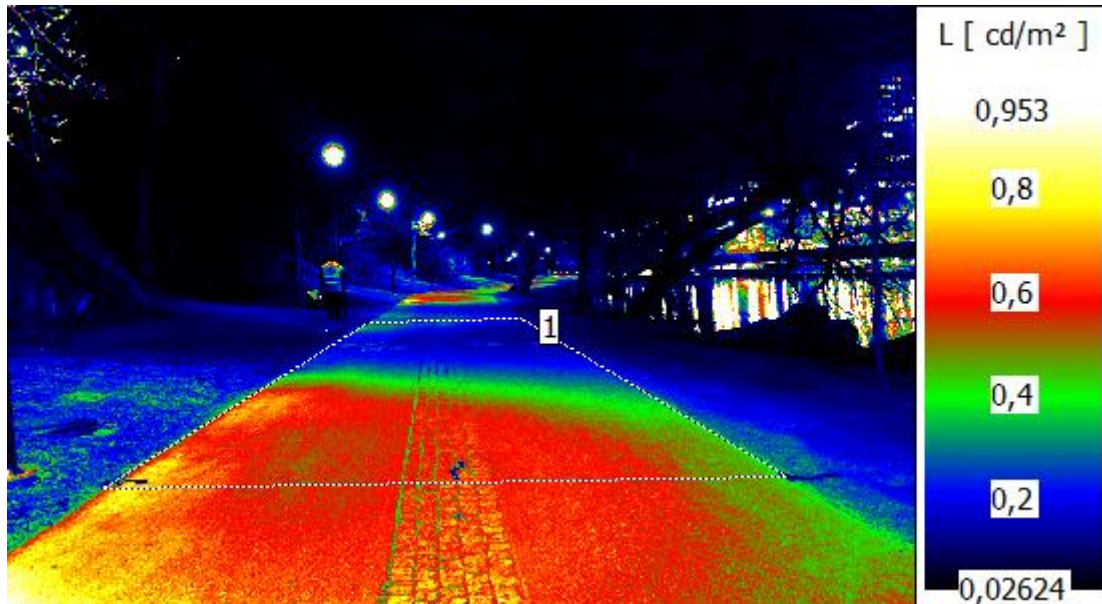
Fotografier till luminansmätningar utfördes 18-23 april 2012 i mörker (nattetid). För luminansmätningarna användes LMK mobile advanced (Technoteam bildverarbeitung GmbH) som är baserad på Canon EOS 350D digital reflex kamera (<http://www.technoteam.de>; TechnoTeam, 2006).

Metoden innebär att man kalibrerar bilderna i efterhand i ett mjukvaruprogram (LMK LabSoft) för att få fram värden på luminans.

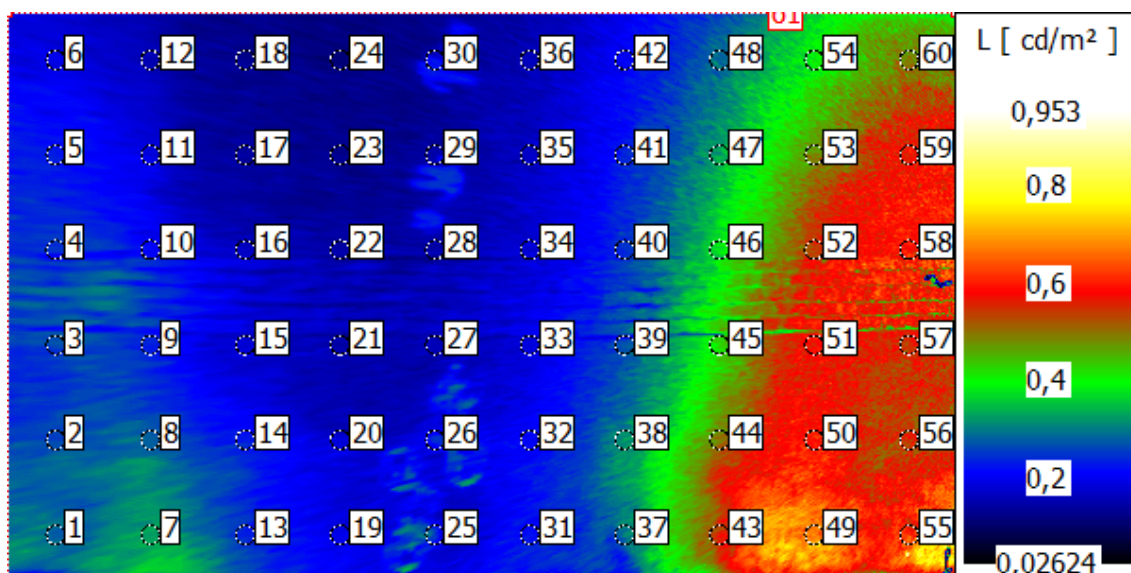
Fotografierna togs på ett avstånd av 5 m och på en höjd av 115 cm. Höjdskillnader och avståndskillnader har tidigare visat sig att inte ha någon större påverkan på luminansvärden när de analyseras digitalt med LMK Mobile Advanced (Guo mfl. 2007). Fotografier togs av 10 sträckor för kvicksilverbelysningen och LED-belysningen och för 6 sträckor för belysningen med keramisk metallhalogen. Vägavsnittets mätområde mellan två belysningsstolpar markerades med 5 starka ficklampor och två omgångar luminansfoto togs på samma område varav ett foto användes enbart för att kunna avgöra mätområdets placering i bilden.

De digitala fotona importerades till LMK labsoft och får då automatiskt värden i luminans (se Figur 3 och Figur 4). Området markeras och kan sedan ”omtransformeras” till ett rektangulärt mätområde med 60 utplacerade punkter enligt en funktion i programmet, se Figur 4. Mätvärden från de 60 punkterna kan sedan klippas in i ett Excel- eller textdokument för vidare analys, och bilderna kan exporteras för illustration.

Analys av luminansmedelvärde och luminansjämnhet följer riktlinjerna i Trafikverkets & SKLs publikation för vägar där 60 enskilda mätpunkter är utspridda i ett regelbundet mönster inom mätområdets yta (Trafikverket & SKL, 2012b)



Figur 3 Luminansfoto taget vid LED-belysning på Kungsholms strand, Stockholm. Den streckade rektangeln med nummer "1" visar mätområdet för luminansmedelvärde och luminansjämnhet. Färgskalan anger luminans i cd/m^2 i enlighet med tabellen i högerkanten.



Figur 4 Luminansbild över mätområde 1 som finns i Figur 3, men här är området omtransformerat till en jämn rektangel och 60 punkter (1-60) utplacerade. Mätningar för uträkningar av luminansmedelvärde och luminansjämnhet görs baserat på dessa 60 punkter. Färgskalan anger luminans i cd/m^2 i enlighet med tabellen i högerkanten.

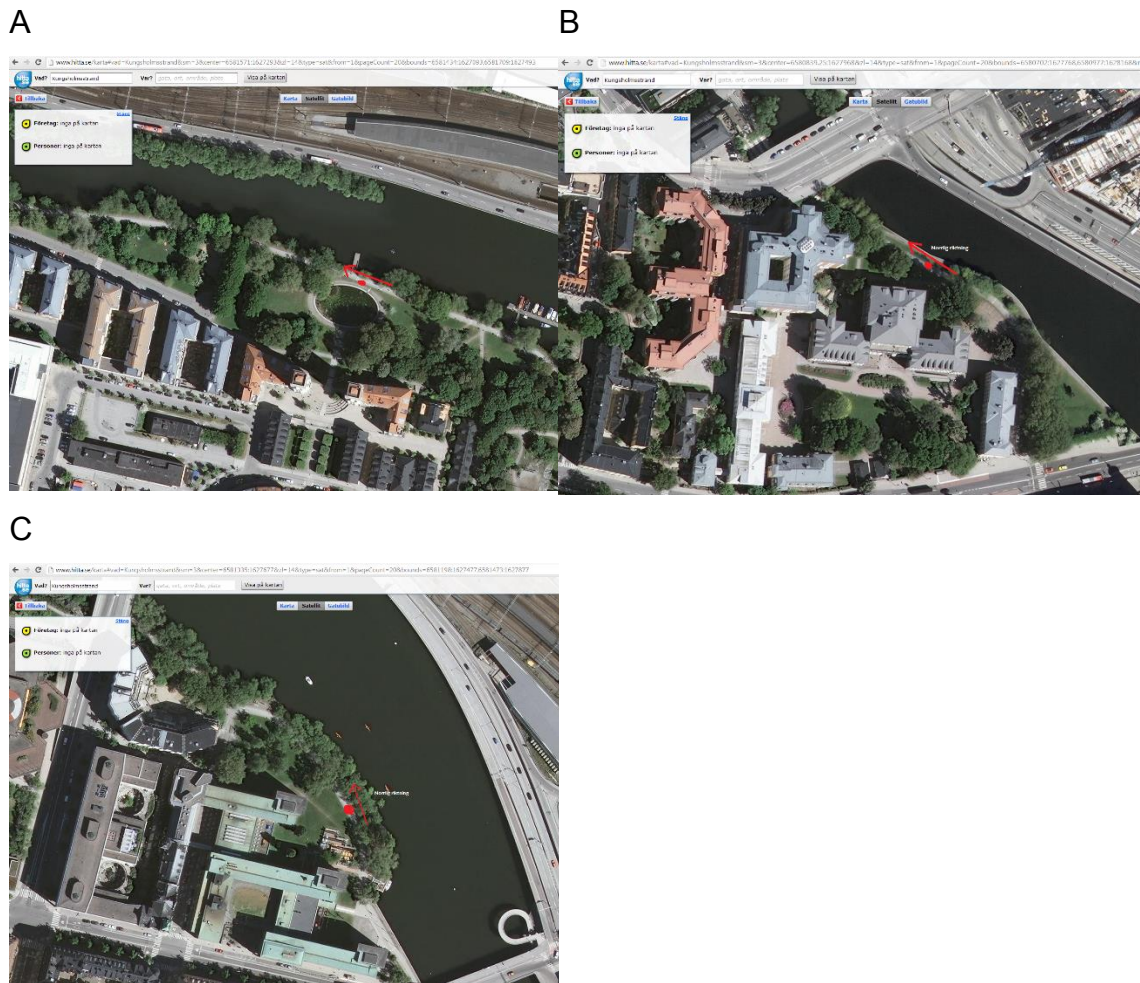
3.3 Mätningar av cykelhastighet

Mätningar av cykelhastighet utfördes manuellt genom att mäta upp avstånden mellan belysningsstolpar och mäta tiden det tog för cyklisterna att cykla sträckan och sedan räkna ut hastigheten (km/h). Mätsträckorna visas i Figur 5. Tillförlitligheten av mätmetoden testades genom att två personer tog hastighetsvärden på 15 cyklister vilket visade en felmarginal om en tiondels sekund på 30 % av cyklisterna mellan personerna som uppmätte tiden. Eftersom en och samma person senare uppmätte tiden för alla cyklisterna bör mätmetoden påverka minimalt på hastighetsuppskattningen.

Dagmätningar togs när det var dagsljus medan mörkermätningar togs när det var helt mörkt så att belysningen stod för enda ljuskällan (se Tabell 3). Riktningen som cyklisterna färdades i antecknades (norr-söder). Dagsljusmätningarna tog cirka 45-60 minuter medan mörkermätningarna tog cirka en timma beroende av att det ofta var mindre trafik de tiderna.

Tabell 3 Översikt över cykelhastighetsmätningarna och när de utfördes.

Ljuskälla	Dagsljus	Mörker	Avstånd
Kvicksilverbelysning (125W)	2013-09-03 16:30	2013-09-26 19:30	48,5m
Keramisk metallhalogenbelysning (70W)	2013-09-13 16:00	2013-10-14 18:30	30,0m
LED-belysning (25W)	2013-09-03 17:30	2013-09-19 19:30	31,5m



Figur 5 Mätplatser för cykelhastighetsmätningar på Kungsholms strand, Stockholm. A) Mätplatsen för kvicksilverbelysningen, B) mätplats för keramisk metallhalogenbelysning, C) mätplats för LED-belysning.

3.4 Analyser av upplevelse och trygghet i samspel med belysningen

Analyser av upplevelse och trygghetsaspekter baseras på Tabell 2 och på JPG bilder som togs i samband med fotografering av luminansfotona. JPG-bilderna som användes visas i Bilaga B.

Följande karaktärer analyserades:

- **Synbarhet på vägbanan.** Ifall det fanns något svart parti på vägbanan som gjorde att vägytan inte sågs valdes 0, annars 1.
- **Sikt knä-huvudhöjd för sidoområdet = Genomsikt.** I denna analys bedömdes denna variabel motsvara ”genomsikt”. Genomsikt och sikt bedömdes med 1 ifall någon sida av vägens sidoområde hade skymd sikt eller var så pass mörk så att ett objekt eller en människa skulle kunna skymmas. Träd med bara stammar bedömdes generellt inte skymma sikten om det inte var så pass tätt att de dolde en större yta motsvarande en människa.

- **Överblick av området.** Överblick bedömdes genom att räkna antalet belysningsstolpar som syntes längs med vägen. Denna variabel skulle också kunna bedömas utifrån sikt i sidoområdet men skulle i så fall överlappa med ”genomsikt”.
- **Skötsel/snygghet.** Om buskar eller träd bedömdes ge ett vildvuxet intryck fick variabeln 0. Då det inte fanns buskar eller objekt i närheten bedömdes oftast skötseln optimal och fick då en etta.

3.5 Dataanalyser

Beräkningar av jämnhet på belysningsstyrka och luminans utfördes genom att ta minimivärdet för det uppmätta området och dividera med medelvärdet för det uppmätta området.

Luminansmedelvärde och luminansjämnhet uppfyllde kraven på normalfördelning i Shapiro-Wilk test och för homogena varianser i Levene's Test for Equality of Variances. Skillnader i luminansmedelvärde och luminansjämnhet mellan de olika ljuskällorna testades med t-test. Alla analyser på luminansmedelvärde och luminansjämnhet utfördes i SPSS (IBM SPSS Statistics Version 19.0.0.2).

Cykelhastigheter var normalfördelat enligt Shapiro-Wilk test (IBM SPSS Statistics Version 19.0.0.2) och analyserades i en linjär mixed model, LMM (Linear mixed model fit by REML, restricted maximum likelihood), följt av en anova som testade LMM modellen (Analysis of Variance typ 3, med Satterthwaite approximering för frihetsgrader). Ljuskälla och dag/mörker inkluderades i LMM som bestämda faktorer och deras interaktioner (dvs. cykelhastighet ~ ljuskälla * dag/mörker), medan riktning (norr-söder) inkluderades som slumpmässig effekt. LMM och ANOVA analyserades i lmerTest (Kuznetsova mfl. 2012), ett package i R 3.0.2 (R core team 2013).

Upplevelsevariabler analyserades ihop med mätvariabler för belysningen med Pearsons korrelations koefficient (PCC) och principalkomponentanalys (PCA) för att undersöka vilka upplevelsevariabler och mätvariabler för belysning som var korrelerade och för att få en tydlig bild över hur mätvariablerna varierade tillsammans. Pearsons korrelationsanalys och principalkomponentanalys utfördes i IBM SPSS Statistics Version 19.0.0.2.

4 Resultat

Energieffektivitet hos belysningen kan bedömas av effekt per enskild lampa men även genom ett jämförande mått på effekt per km sträcka per år. I Tabell 4 visas detta mått för de tre olika ljuskällorna på Kungsholms strand baserat på medelvärden för stolpavstånden.

Tabell 4 Beräkning av energieffektivitet baserat på sträcka och år för tre olika belysningar på Kungsholms strand, Stockholm.

Belysning	kWh/km/år (4000h/år)
Kvicksilver 125W	23170
Keramisk metallhalogen 70W	13250
LED 25W	6550

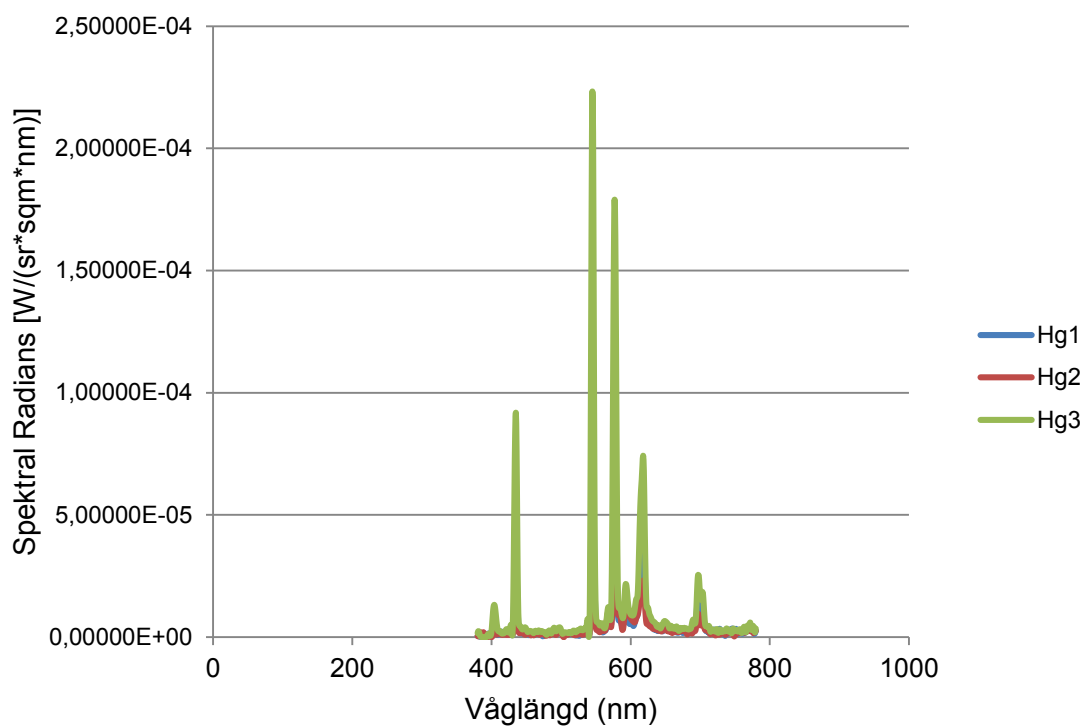
4.1 Spektralfördelning och ljuskvalité hos ljuskällorna

Spektralfördelningsmätningar av de tre olika ljuskällorna visar att de har olika färgåtergivning, där keramisk metallhalogen har bäst färgåtergivning, medan färgtemperaturen är högst hos kvicksilverlamporna och likartad mellan LED och keramisk metallhalogen, se Tabell 5.

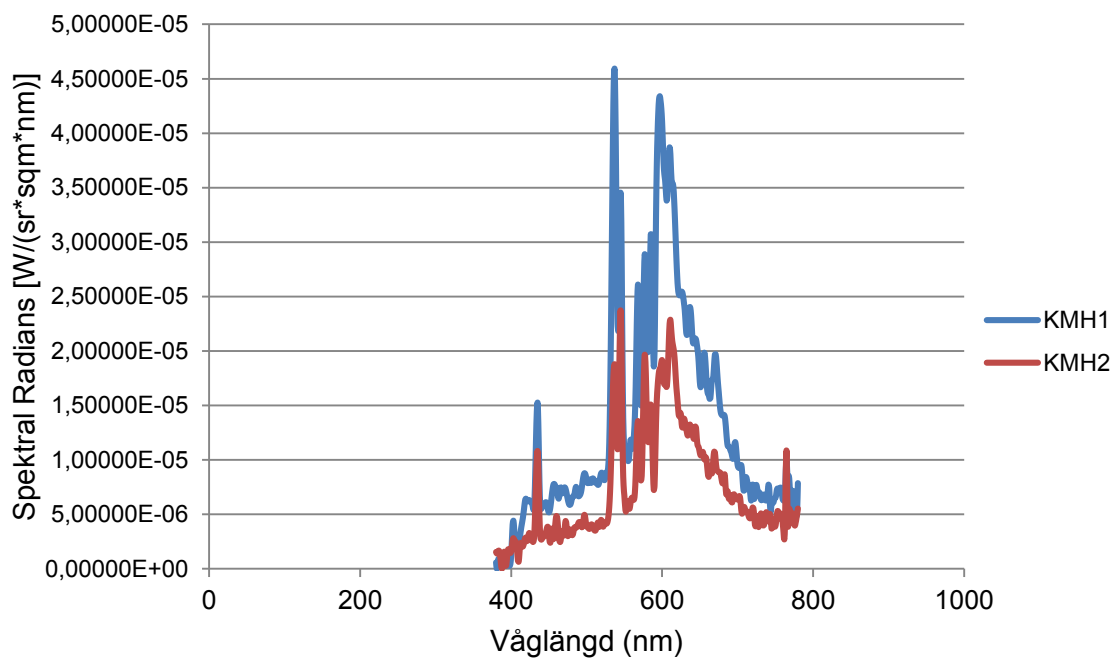
Spektralfördelningarna i våglängdsfördelning visar typiska toppar för kvicksilverlamporna och keramisk metallhalogen (Figur 6 och Figur 7). Spektralfördelningsmätningarna av LED lamporna indikerar influens av ljusföroreningar från omgivningen (Figur 8).

Tabell 5 Mätningar av de olika ljuskällorna. R_a =färgåtergivningstal också kallat CRI (color rendering index), K =färgtemperatur i Kelvin. Värden anges i medelvärde \pm standard avvikelse. Hg=kvicksilverlampor 125W, KMH=keramisk metallhalogen 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W. n =antal mätningar.

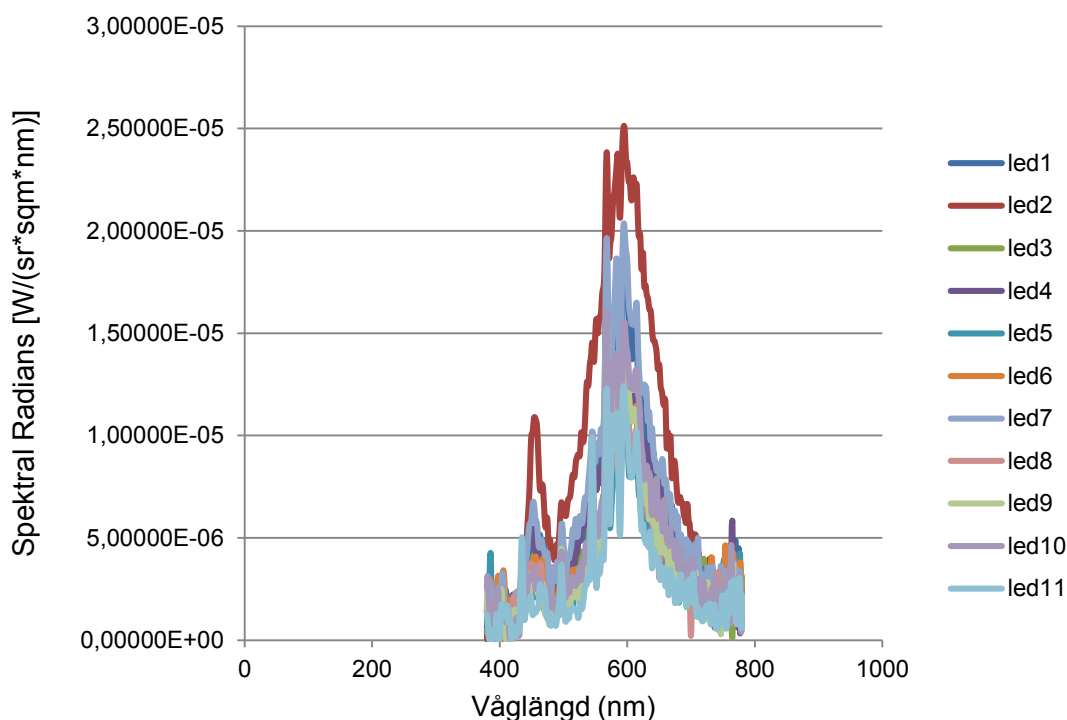
Ljuskälla	R_a	K	n
Hg 125W	51 \pm 6,3	3253 \pm 365	3
KMH 70W	85 \pm 0,1	2772 \pm 34	2
LED 25W	70 \pm 5,7	2731 \pm 153	11



Figur 6 Spektralradiansfördelning av våglängderna för tre av kvicksilverlamporna (125W) i Kungsholms strand, Stockholm.



Figur 7 Spektralradiansfördelning av våglängderna för två av de keramiska metallhalogenlamporna (70W) i Kungsholms strand, Stockholm.



Figur 8 Spektralradiansfördelning av våglängderna för 11 LED-lampor (lysdiodlamporna) (25W) i Kungsholms strand, Stockholm.

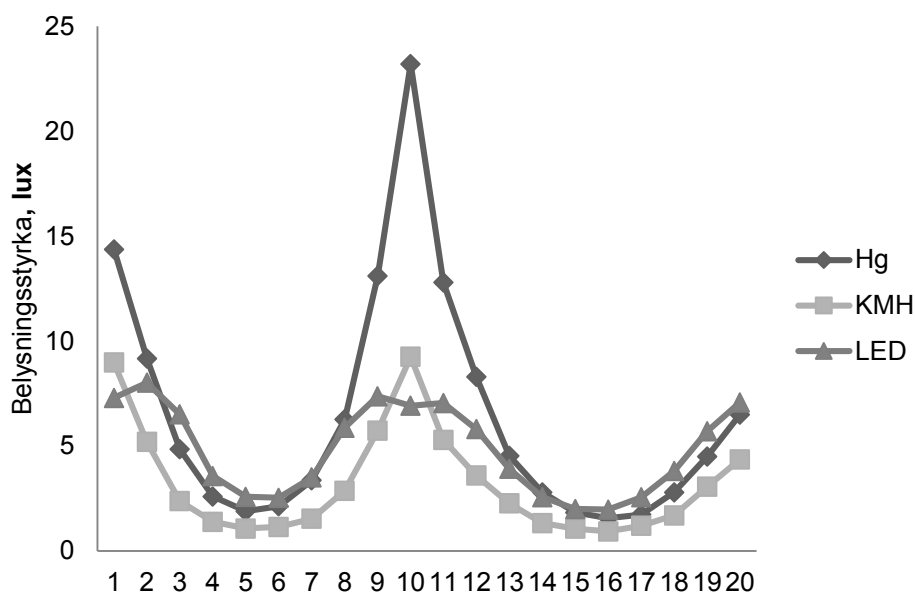
4.2 Jämförelse mellan belysning

Jämförelser av de olika belysningarna visar att kvicksilverlamporna har högst medelvärden för belysningsstyrka och luminans men att kvicksilverlamporna också har störst variation i belysningsstyrka, medan LED-belysningen har högre jämnhet på vägytan i både belysningsstyrka och luminans, se Tabell 6. Liknande trender syns i Figur 9 i de detaljerade mätningarna av belysningsstyrkan längs vägytan.

Tabell 6 Översikt av variabler från mätningar gjorda på GC-väg i Kungsholms strand, Stockholm. Alla värden är medelvärden \pm standard avvikelse. Hg=kvicksilverlampor 125W, KMH=keramisk metallhalogenlampor 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W. Belysningsklass baserad på belysningsmätningar för fotgängare i lågtrafikerade områden (P), (Trafikverket & SKL 2012a).

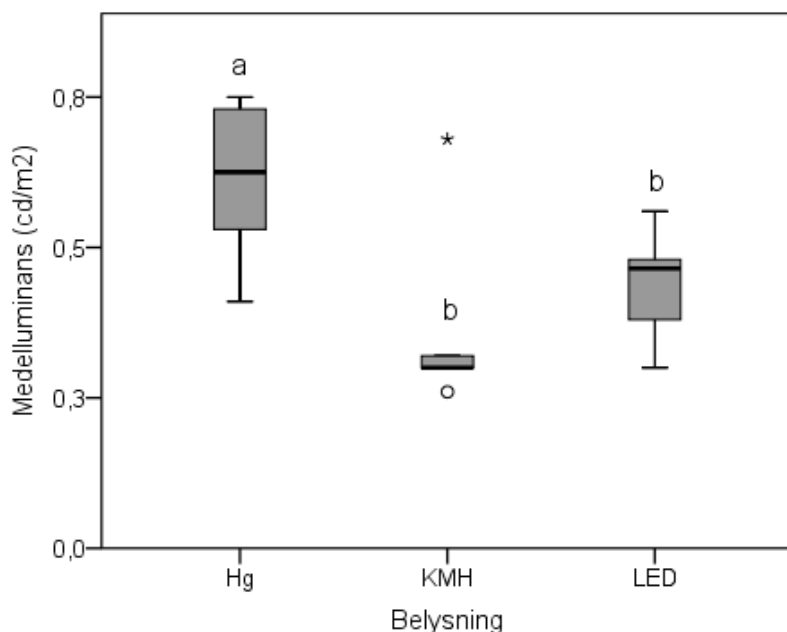
	Belysningsstyrka (lux)	Belysningsstyrka jämnhet	Luminans (cd/m ²)	Luminans jämnhet	Belysningsklass (P)
Hg 125W	6,41 \pm 6,61 n=3*	0,22 \pm 0,09 n=3	0,62 \pm 0,12 n=10#	0,22 \pm 0,06 n=10	P4
KMH 70W	3,22 \pm 2,5 n=3*	0,29 \pm 0,04 n=3	0,36 \pm 0,16 n=6#	0,4 \pm 0,04 n=6	P5
LED 25W	4,83 \pm 2,5 n=10*	0,36 \pm 0,13 n=10	0,43 \pm 0,08 n=10#	0,44 \pm 0,07 n=10	P5

*20 värden per prov # 60 luminansvärden per prov.

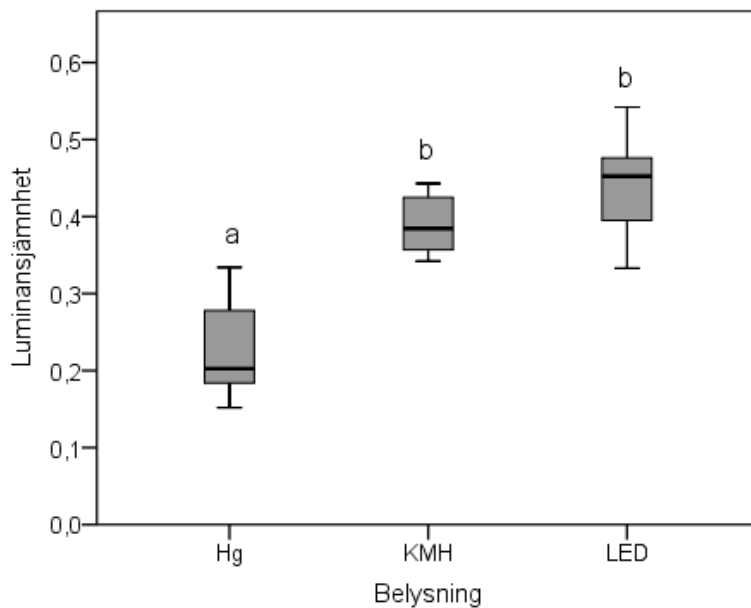


Figur 9 Belysningsstyrka (medelvärden) uppmätta parallellt längs sträckor på vägytan (medelvärde av mätningar i enlighet med Tabell 6). Punkt 1, 10, 11, 20 är uppmätta direkt under belysningsstolparna, punkt 1 och 10 närmast stolpen. Hg=kviksilverbelysning 125W, KMH=keramisk metallhalogenbelysning 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W.

Medelluminans och luminansjämnhet skiljer sig åt signifikant mellan kvicksilverlamporna och LED och keramisk metallhalogen, se Figur 10 och Figur 11.



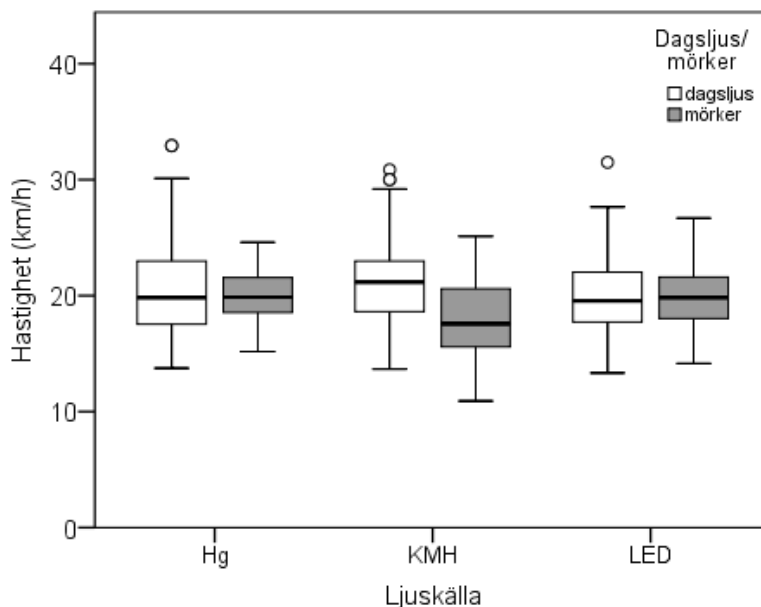
Figur 10 Medelluminansen (cd/m^2) på vägytan för olika typer av belysning på Kungsholms strand. Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader i medelluminans för de olika belysningarna enligt t-test, $P < 0,002$. $n=6$ (Hg) och 10 (KMH, LED). För varje replikat (n) togs 60 mätpunkter. Hg=kviksilverbelysning 125W, KMH=keramisk metallhalogenbelysning 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W.



Figur 11 Luminansjämnhet på vägytan för olika typer av belysning på Kungsholms strand. Olika bokstäver indikerar signifikanta skillnader i luminansjämnhet för de olika belysningarna enligt t-test $P < 0,0001$. $n=6$ (Hg) och 10 (KMH, LED). Hg=kvicksilverbelysning 125W, KMH=keramisk metallhalogen belysning 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W.

4.3 Cykelhastighet i olika belysning

Cykelhastighet skiljde sig mycket lite åt mellan ljuskällor och mellan dagsljus och mörker (Figur 12), förutom för keramisk metallhalogen.



Figur 12 Hastighet (km/h) för cyklister i olika ljuskällor och i dagsljus och nattförhållande på gång- och cykelväg i Kungsholms strand, Stockholm. Hg=kvicksilverbelysning 125W, KMH=keramisk metallhalogenbelysning 70W, samt LED=LED-belysning (lysdioder) 25W. $n=100$.

Resultaten av de statistiska analyserna visar att den enda belysningen som hade någon effekt på cykelhastigheten var keramisk metallhalogen (Tabell 7). Cykelhastigheten var högre i dagsljus i keramisk metallhalogenbelysning än i mörker. Analyserna visar att den mesta variationen i cykelhastighet förklaras av skillnaden mellan dagsljus och mörker i keramiska metallhalogenbelysningen (koefficient på -2,59) även om anova visar att det finns skillnader mellan dagsljus och mörker (Tabell 8).

Tabell 7 Resultat av LMM, (Linear mixed model fit by REML; 'merModLmerTest'). KMH=keramisk metallhalogen belysning, samt LED=LED-belysning (lysdioder). SE=standardavvikelse.

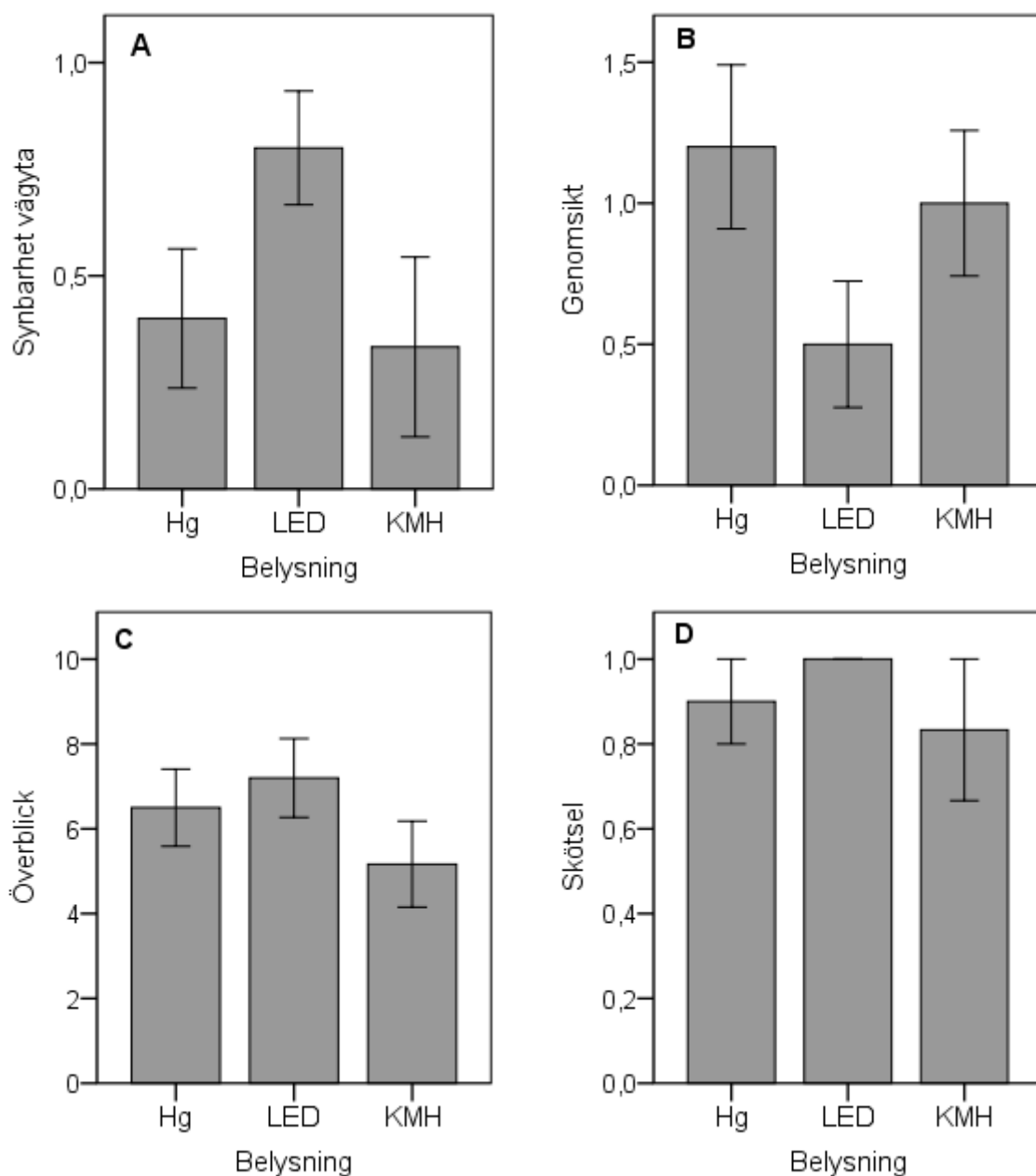
	Koefficienter	SE	t	P	
(Intercept)	20,55	0,33	62,43	<0,001	***
KMH	0,58	0,47	1,24	0,22	
LED	-0,43	0,47	-0,92	0,36	
Mörker	-0,59	0,47	-1,27	0,21	
KMH:mörker	-2,59	0,66	-3,93	<0,001	***
LED:mörker	0,24	0,66	0,36	0,72	

Tabell 8 Anova (typ 3) på LMM med satterthwaite approximation för frihetsgraderna. Df=frihetsgrader, SS=sums of square, MS=mean square, F=värde, P=signifikansnivå.

	Df	SS	MS	F	P	
Ljuskälla	2	52,1	26	2,4	0,0916	
Dag-Natt	1	282,9	282,94	26,11	<0,001	***
Ljuskälla:Dag-Natt	2	245,8	122,91	11,34	<0,001	***

4.4 Samspel mellan gatumiljö och belysning, trafiksäkerhets- och trygghetsaspekter

Medelvärde för upplevelsevariablerna visas i Figur 13. För synbarhet på vägytan har LED-belysningen högst mått (dvs. högst nivå av synbarhet). LED-belysningen har lägst värde för genomsikt vilket visar att vägens sidoområde inte hade lika skymd sikt som hos keramisk metallhalogenbelysning och kvicksilverbelysning (Figur 13b). För överblick och skötsel fanns vissa skillnader men inte stora (Figur 13c, d).



Figur 13 Medelvärde (± 1 S.E.) av upplevelseaspekter på GC-väg analyserat genom digitala fotografier. A) Synbarhet på vägyta (1=bra synbarhet utan svarta partier), B) Genomsikt (0=bra sikt i sidoområdet utan skymmande objekt eller svarta partier), C) Överblick (antal stolpar längs vägen som var synbara), D) Skötsel (1=bra skötsel). Hg=kvikksilverbelysning, LED=LED-belysning (lysdioder), KMH=keramisk metallhalogenbelysning.

Analyser av korrelationer mellan upplevelse och belysningstekniska variabler visas i Tabell 9. Synbarhet av vägbanan var signifikant positivt korrelerad med luminansmedelvärde (Lmed), luminansjämnhet (Uo), belysningsstyrkejämnhet (LuxJ) och negativt korrelerad med genomsikt och stolpavstånd (StolpAv). Genomsikt var negativt korrelerat med Ra-index (Ra) och belysningsstyrkejämnhet (LuxJ), medan Ra-index var negativt korrelerat med färgtemperatur (CCT), och belysningsstyrkemedelvärde (LuxM). Färgtemperatur (CCT) var positivt korrelerat med luminansmedelvärde (Lmed) och belysningsstyrkemedelvärde (LuxM). Luminansmedelvärde (Lmed) var dessutom

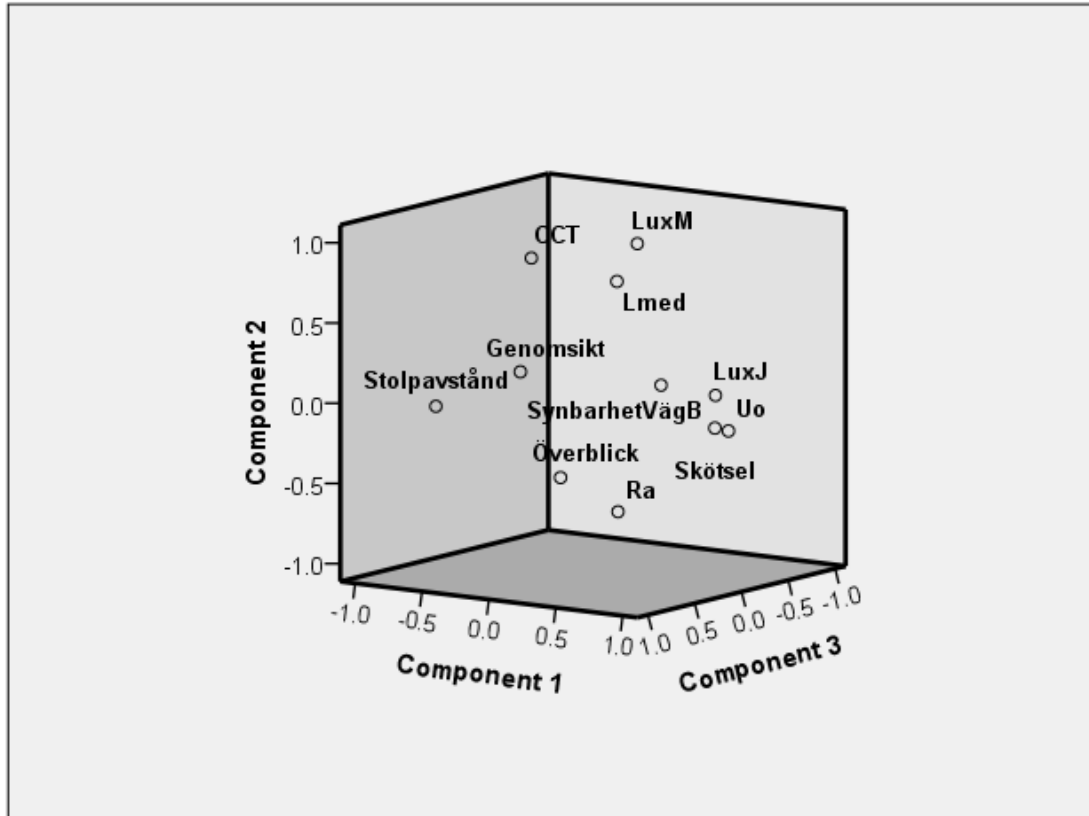
negativt korrelerat med luminansjämnhet (Uo) och positivt korrelerat med belysningsstyrkemedelvärdet (LuxM). Mått på jämnhet (luminans, Uo och belysningsstyrka, LuxJ) var positivt korrelerat med stolpavstånd (StolpAv).

Tabell 9 Halvmatrix över Pearsons korrelationskoefficienter över upplevelse- och belysningstekniska mätvariabler. Ra=Ra index, CCT=färgtemperatur, Lmed=luminansmedelvärde, Uo=luminansjämnhet, LuxM=medelvärde för belysningsstyrkan, LuxJ=jämnhet för belysningsstyrkan, StolpAv=stolpavstånd.

		Synbarhet vägbana	Genomsikt	Överblick	Skötsel	Ra	CCT	Lmed	Uo	LuxM	LuxJ	StolpAv
Synbarhet vägbana	PCC	1										
	N	26										
Genomsikt	PCC	-,519**	1									
	N	26	26									
Överblick	PCC	-0,013	-0,08	1								
	N	26	26	26								
Skötsel	PCC	0,312	-0,222	0,048	1							
	N	26	26	26	26							
Ra	PCC	0,504	-,559*	0,051	0,372	1						
	N	15	15	15	15	15						
CCT	PCC	0,037	0,263	-0,243	-0,374	-,576*	1					
	N	15	15	15	15	15	15					
Lmed	PCC	,426*	-0,1	-0,071	0,289	-0,166	,549*	1				
	N	26	26	26	26	15	15	26				
Uo	PCC	,406*	-0,327	-0,075	0,05	0,486	-0,444	-,399*	1			
	N	26	26	26	26	15	15	26	26			
LuxM	PCC	0,389	-0,179	-0,455	0,171	-,544*	,698**	,712**	0,023	1		
	N	16	16	16	16	15	15	16	16	16		
LuxJ	PCC	,706**	-,520*	-0,111	0,454	0,348	-0,245	0,321	,687**	0,302	1	
	N	16	16	16	16	15	15	16	16	16	16	
StolpAv	PCC	-,603**	,288	,161	-,328	-,105	,305	,146	-,812**	-,410	-,685**	1
	N	23	23	23	23	15	15	23	23	16	16	23

Principalkomponentanalysen (PCA) förklarar 78 % av variationen i det ingående datat i de tre första axlarna (Figur 14). PCA-figuren bekräftar hur variablerna i korrelationsanalysen hänger ihop på ett mer illustrativt sätt. Synbarhet på vägbanan grupperar sig tillsammans med luminansjämnhet, belysningsstyrkejämnhet samt skötsel medan stolpavstånd hamnar på motsatt sida (vilket indikerar ett motsatsförhållande). Även medelvärden för luminans och belysningsstyrka hamnar i en grupp i PCA-figuren. Övriga variabler i figuren verkar ha mindre samspel sinsemellan.

Component Plot



Figur 14 Figur över de tre första komponenternas axlar från principalkomponentanalys (PCA) över uppmätta variabler på GC-väg på Kungsholms strand, Stockholm. Första komponenten/axeln förklarar 41 % av variationen, andra komponenten förklarar 27 % av variationen och den tredje 10,4 %, dvs. totalt 78 %. SynbarhetVägB=synbarhet på vägbanan, Ra=Ra index, CCT=färgtemperatur, Lmed=luminansmedelvärde, Uo=luminansjämnhet, LuxM=medelvärde för belysningsstyrkan, LuxJ=jämnhet för belysningsstyrkan.

5 Diskussion

Den mest energieffektiva ljuskällan i denna studie var LED-belysningen. LED-belysningens energianvändning är endast 28 % av kvicksilverbelysningens energianvändning och 49 % av keramiska metallhalogenbelysningens energianvändning när man jämför i kWh/km/år och antar att belysningen är tänd 4000 timmar/år. Jämfört med energianvändningen av belysningen på vägar och gator är energianvändningen för LED-belysningen extremt låg, i detta fall 6550 kWh/km/år (se Jägerbrand & Carlson 2011). Däremot är energianvändningen för kvicksilverbelysningen onormalt hög (över 20 000 kWh/km/år) medan keramiska metallhalogenbelysningen ligger inom en ganska normal nivå. I dagsläget finns inga metoder utvecklade för att kunna bedöma energieffektiviteten av belysningen på gång- och cykelvägar liknande de som utvecklats för gatu- och vägbelysning (t.ex. Pracki & Jägerbrand 2013) som tar hänsyn till drift och underhåll, m.m. så det är svårt att i dagsläget jämföra ljuskällorna på ett mera detaljerat sätt än att jämföra energianvändning per km och år.

Lamporna i denna undersökning var av olika ålder vilket med rätt stor sannolikhet har betydelse för nivåerna på luminans och belysningsstyrkan. Kviksilverbelysningen är allra äldst medan LED-belysningen är helt nyinstallerad. Belysningsstyrkan och luminansen sjunker då ljuskällan åldras och armaturen blir smutsig och gammal (t.ex. Boyce m.fl. 2009; Mockey Coureaux & Manzano 2013). Jämförelsen mellan de olika ljuskällorna i denna studie är därför inte helt rättvis ur aspekten att den inte jämför belysning av samma ålder men samtidigt är jämförelsen legitim eftersom den belysningsnivå som ljuskällorna presterar är den som trafikanterna upplever.

Något förvånande så visar denna undersökning att LED-belysningen hade lägre Ra-index än keramiska metallhalogenbelysningen och lägre färgåtergivning än kvicksilverbelysningen. Värdena är dock inom normala intervall om man jämför med de nivåer som anges av Trafikverket & SKL (2012a), men färgtemperaturen för LED-lamporna är lägsta angivna. I en jämförelse mellan LED-, högtrycksnatrium- och keramisk metallhalogenbelysning visade Li m.fl. (2012) att LED-belysningen hade bättre färgåtergivning och bibehållen belysningsstyrka efter 3000 timmar.

I denna undersökning hade kvicksilverbelysningen högst värden för belysningsstyrkemedelvärde och luminansmedelvärde, samtidigt som samma belysning har lägst belysningsstyrkejämnhet och luminansjämnhet. LED-belysningen å andra sidan hade högst belysningsstyrkejämnhet och högst luminansjämnhet. När man jämför de belysningstekniska måtten med synbarhet av vägbanan blir det tydligt att kvicksilverbelysningen och keramisk metallhalogenbelysningen har lägre jämnhet och lägre synbarhet av vägbanan än LED-belysningen.

Detta hänger ihop med att stolpavstånden är mindre för LED-belysningen än kvicksilverbelysningen och den keramiska metallhalogenbelysningen och att LED-armaturen har en speciell design för att sprida ljuset. Stolpavstånden i denna studie var 21,6 m för kvicksilverbelysningen, 15,3 m för LED-belysningen och 21,3 m för den keramiska metallhalogenbelysningen. Användning av fler lampor per km väg är en stor ekonomisk nackdel eftersom installationen av LED då blir betydligt dyrare men det kan ändå löna sig i ett livscykelperspektiv då brinntiden och energiåtgången är lägre. Man bör analysera energiprestandan och kostnader ur ett livscykelperspektiv för att få korrekta jämförelser.

Medelnivåer för belysningsstyrkan i denna undersökning ligger på 6 lux för kvicksilverbelysning, 3 lux för keramisk metallhalogen belysning och 4,8 lux för LED. Trafikverket & SKL (2012a) rekommenderar nivåer om 2-15 lux i medelbelysningsstyrka för GC-vägar med plana beläggningar, medan andra rekommendationer existerar

i andra länder. Exempelvis rekommenderas 2-15 lux i Storbritannien och 2-10 lux i USA för områden där fotgängare befinner sig (Fotios mfl. 2005). Uppmätta nivåer i denna undersökning är således innanför de rekommenderade nivåerna för fotgängare.

Ur trafiksäkerhetsskäl är det viktigt att jämnheten är acceptabel eftersom man som oskyddad trafikant måste kunna se alla objekt eller hål i vägytan. En undersökning utförd av Fotios & Cheal (2013) i laboratoriemiljö analyserade detektion av objekt i högtrycksnatriumbelysning och kom fram till en nivå om 5,7 lux respektive 1,8 lux. Nivån om 5,7 lux baserades på analys om belysningsnivån går att höja tills en nivå nås då ytterligare höjningar tillför mycket liten extra synbarhet, medan nivån om 1,8 lux baserades på tester var ljuset begränsade synbarheten för att se ett föremål som är 2,5 mm högt 6 m ifrån föremålet. Resultaten är inte applicerbara för belysning i reell utemiljö men antyder att miniminivåerna i varje enskild mätpunkt på vägytan bör vara substantiella för att trafikanterna skall kunna se objekt i god tid. I denna undersökning var många av de uppmätta punktnivåerna under 2,5 lux, vilket också visade sig vara för lågt för att ge en tillräcklig bra synbarhet (när synbarhet av vägbanan analyserades med hjälp av de digitala fotografierna).

Ur ett trafiksäkerhetsperspektiv är det nödvändigt att undvika mörka vägparter eftersom det gör att man inte ser objekt som kan orsaka singelolyckor. Mörka partier bör även undvikas ur utformningsaspekten på grund av att oskyddade trafikanter känner sig otrygga i mörka områden (Kostic & Djokic 2009). I denna studie fanns ett tydligt samband mellan synbarhet på vägytan (dvs. svarta partier på vägytan som analyserades via digitala foton) och luminansmedelvärde, luminans- och belysningsstyrkejämnhet.

Det är oklart ifall cyklister upplever gatumiljön på samma sätt som fotgängare. Man kan tänka sig att det är viktigare för cyklister att ha möjlighet att detektera föremål/objekt och personer på vägytan på större avstånd än fotgängare, eftersom cykelhastigheten minskar reaktionsavståndet, men att man kan gissa att själva känslan av otrygghet på grund av mörka områden går att cykla förbi. Samtidigt måste man se vägytan för att våga cykla fortare så det är ett komplicerat förhållande mellan cykelhastighet, synbarhet, trygghet och belysningen. Mätningarna av cykelhastigheten i denna studie visar att cyklisterna har lägre hastigheter i mörker i en av belysningarna men då mätningarna utfördes vid olika datum är det svårt att jämföra och liknande trender saknas för de övriga ljuskällorna.

LED-belysning med armaturer som möjliggör en bra ljusspridning gör att ljuset får bra jämnhet och spridning vilket hade stor betydelse för att uppnå acceptabla belysningsnivåer och luminansnivåer i denna undersökning. I Kristofferssons rapport (2013) konstateras att de låga effektnivåerna på LED är tillräckliga men att detta beror på att det finns mycket omgivningsljus på Kungsholms strand.

Harita (2013) bedömde LED-belysningen på samma gång- och cykelväg på Kungsholms strand som utvärderades i denna studie, genom att ställa frågor till fotgängare och några cyklister. I Haritas (2013) utvärdering av LED-belysningen visade det sig att på frågan om belysningen var tillräcklig för vad man behövde se, svarade 59 % att de var nöjda med belysningen, medan 27 % tyckte att belysningen kunde vara högre i belysningsstyrka och 2 personer (9 %) tyckte att belysningen inte alls var tillräckligt bra. På en annan fråga framkom det att endast 38 % bedömde belysningen som tillräcklig när man fick ge ett allmänt omdöme ("How do you judge the lighting situation?"). Bedömning av belysningsnivå är avhängigt av bland annat personliga och sociala faktorer och det finns idag inga regelverk om hur människors egna åsikter om belysningen skall vägas in i utformningen av ljusinstallationer eller för kravnivåer på gång- och cykelvägar. Riktlinjer eller råd med fokus på vad som är en acceptabel

belysning sett ur trygghet och upplevelse är betydligt relevantare för mer energieffektiv belysning då man kan nå extremt låga effekt- och belysningsnivåer för att spara energi. Utan riktlinjer för upplevelse riskerar man att underbelysa för oskyddade trafikanter och därmed göra miljöer mer oattraktiva.

För cykelhastigheter visade denna studie att cykelhastigheterna var lägre när cyklister cyklade i mörker i keramisk metallhalogen medan inga signifikanta skillnader upptäcktes för övriga ljuskällor. Det är dock möjligt att tidpunkten på året gjorde att dessa signifikanta skillnader uppkom och inte ljuskällan i sig, då cykelmätningarna av praktiska skäl inte gick att genomföra vid samma tidpunkt i denna ljuskälla. Om tidpunkterna för uppmätning av cykelhastigheten i de olika ljuskällorna i dagsljus och i mörker hade varit vid exakt samma tidpunkt hade skillnaderna kunnat härledas säkrare till olikheter i belysningen och inte till att förändringar under året och dygnet förändrar sammansättningen av de som cyklar. Cykelflöden av pendlare och motionärer ändras förmodligen med tidpunkten på dygnet och året. Observationer av olika ”typer” av cyklister (motionärer, pendlare, familjer, etc.) gjordes i fältmätningarna och många verkar föredra att röra sig ute när det är ljus snarare än mörkt om de kan välja själva. Exempelvis en mamma med småbarn på cykel har ju betydligt enklare att se faror i god tid för att barnen ska kunna ta sig fram säkert i dagsljus jämfört med mörker, nästan oavsett hur bra belysningen är.

I en studie på cykelhastigheter i Lyon, Frankrike, kartlades cykelhastigheter för 11,6 miljoner cykelfärder via deras gemensamma cykelsystem Vélo’v (Jensen m.fl. 2010). Studien visar att veckodagar har de allra snabbaste cykelhastigheterna men att det finns stor variation utmed dygnets timmar och stora skillnader mellan veckodagstrafik och helgtrafik, liksom stora skillnader mellan de 10 % av cyklister som håller höga hastigheter. Studien visar att medelcykelhastigheten i rusningstrafik på morgonen är 13,5 km/h. Under helgerna var cykelhastigheterna betydligt lägre. Cykelhastigheter under morgonens rusningstrafik var också generellt högre än jämfört med eftermiddagens rusningstrafik. De 10 % av cyklistfärderna som hade de högsta hastigheterna hade en hastighet av ungefär 21 km/h i rusningstrafik på morgonen (06.00) till under 18 km/h vid 15.00-16.00 på eftermiddagen.

Cykelhastigheterna i denna studie visar på relativt höga cykelhastigheter (runt 20 km/h generellt). För att bättre kartlägga cyklisters hastighetsmönster i olika typer av belysning behövs också bra underlag för att veta hur cykelhastigheter förändras under året och dygnet. För detta behövs betydligt noggrannare mätningar och längre tidsserier än vad som var möjligt i denna studie.

6 Trafiksäkerhetsnyttan

Fråga: Hur reagerar oskyddade trafikanter i olika gatumiljöer och i samspel med en mer energieffektiv gatubelysning?

Ifrån mätningarna i denna studie kan inte påvisas signifikanta skillnader i cykelhastighet som beror enbart på belysningen. Det saknas mätningar gjorda på cyklisters hastigheter i olika miljöer och under olika förutsättningar för att kunna jämföra uppmätta värden med vad som är ”normalt” på svenska gång- och cykelvägar.

LED-belysning med låga effektnivåer kan uppfattas som otillräcklig av oskyddade trafikanter, fastän den uppfyller kraven om jämnhet enligt Trafikverkets & SKLs krav (se Harita 2013).

Det är okänt ifall otrygga miljöer påverkar oskyddade trafikanters transporthastigheter men en vetenskaplig studie (Franěk 2013) visar att ifall ett område upplevs som otryggt kommer fotgängare att skynda sig mera igenom det.

Det verkar som att oskyddade trafikanters upplevelse och transportbeteende samspelar med miljö och belysning och man bör därför beakta upplevelse- och trafiksäkerhetsaspekter i ett mer sammanhängande perspektiv.

Fråga: Vilken slags gatumiljö och belysning är mest trafiksäker och upplevs mest trygg för oskyddade trafikanter?

Den viktigaste aspekten för oskyddade trafikanter (som ej befinner sig i blandtrafik med bilister) är främst synbarhet och upplevelse av vägytan och sidoområdet. Det är alltså viktigt att ny belysning har tillräckligt bra styrka och jämnhet för att undvika svarta partier på vägbanan och i sidoområdet, samtidigt som gatumiljön bör vara öppen och fri från föremål eller vegetation så att det går att överblicka området mellan knä- till huvudhöjd.

I arbetet med denna rapport är det relativt uppenbart att det inte är helt lätt att jämföra mellan fotgängare och cyklister när man studerar aspekter av belysning, trafiksäkerhet och trygghetsfrågor. Detta beror delvis också på att man upplever miljön olika beroende på ifall man cyklar eller går, och man prioriterar troligen olika saker. Exempelvis är det viktigare för en cyklist att tydligt se vägytan en lång bit på vägen framför sig, medan fotgängare kanske snarare prioriterar att ha bra överblick och genomsikt av området. Baserat på resultaten i detta projekt kan man inte dra några slutsatser av detta men det är en viktig fråga för att kunna jobba mot hållbara stadsmiljöer att veta vad de olika trafikantgrupperna prioriterar som viktigast.

Fråga: Kan införandet av en mer energibesparande belysning inverka negativt eller positivt på trafiksäkerhet, trygghet eller upplevelse av trafiksäkerheten?

Ny, energieffektiv belysningen kan ge positiva effekter för trafiksäkerheten och eventuellt minska antalet singelolyckor för oskyddade trafikanter så länge som synbarheten i form av jämnhet (och styrka) kan upprätthållas. Denna studie visar att LED-belysning, även sådan med låg effekt, har bättre synbarhet (baserat på flera mått, både tekniska och upplevelsemått från digitala foton) än kvicksilverbelysning och keramisk metallhalogen när armaturen har bra spridning, dock kan LED-belysning i vissa fall kräva installation av fler stolpar per meter väg. Man måste också se till att effektnivån och jämnheten är tillräckligt hög ifall det inte finns omgivningsbelysning. Denna studie visar att det är möjligt att få tillräckliga jämnhetsnivåer med LED men att detta är beroende av armaturens utformning, design och antalet stolpar per meter väg (i detta fall 15,3 m stolpavstånd).

Det kan bli negativa effekter av ny energieffektiv belysning (på antalet singelolyckor eller på tryggheten) ifall stolpavstånd, belysningsstyrka och jämnhet underdimensioneras, armaturen inte tillåter tillräcklig spridning eller installation sker i miljöer med många objekt som skymmer sikten. Det är därför viktigt att tänka på helheten för belysningen.

Referenser

- Boyce, P. R., S. Fotios & M. Richards (2009). "Road lighting and energy saving." *Lighting Research and Technology* 41(3): 245-260.
- EC No 245/2009 (2009). "Kommissionens förordning (EG) nr 245/2009 av den 18 mars 2009 om genomförande av Europaparlamentets och rådets direktiv 2005/32/EG när det gäller krav på ekodesign för lysrör utan inbyggt förkopplingsdon, urladdningslampor med hög intensitet samt förkopplingsdon och armaturer som kan driva sådana lampor och om upphävande av Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/55/EG."
- Fotios, S. (2013). "LRT Digest 1 Maintaining brightness while saving energy in residential roads." *Lighting Research and Technology* 45(1): 7-21.
- Fotios, S. & C. Cheal (2013). "Using obstacle detection to identify appropriate illuminances for lighting in residential roads." *Lighting Research and Technology* 45: 362-376.
- Fotios, S., C. Cheal & P. R. Boyce (2005). "Light source spectrum, brightness perception and visual performance in pedestrian environments: A review." *Lighting Research and Technology* 37(4): 271-294.
- Fotios, S. & T. Goodman (2012). "Proposed UK guidance for lighting in residential roads." *Lighting Research and Technology* 44(1): 69-83.
- Franěk, M. (2013). "Environmental factors influencing pedestrian walking speed." *Perceptual and Motor Skills* 116(3): 992-1019.
- Gunnarsson, A., Jansson, M., Fors, H., & E. Kristensson (2012). "Vegetationsstyrning för ökad trygghet." Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, Landskap, Trädgård, Jordbruk, Rapportserie, Rapport 2012:13, Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap.
- Guo, L., Eloholma, M. & L. Halonen (2007). "Luminance monitoring and optimization of luminance metering in intelligent road lighting control systems." *Ingenieria Illuminatului*, 9: 24-40.
- Harita, U.S. (2013). "Project Kungsholms strand. Advanced individual control of outdoor lighting. Official final report Kungsholms strand." KTH report 2013.
- Jansson, M., H. Fors, T. Lindgren & B. Wiström (2013). "Perceived personal safety in relation to urban woodland vegetation - A review." *Urban Forestry and Urban Greening* 12(2): 127-133.
- Jensen, P., Rouquier, J-B., Ovtracht, N. & C. Robardet (2010). "Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon". *Transportation Research Part D* 15: 522-524.
- Jägerbrand, A.K. (2011). "Träds inverkan på belysningseffekt på gång- och cykelvägar." VTI rapport 723.
- Jägerbrand, A.K. & A. Carlson (2011). "Potential för en energieffektivare väg- och gatubelysning: jämförelse mellan dimning och olika typer av ljuskällor." VTI rapport 722.
- Johansson, M., M. Rosén & R. Küller (2011). "Individual factors influencing the assessment of the outdoor lighting of an urban footpath." *Lighting Research and Technology* 43(1): 31-43.

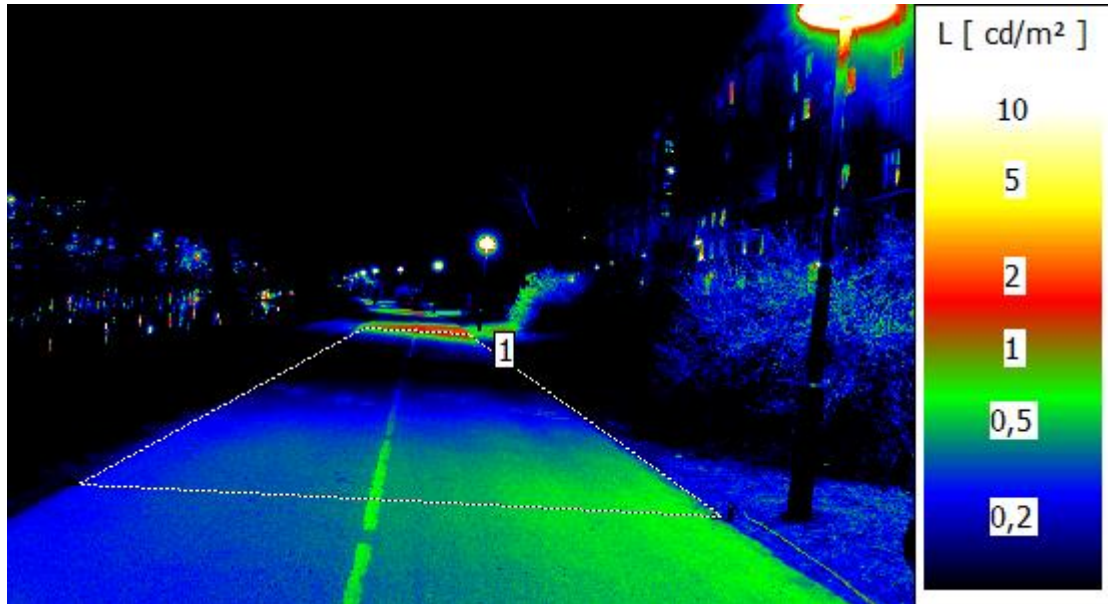
- Kostic, M. & L. Djokic (2009). "Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting." *Energy* 34(10): 1565-1572.
- Kristoffersson, J. (2013). "Avancerad individuell styrning av utomhusbelysning med närvarokontroll: Effekter av energianvändning samt upplevd trygghet, säkerhet och tillgänglighet vid närvaro-, tids- och styrning av ljusnivå vid publika gång- och cykelvägar." Rapport, Sustainable Innovation i Sverige AB (SUST).
- Kuhn, L., M. Johansson, T. Laike & T. Govén (2013). "Residents' perceptions following retrofitting of residential area outdoor lighting with LEDs." *Lighting Research and Technology* 45(5): 568-584.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P.B., & R.H.B. Christensen (2012). "Package 'lmerTest'. Tests for random and fixed effects for linear mixed effect models (lmer objects of lme4 package)." <http://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest/lmerTest.pdf>
- Li, M., Q. Han, W. Li, S. Shi, H. Zhang, J. Liu, F. Li & S. Zhang (2012). "Comparison research of street lamps: Characteristic parameters and lighting performance of light-emitting diodes, high pressure sodium lamps and ceramic discharge metal halide lamps." *Applied Mechanics and Materials* 229-231: 2610-2614.
- Lindgren, T. & M. R. Nilsen (2012). "Safety in residential areas." *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 103(2): 196-208.
- Mockey Coureaux, I. O. & E. Manzano (2013). "The energy impact of luminaire depreciation on urban lighting." *Energy for Sustainable Development* 17(4): 357-362.
- Niska, A. & J. Eriksson (2013). "Statistik över cyklisters olyckor. Faktaunderlag till gemensam strategi för säker cykling." VTI rapport 801.
- Niska, A., Gustafsson, S., Nyberg, J. & J. Eriksson (2013). "Cyklisters singelolyckor. Analys av olycks- och skadedata samt djupintervjuer." VTI rapport 779.
- Pracki P. & A.K. Jägerbrand (2013). "Application of road lighting energy efficiency evaluation system in practice". In: *Proceedings of CIE Centenary Conference "Towards a New Century of Light"* April 15-16, Paris, France, 2013. CIE conference 15-16 April, 2013, Paris, France. Pp. 1038-1043.
- R core Team (2013). "R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing." Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- SFS (2008). "Lag (2008:112) om ekodesign." Svensk författningssamling.
- SKL & Trafikverket (2010). "GCM-handbok. Utformning, drift och underhåll med gång-, cykel- och mopedtrafik i fokus." SKL, Sveriges kommuner och landsting.
- Technoteam (2006). "LMK Mobile Advanced based on the Canon EOS 350D digital reflex camera. Operating instructions for the mobile luminance measuring system." Techno Team Bildverarbeitung GmbH.
- Thulin, H. & Niska, A. (2009). "TEMA Cykel - Skadade cyklister. Analys baserad på sjukvårdsregistrerade skadade i STRADA." VTI rapport 644.
- Trafikverket & SKL (2012a). "Krav för vägars och gators utformning." 2012:179, Trafikverket och Sveriges Kommuner och Landsting.
- Trafikverket & SKL (2012b). "Råd för vägars och gators utformning." 2012:180, Trafikverket och Sveriges Kommuner och Landsting.

- Ulrich, R. S. (1986). "Human responses to vegetation and landscapes." *Landscape and Urban Planning* 13(C): 29-44.
- Westin, L. (2011) "Oskyddade trafikanters anspråk på trygghet i stadsmiljön - En fallstudie i stadsdelen Gunnesbo i Lund". Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Teknik och samhälle, Trafik och väg 2011, Thesis 211.
- Wolfe, M. K. & J. Mennis (2012). "Does vegetation encourage or suppress urban crime? Evidence from Philadelphia, PA." *Landscape and Urban Planning* 108(2-4): 112-122.

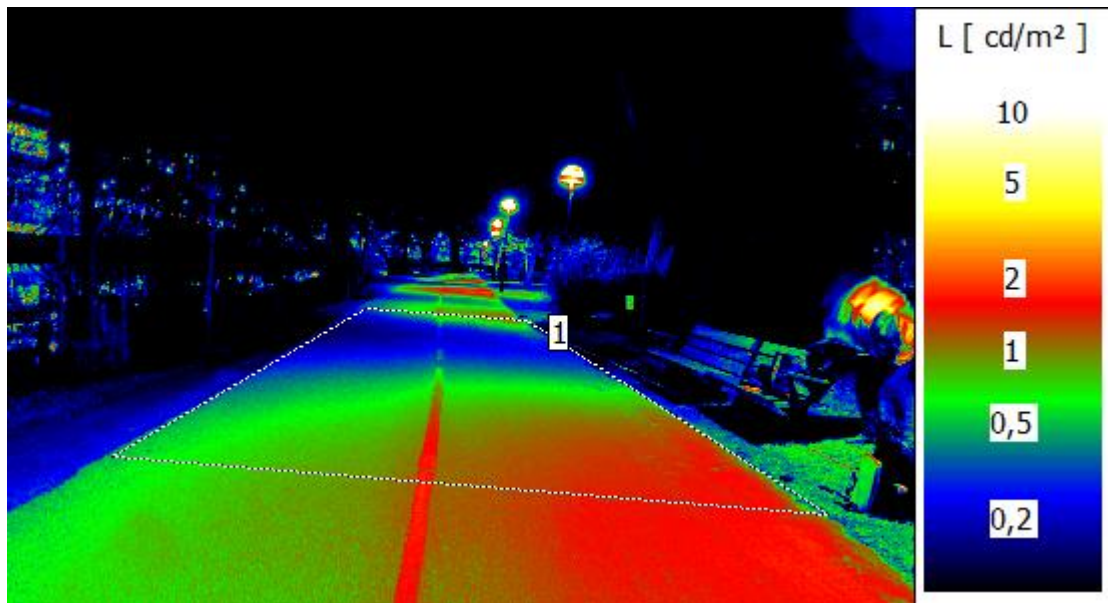
Bilaga A. Luminansbilder Kungsholms strand

Hg = Kvicksilverlampor 125W, LED = lysdiod-lampor 25W och Halogen = keramisk metallhalogenlampor 70W.

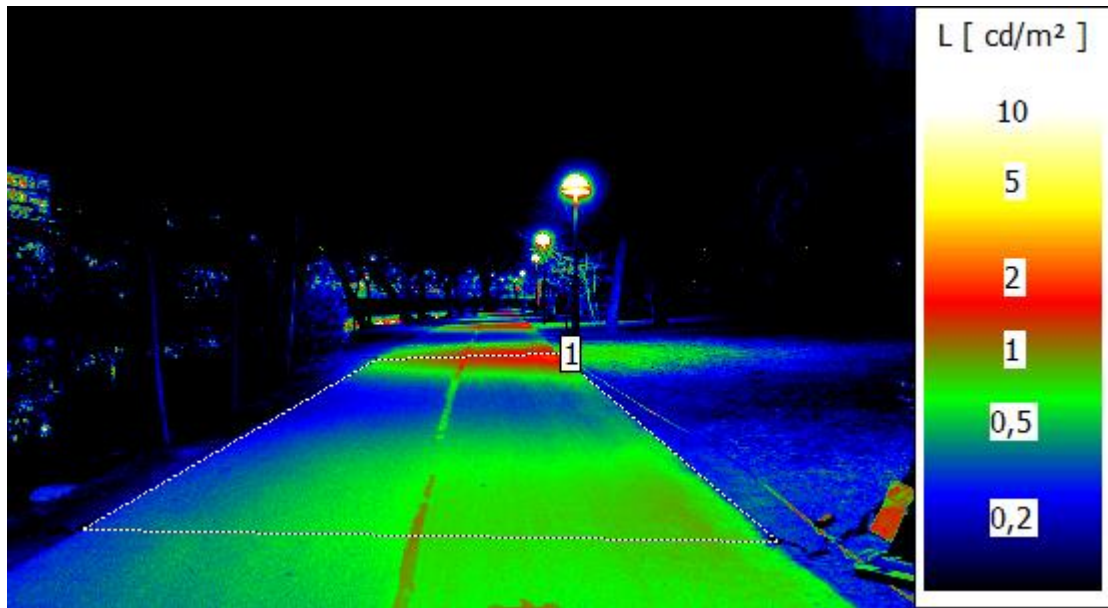
Hg1



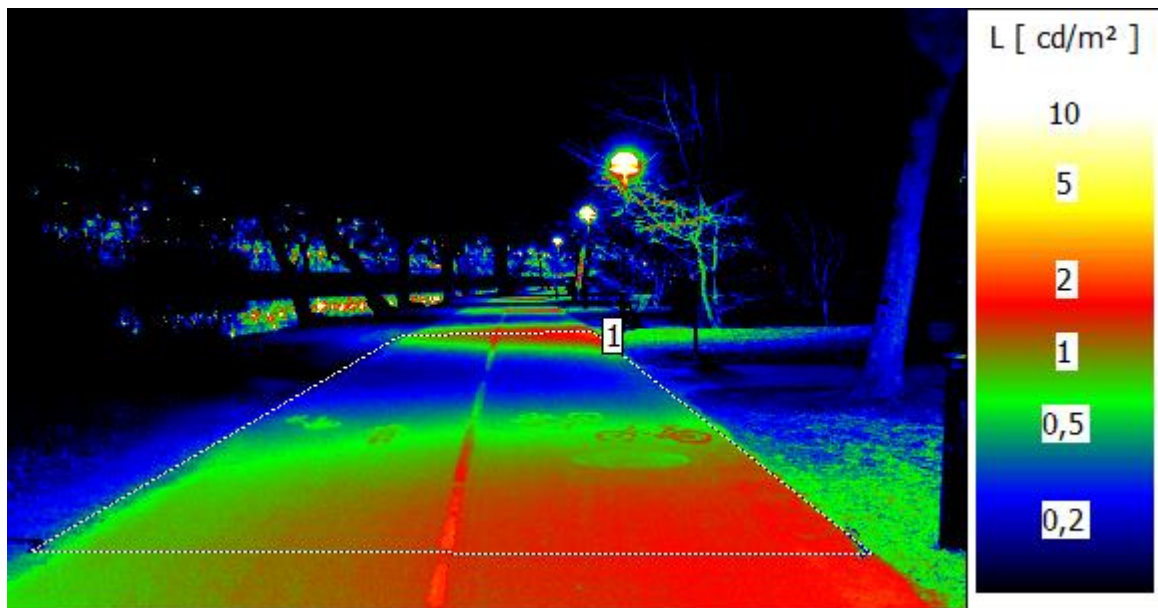
Hg2



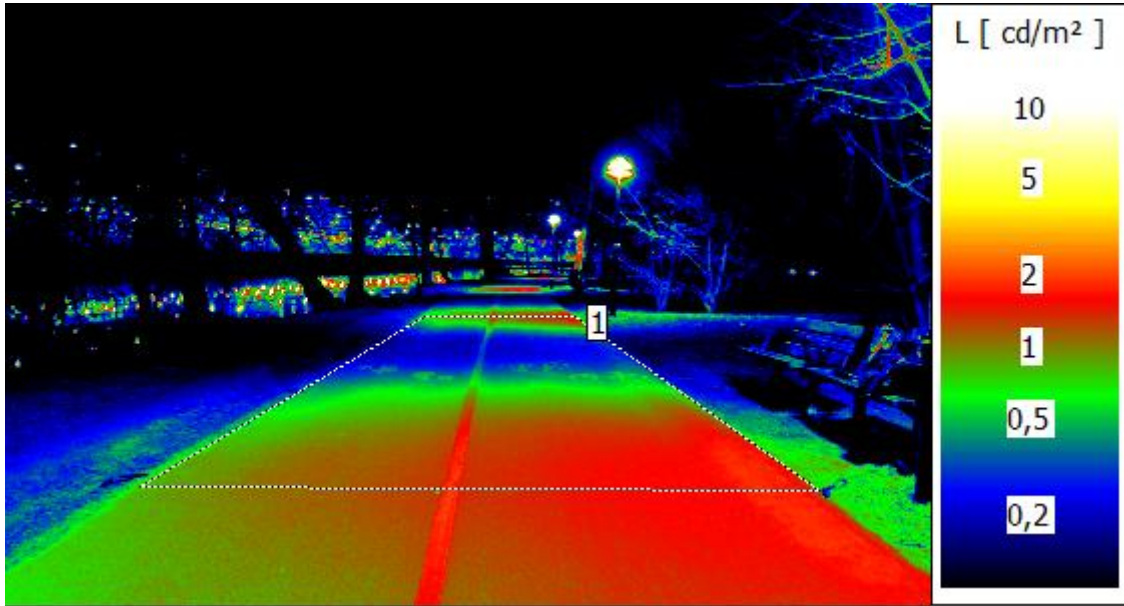
Hg3



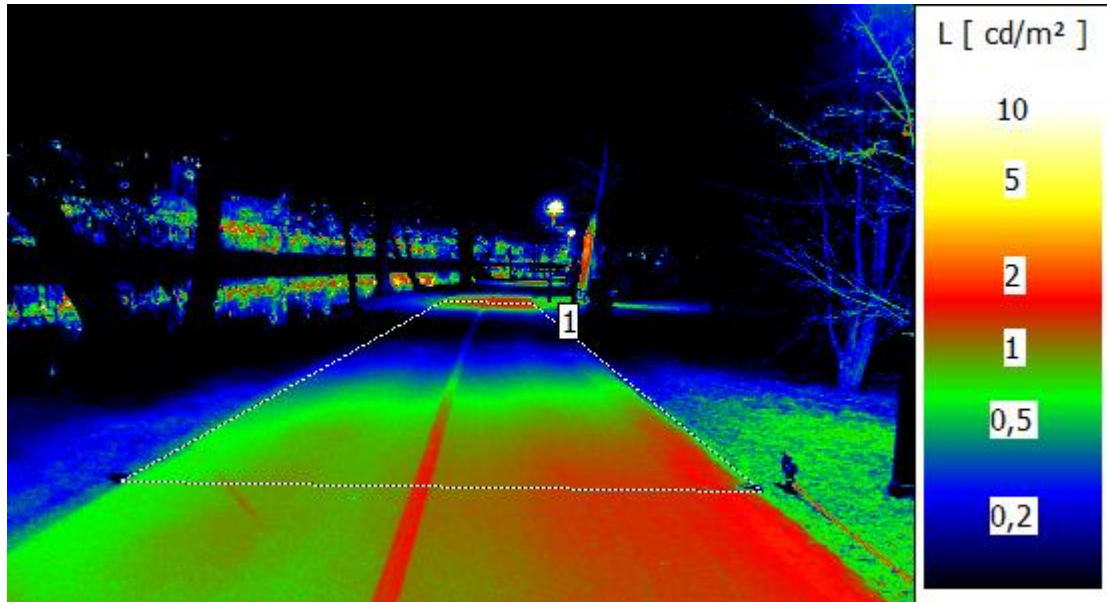
Hg4



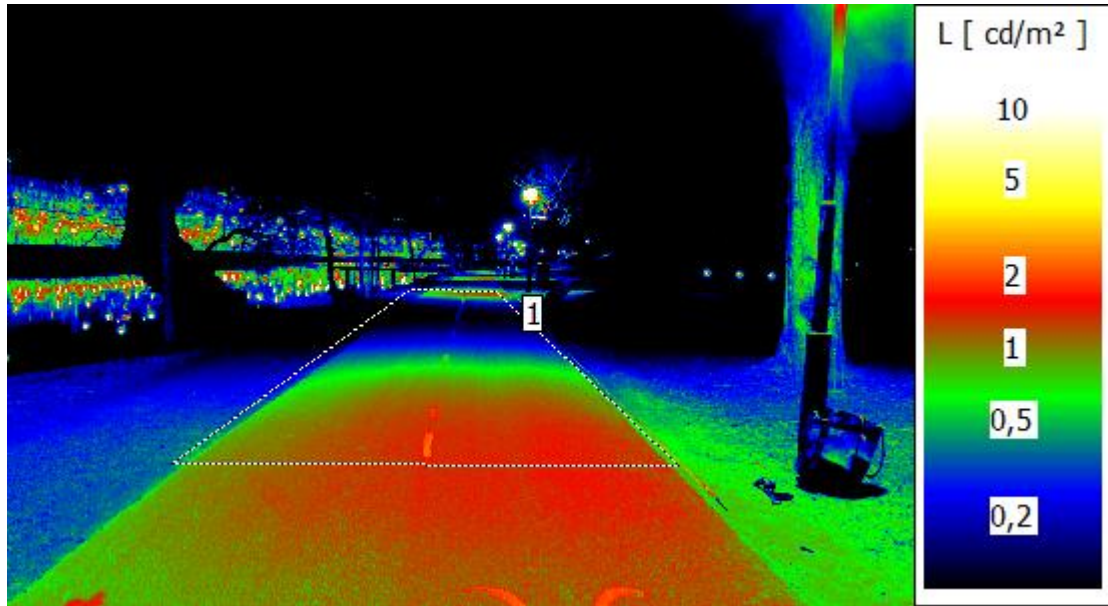
Hg5



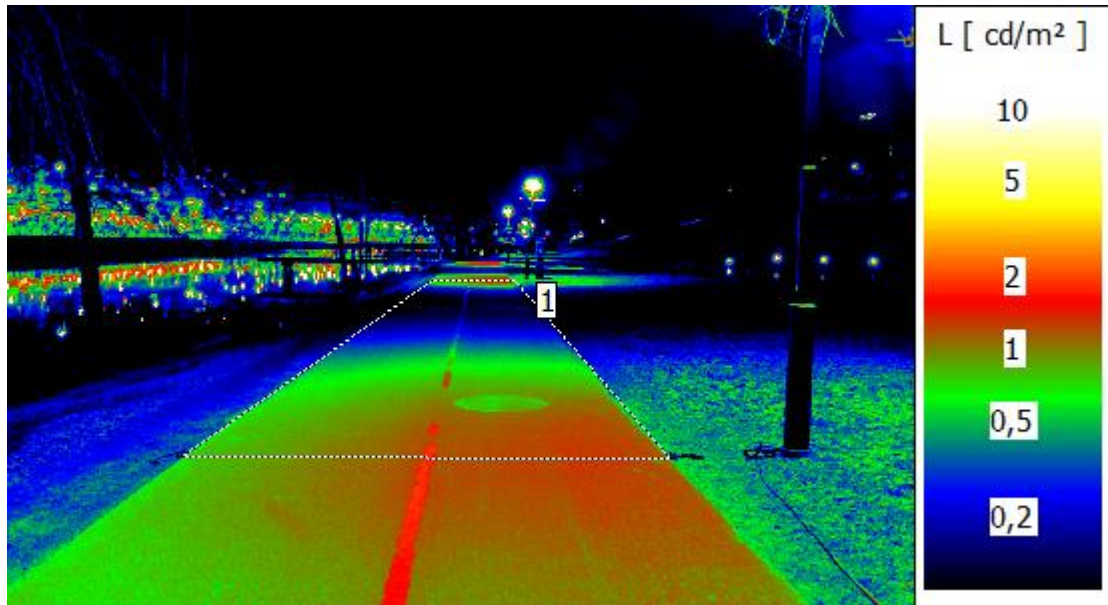
Hg6



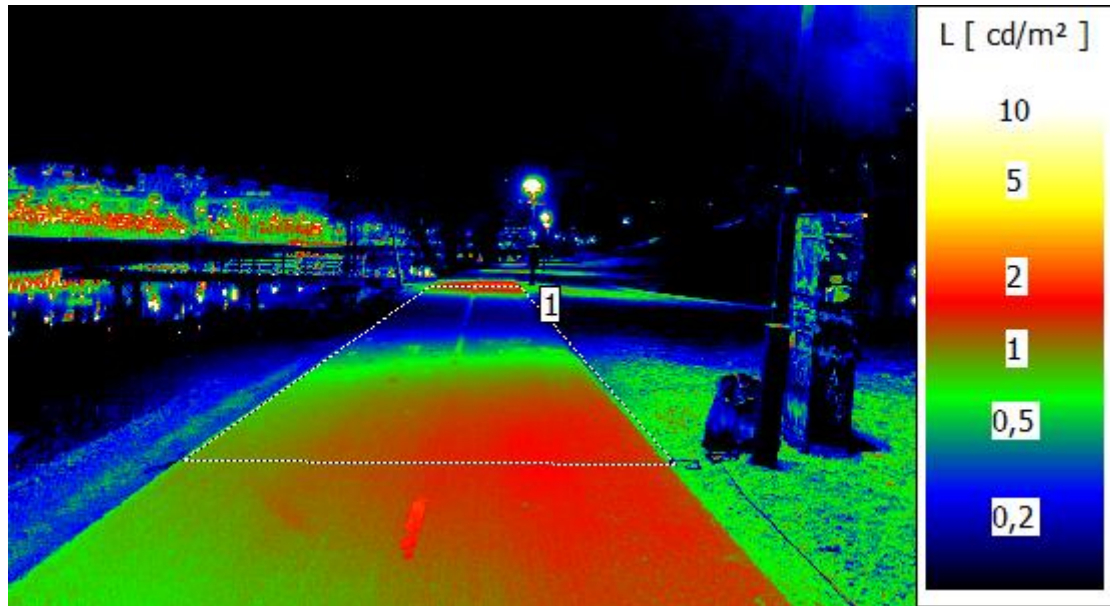
Hg7



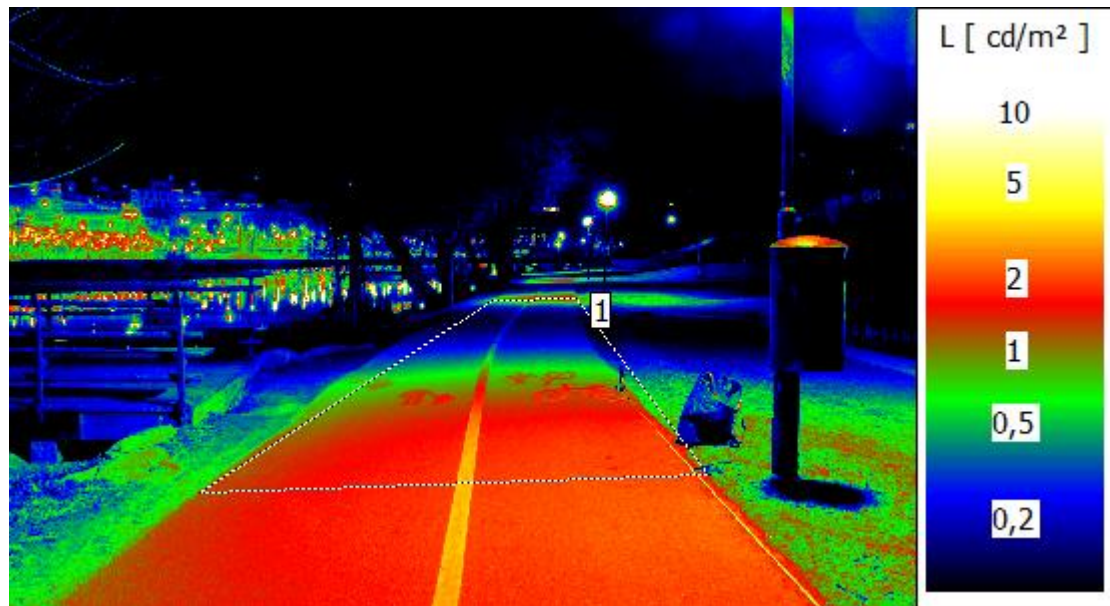
Hg8



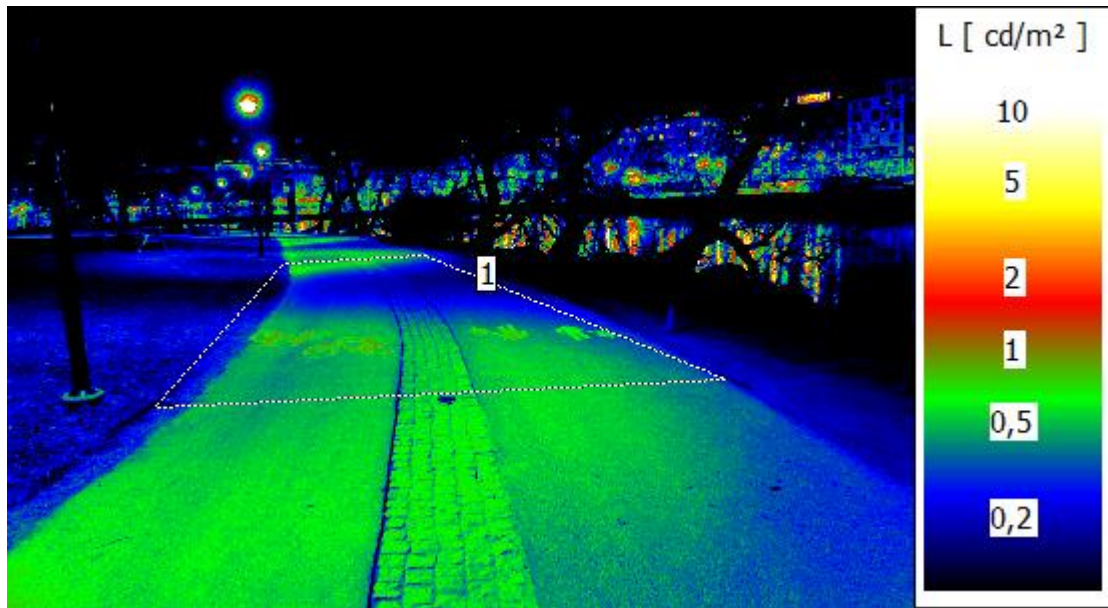
Hg9



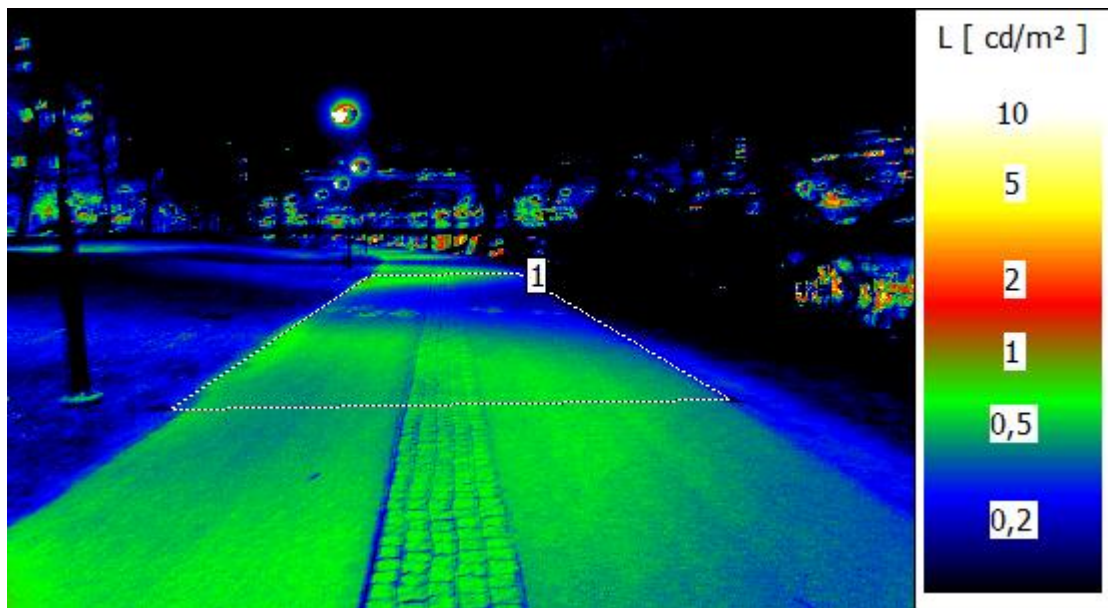
Hg10



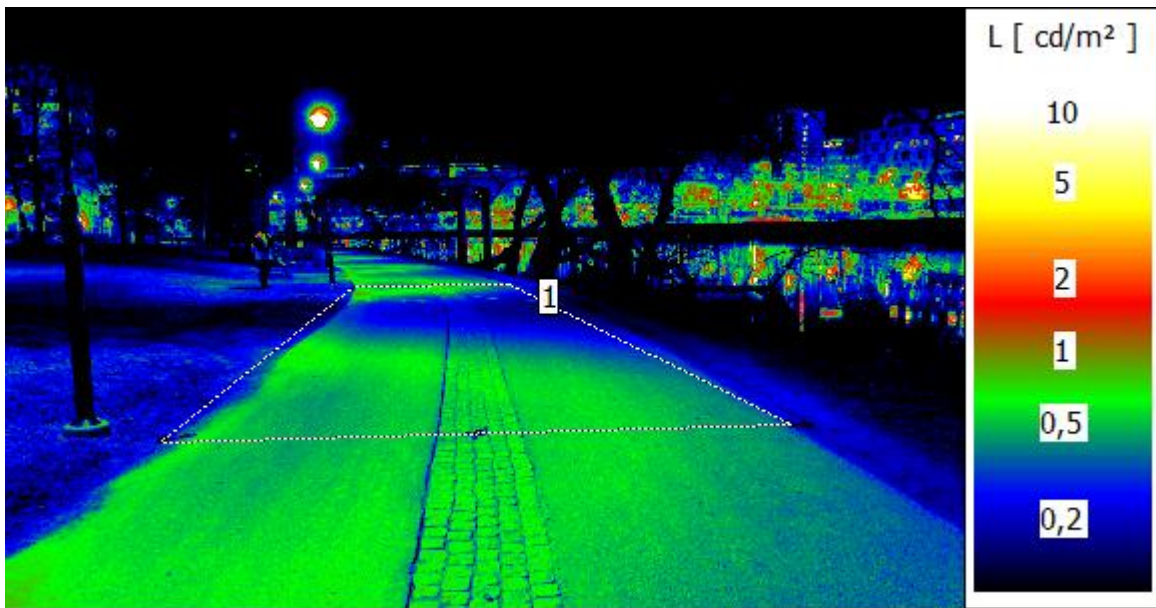
LED1



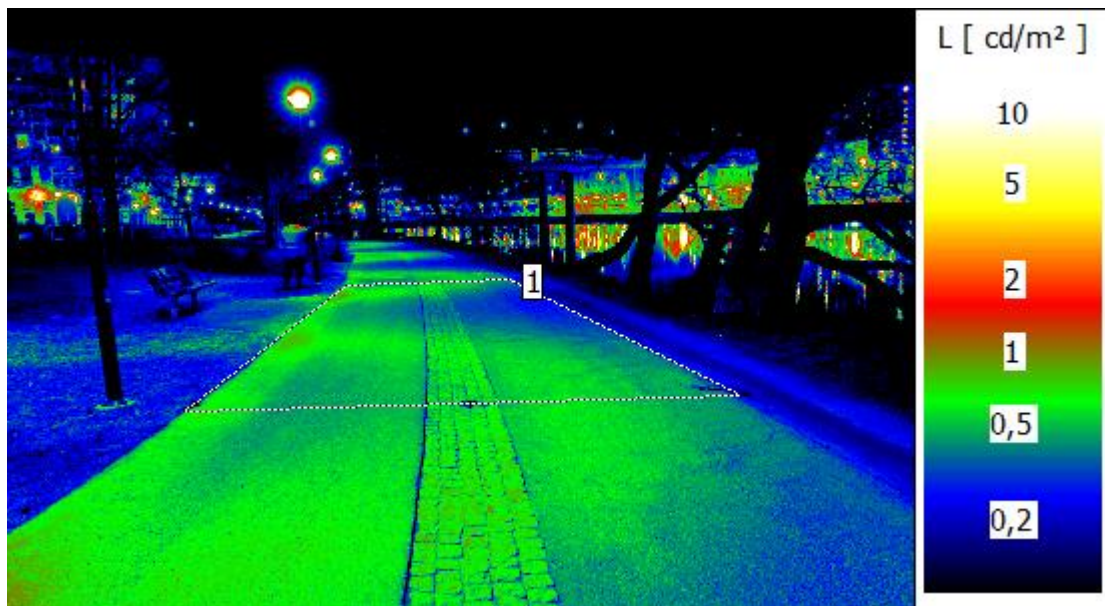
LED2



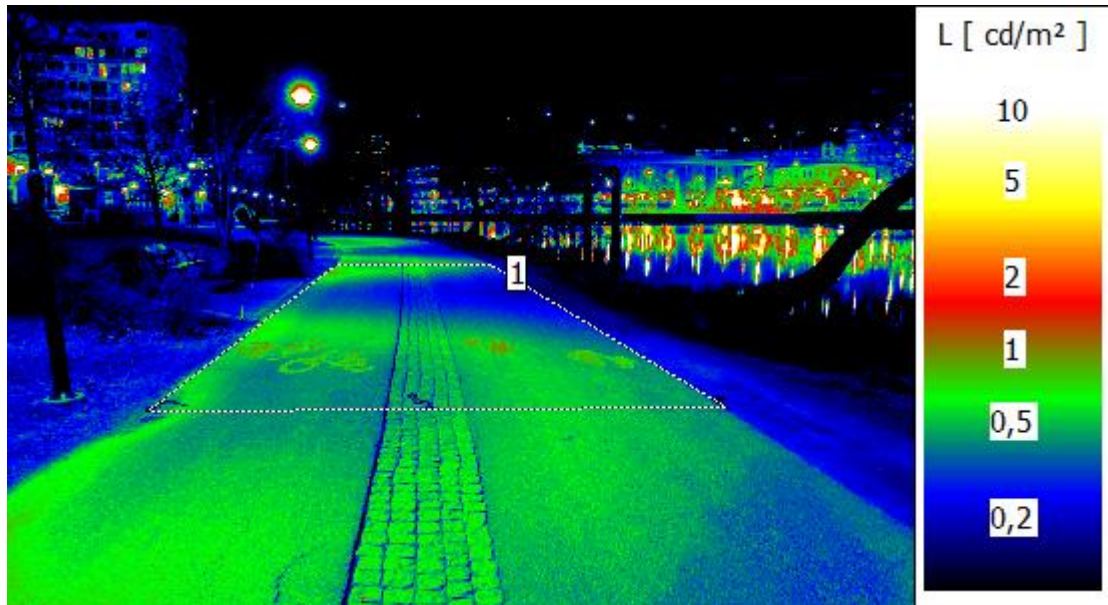
LED3



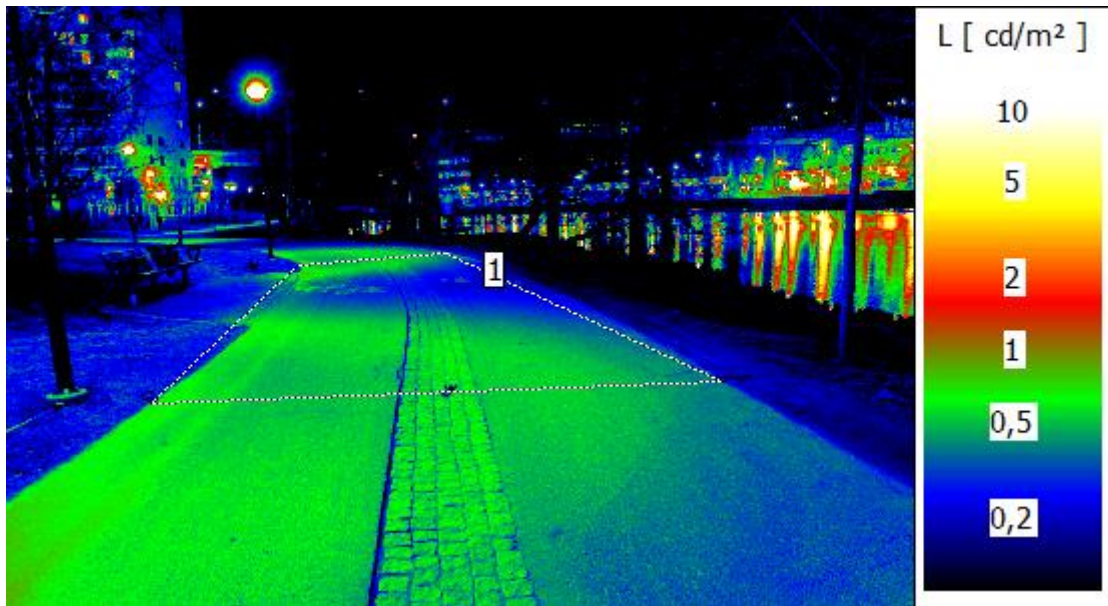
LED4



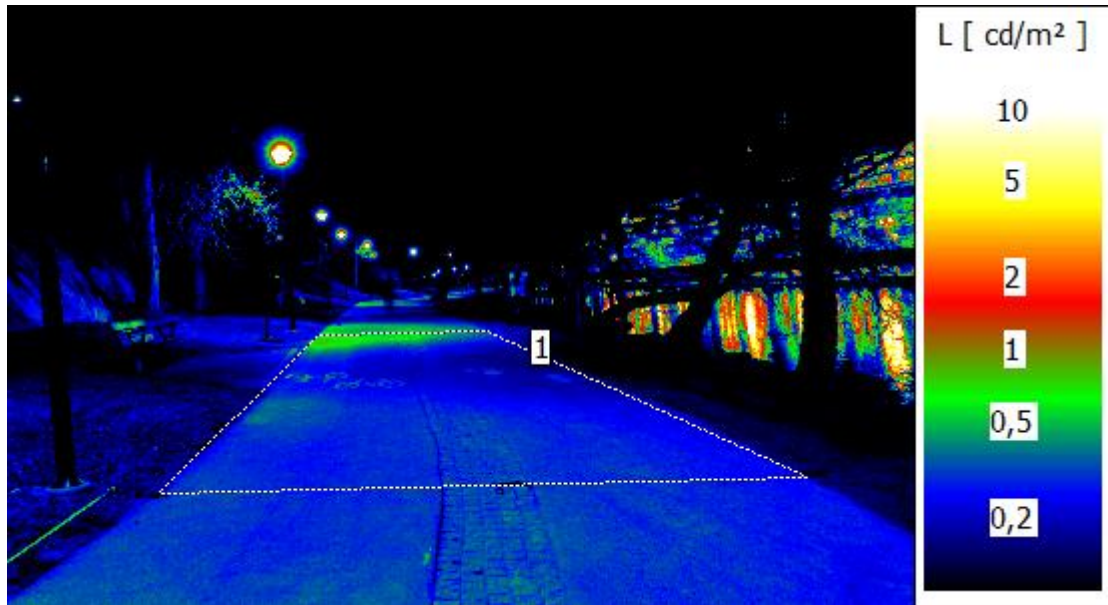
LED5



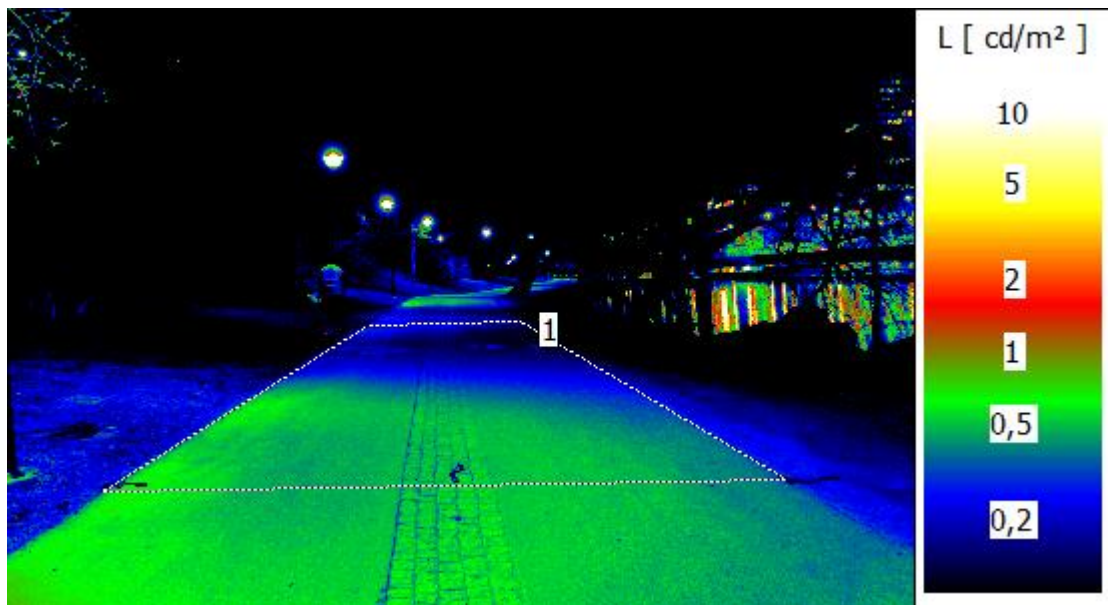
LED6



LED7



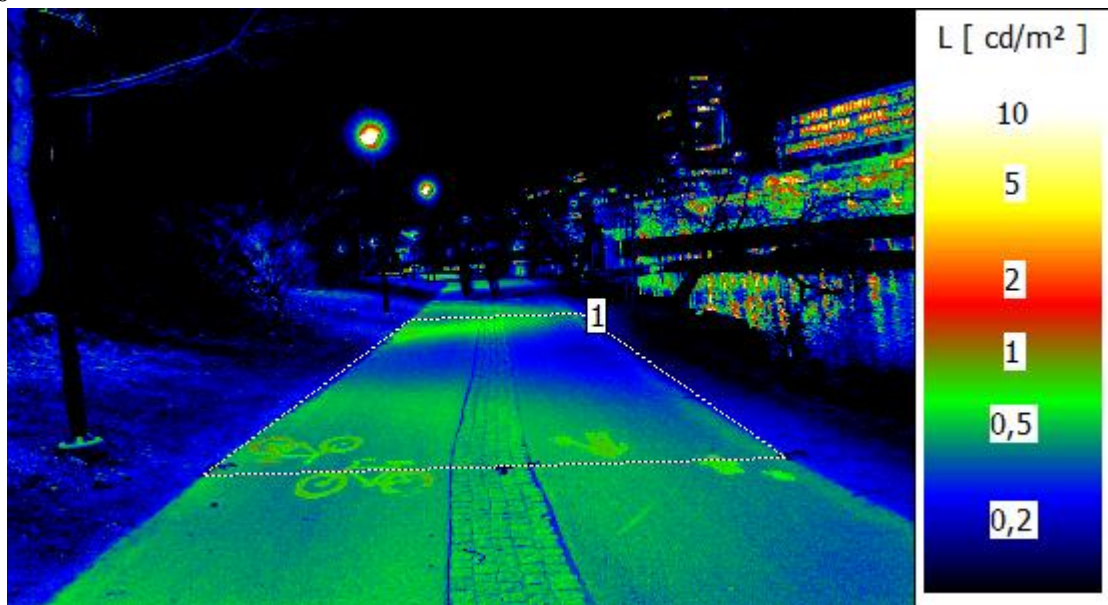
LED8



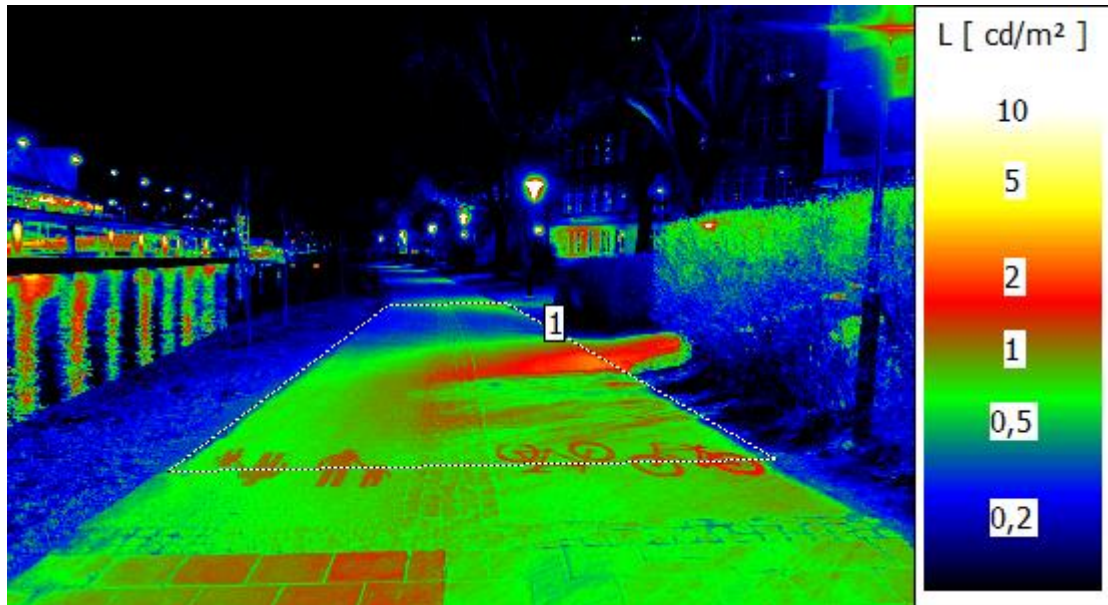
LED9



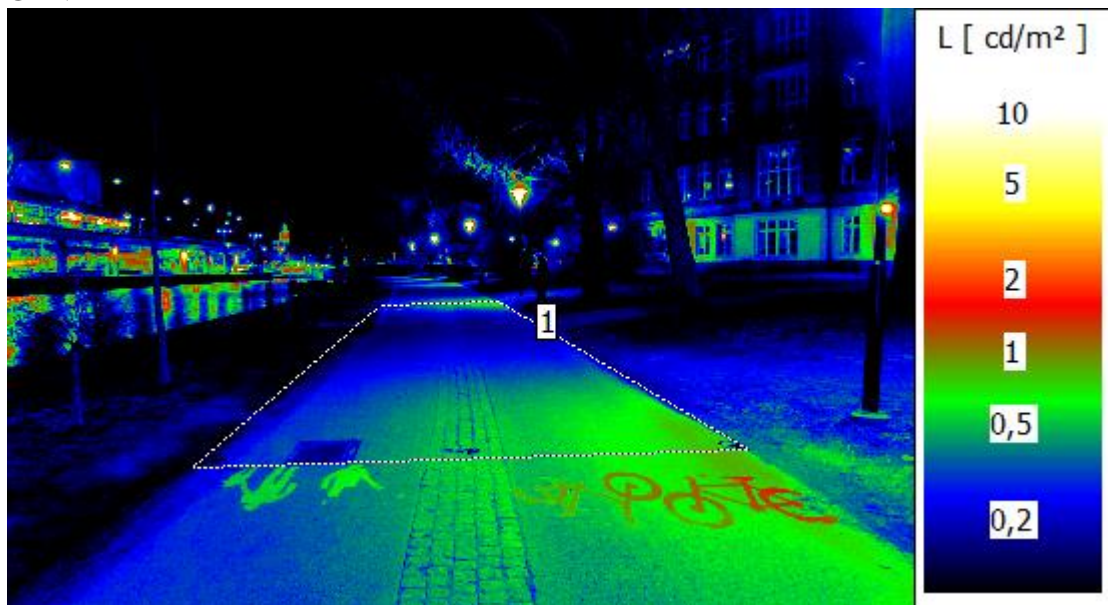
LED10



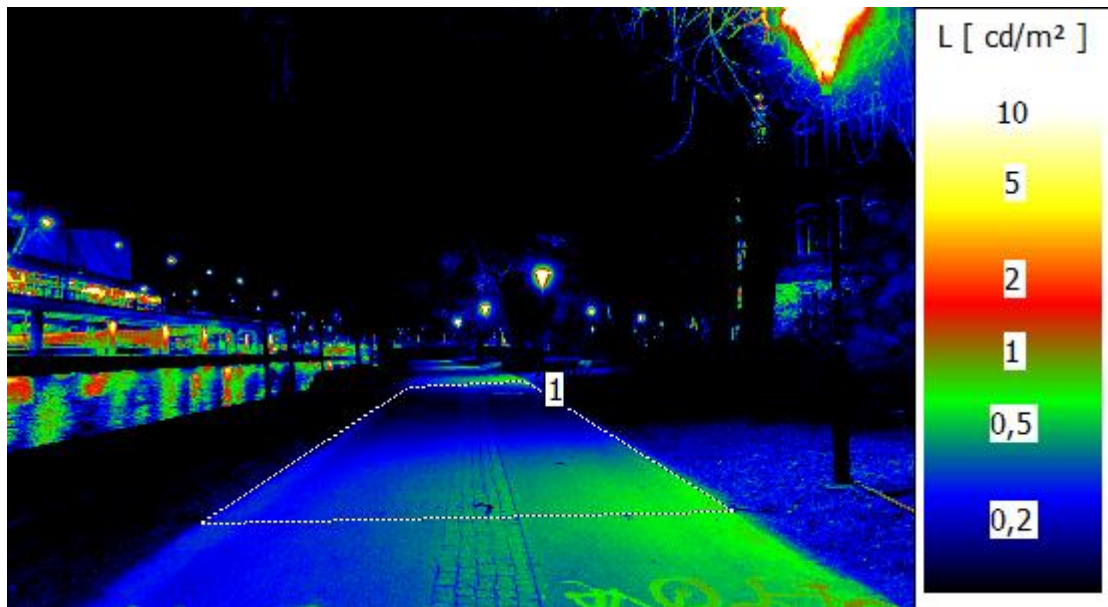
HALOGEN1



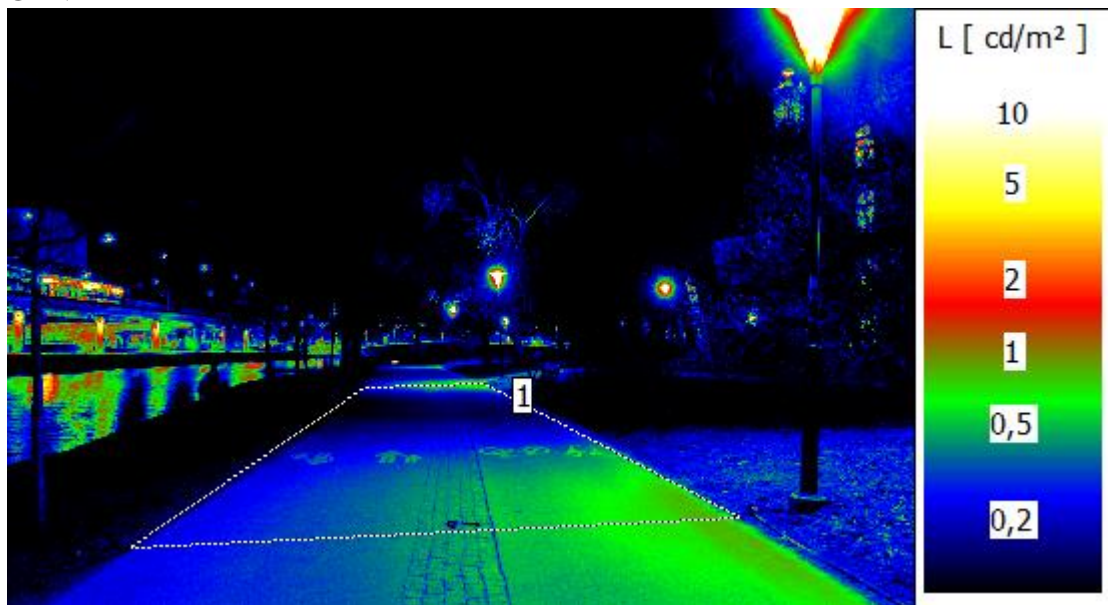
HALOGEN2



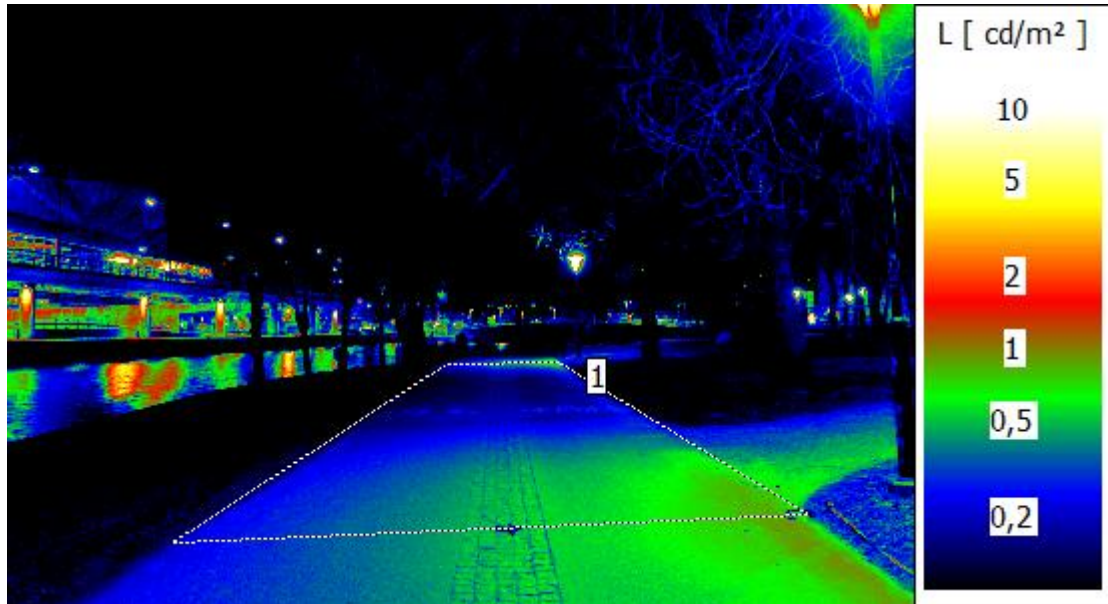
HALOGEN3



HALOGEN4



HALOGEN5



HALOGEN6



Bilaga B. Bilder Kungsholms strand.

Hg=Kvicksilverlampor 125W, LED=lysdiod-lampor 25W, och halogen=keramisk metallhalogenlampor 70W.

Hg1



Hg2



Hg3



Hg4



Hg5



Hg6



Hg7



Hg8



Hg9



Hg10



LED1



LED2



LED3



LED4



LED5



LED6



LED7



LED8



LED9



LED10



HALOGEN1



HALOGEN2



HALOGEN3



HALOGEN4



HALOGEN5



HALOGEN6



VTI, Statens väg- och transportforskningsinstitut, är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut inom transportsektorn. Huvuduppgiften är att bedriva forskning och utveckling kring infrastruktur, trafik och transporter. Kvalitetssystemet och miljöledningssystemet är ISO-certifierat enligt ISO 9001 respektive 14001. Vissa provningsmetoder är dessutom ackrediterade av Swedac. VTI har omkring 200 medarbetare och finns i Linköping (huvudkontor), Stockholm, Göteborg, Borlänge och Lund.

The Swedish National Road and Transport Research Institute (VTI), is an independent and internationally prominent research institute in the transport sector. Its principal task is to conduct research and development related to infrastructure, traffic and transport. The institute holds the quality management systems certificate ISO 9001 and the environmental management systems certificate ISO 14001. Some of its test methods are also certified by Swedac. VTI has about 200 employees and is located in Linköping (head office), Stockholm, Gothenburg, Borlänge and Lund.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE
LINKÖPING
POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING
TEL +46(0)13 20 40 00
www.vti.se

BORLÄNGE
POST/MAIL BOX 92
SE-721 29 BORLÄNGE
TEL +46(0)243 446 860
www.vti.se

STOCKHOLM
POST/MAIL BOX 55685
SE-102 15 STOCKHOLM
TEL +46(0)8 555 770 20
www.vti.se

GÖTEBORG
POST/MAIL BOX 8072
SE-402 78 GÖTEBORG
TEL +46(0)31 750 26 00
www.vti.se

LUND
POST/MAIL Medicon Village
SE-223 81 LUND
TEL +46(0)46 540 75 00
www.vti.se