



Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning med avseende på energiförbrukning

Sara Nygårdhs

Utgivare:  581 95 Linköping	Publikation: VTI rapport 703		
	Utgivningsår: 2011	Projektnummer: 80709	Dnr: 2008/0238-28
	Projektnamn: Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning för minskad energiförbrukning		
Författare: Sara Nygårdhs	Uppdragsgivare: Energimyndigheten		
Titel: Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning med avseende på energiförbrukning			
Referat (bakgrund, syfte, metod, resultat) max 200 ord: <p>Syftet med projektet ”Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning för minskad energiförbrukning”, finansierat av Energimyndigheten, var att studera om det är möjligt att reducera vägbelysningen och därmed spara energi och pengar genom att använda ljusare vägbeläggningar än de som normalt används då man lägger nytt slitlager på en väg.</p> <p>Studien har genomförts i två etapper:</p> <p>Etapp 1 har syftat till att skatta kostnader för frakt av stenmaterial, underhållsåtgärder och energi för vägbelysning dels vid användandet av konventionella stenmaterial, dels vid användandet av ljusa material.</p> <p>I etapp 2 har vägbeläggningar i några svenska kommuner inventerats genom fältmätningar av beläggnings luminanskoefficient. Under antagandet att belysningsanläggningen dimensionerats enligt gällande regelverk, var syftet med denna inventering att undersöka om den faktiska beläggnings ljushet innebar en över- eller underdimensionering av anläggningens belysningsstyrka.</p> <p>Den sammanfattande slutsatsen från hela projektet var följande:</p> <ul style="list-style-type: none"> • På vissa gator och vägar är det möjligt att reducera vägbelysningen och ändå uppfylla luminanskravet i regelverket; dock är det svårmotiverat ur ett energiförbrukningsperspektiv att använda annat än ortens eget material för att få ljusare vägbeläggning. 			
Nyckelord: Vägbelysning, vägbeläggning, energiförbrukning, luminanskoefficient			
ISSN: 0347-6030	Språk: Svenska	Antal sidor: 29 + 3 bilagor	

Publisher:  SE-581 95 Linköping Sweden	Publication: VTI rapport 703		
	Published: 2011	Project code: 80709	Dnr: 2008/0238-28
	Project: Interaction between road lighting and road surface for reduced energy consumption		
Author: Sara Nygårdhs		Sponsor: The Swedish Energy Agency	
Title: Interaction between road lighting and road surface with respect to energy consumption			
Abstract (background, aim, method, result) max 200 words: <p>The aim of the project "Interaction between road lighting and road surface for reduced energy consumption", financed by the Swedish Energy Agency, was to study if it is possible to reduce road lighting and thereby save energy and money by using brighter pavements than those normally used.</p> <p>The study has been performed in two steps:</p> <p>Step 1 aimed to estimate costs for transporting stone material, maintenance and energy for road lighting, both when using conventional stone materials and brighter materials.</p> <p>In step 2, road surfaces in some Swedish municipalities have been audited by field measurements of the luminance coefficient of road surfaces. Under the premise that the road lighting construction has been dimensioned according to the existing regulations, the aim of this audit was to investigate if the actual road surface brightness would mean an over- or underestimation of the illuminance in the road lighting construction.</p> <p>The overall conclusion from the whole project is:</p> <ul style="list-style-type: none"> • On some roads, it is possible to reduce road lighting and still fulfill the requirement for luminance; however, from an energy consumption perspective, it is hard to motivate using other than the local stone material to get brighter road surfaces. 			
Keywords: Road lighting, road surface, energy consumption, luminance coefficient			
ISSN: 0347-6030	Language: Swedish	No. of pages: 29 + 3 Appendices	

Förord

Detta projekt har finansierats av Energimyndigheten där Kenneth Asp varit kontaktperson.

Fältnätningar av vägytors luminanskoefficient har utförts av Carina Fors, VTI, samt undertecknad. Robert Karlsson, VTI, har bidragit till projektet genom sin kunskap om vägbeläggningar. Stort tack till er båda! Rapporteringen har gjorts av Sara Nygårdhs som också varit projektledare på VTI.

Linköping december 2010

Sara Nygårdhs

Kvalitetsgranskning

Granskningsseminarium genomfört 2010-12-20 där S-O Lundkvist var lektor. Sara Nygårdhs har genomfört justeringar av slutligt rapportmanus 2010-12-20.

Projektledarens närmaste chef, Jan Andersson, har därefter granskat och godkänt publikationen för publicering 2010-12-21.

Quality review

Review seminar was carried out on 2010-12-20 where S-O Lundkvist reviewed and commented on the report. Sara Nygårdhs has made alterations to the final manuscript of the report on 2010-12-20. The research director of the project manager Jan Andersson examined and approved the report for publication on 2010-12-21.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	5
Summary	7
1 Bakgrund och syfte	9
2 Begrepp och beteckningar	10
3 Kortfattad litteraturöversikt	11
3.1 Sammanfattande litteraturöversikt med fokus på erfarenheter av ljusa vägbeläggningar i Danmark	11
3.2 Sammanfattande erfarenheter från utförda studier	12
4 Etapp 1: Skattning av kostnader	13
4.1 Vägbeläggning	13
4.2 Vägbelysning	18
4.3 Samspel mellan vägbeläggning och vägbelysning	18
4.4 Slutsatser från etapp 1	22
5 Etapp 2: Mätning av luminanskoefficient	23
5.1 Urval och metod	23
5.2 Resultat	23
5.3 Slutsatser från etapp 2	26
6 Sammanfattande slutsats	27
Referenser	28

Bilaga A: Beräkningar

Bilaga B: Mätresultat

Bilaga C: Bilder

Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning med avseende på energiförbrukning

av Sara Nygårdhs
VTI
581 95 Linköping

Sammanfattning

I juni 2009 påbörjades projektet ”Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning för minskad energiförbrukning”, finansierat av Energimyndigheten. Syftet med projektet var att studera om det är möjligt att reducera vägbelysningen och därmed spara energi och pengar genom att använda ljusare vägbeläggningar än de som normalt används då man lägger nytt slitlager på en väg.

Studien har genomförts i två etapper:

Etapp 1 har syftat till att skatta kostnader för frakt av stenmaterial, underhållsåtgärder och energi för vägbelysning dels vid användandet av konventionella stenmaterial, dels vid användandet av ljusa material.

I etapp 2 har vägbeläggningar i några svenska kommuner inventerats genom fältmätningar av beläggningars luminanskoefficient. Under antagandet att belysningsanläggningen dimensionerats enligt gällande regelverk, var syftet med denna inventering att undersöka om den faktiska beläggningens ljushet innebar en över- eller underdimensionering av anläggningens belysningsstyrka.

I både etapp 1 och etapp 2 har ett antal exempel använts och antaganden gjorts.

Utgående från exemplen i etapp 1 kan följande slutsatser dras:

- En väg med ljus beläggning kostar mindre i drift än motsvarande väg med mörk beläggning.
- Om det ska löna sig att lägga ett nytt slitlager som är ljusare än stenmaterialet i den närmaste tänkten måste det ljusare stenmaterialet finnas nära och inte vara alltför dyrt.

Med utgångspunkt från den luminanskoefficient som uppmätts på exempelvägsträckorna i etapp 2 kan följande slutsatser dras:

- Det tycks finnas en potential att sänka belysningsstyrkan och därmed effekten på vissa vägars belysningsanläggning och ändå uppfylla luminanskravet.
- Regelverket Vägar och gators utformning (VGU) kan behöva revideras med avseende på vägbeläggningars Qd-värde.

Den sammanfattande slutsatsen från hela projektet blir följande:

- På vissa gator och vägar är det möjligt att reducera vägbelysningen och ändå uppfylla luminanskravet i regelverket; dock är det svårmotiverat ur ett energiförbrukningsperspektiv att använda annat än ortens eget material för att få ljusare vägbeläggning.

Det är också värt att notera att med mer omfattande mätningar av luminanskoefficienten skulle förmodligen standardvärdena för vägytors ljushet i regelverket kunna revideras.

Interaction between road lighting and road surface with respect to energy consumption

by Sara Nygårdhs

VTI (Swedish National Road and Transport Research Institute)

SE-581 95 Linköping Sweden

Summary

In 2009 the project "Interaction between road lighting and road surface for reduced energy consumption" started, financed by the Swedish Energy Agency. The aim of the project was to study if it is possible to reduce road lighting and thereby save energy and money by using brighter pavements than those normally used.

The study has been performed in two steps:

Step 1 aimed to estimate costs for transporting stone material, maintenance and energy for road lighting, both when using conventional stone materials and brighter materials.

In step 2, road surfaces in some Swedish municipalities have been audited by field measurements of the luminance coefficient of road surfaces. Under the premise that the road lighting construction has been dimensioned according to the existing regulations, the aim of this audit was to investigate if the actual road surface brightness would mean an over- or underestimation of the illuminance in the road lighting construction.

Both in step 1 and in step 2 a number of examples have been used and assumptions have been made. From the examples in step 1 the following conclusions can be drawn:

- A road with a bright road surface has lower management costs than a corresponding road with dark road surface.
- To make it profitable to use a coating brighter than the stone material found nearest the road, the brighter stone material must be nearby and not be too expensive.

From the luminance coefficient measured at the example road stretches in step 2, the following conclusions can be drawn:

- There seems to be a potential to reduce the illuminance and thereby the power consumption on some roads, still fulfilling the demand for luminance.
- The regulations might be in need of modification with respect to the Qd value of road surfaces.

The overall conclusion from the whole project is:

- On some roads, it is possible to reduce road lighting and still fulfill the requirement for luminance; however, from an energy consumption perspective, it is hard to motivate using other than the local stone material to get brighter road surfaces.

It is also worth mentioning that with more large-scale measurements of the luminance coefficient, the standard values in the regulations could probably be altered.

1 Bakgrund och syfte

I juni 2009 startade projektet ”Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning för minskad energiförbrukning”, finansierat av Energimyndigheten. Syftet med projektet har varit att studera om det är möjligt att reducera vägbelysningen och därmed spara energi och pengar genom att använda ljusare vägbeläggningar än de som normalt används då man lägger nytt slitlager på en väg.

Studien har genomförts i två etapper:

Etapp 1 har syftat till att skatta kostnader för frakt av stenmaterial, underhållsåtgärder och energi för vägbelysningen dels vid användandet av konventionella stenmaterial, dels vid användandet av ljusa material – naturliga eller syntetiska.

I **etapp 2** har i ett antal svenska kommuner gjorts en inventering av vägbeläggnings ljushet genom fältmätningar av luminanskoefficienten. Under antagandet att belysningsanläggningen har dimensionerats enligt gällande regelverk, var syftet med denna inventering att undersöka om den faktiska vägbeläggnings ljushet innebar en över- eller underdimensionering av anläggningens belysningsstyrka.

Denna rapport utgör slutrapport i projektet.

2 Begrepp och beteckningar

I denna rapport används en del begrepp och beteckningar som förklaras här.

Ljusflöde, Φ , är den totala strålning, inom det synliga området, som utgår från en ljuskälla. Enheten för ljusflöde är lumen (lm).

Ljusutbyte, η , anger en ljuskällas effektivitet och anges som kvoten mellan ljusflöde och tillförd energi. Ljusutbyte mäts i lm/W.

Belysningsstyrka, E , definieras som det ljusflöde som träffar en given area. Enheten för belysningsstyrka är lm/m^2 , eller vanligare, lux (lx).

Luminans, L , är den ljusmängd som reflekteras i en yta i en viss riktning. Luminans mäts i cd/m^2 .

Medelluminansen, L_{med} , på körbanan är det aritmetiska medelvärdet av datorberäknade punktluminansvärden på körbanan.

Luminanskoefficienten, Q_d , anger hur ljus en yta är i diffus belysning, dvs. i princip från himlen en mulen dag. **Q_0** beskriver ytans ljushet då himlen har lägst luminans i zenit och ökande ner mot horisonten. Q_0 och Q_d anges i $\text{cd}/\text{m}^2/\text{lx}$.

r-tabell är en tabell i vilken reflexionsegenskaperna för torr och våt vägbana anges.

N-klasser (N1, N2, N3, N4) och **W-klasser** (W1, W2, W3, W4) anger standardiserade reflexionsegenskaper för torr respektive våt vägbana.

ÅDT, årsdygnstrafik, är det genomsnittliga trafikflödet per dygn på årsbasis. ÅDT mäts i fordon/dygn.

PSV, polished stone value, är ett mått på hur väl materialet står emot polering av fordonsdäck.

3 Kortfattad litteraturöversikt

3.1 Sammanfattande litteraturöversikt med fokus på erfarenheter av ljusa vägbeläggningar i Danmark

I detta avsnitt redovisas kort några dokumenterade studier av sambandet mellan vägbeläggning och vägbelysning, med fokus på danska studier. I Danmark har energipriset varit högt sedan länge eftersom landet saknar vattenkraft. Därför har det alltid varit relevant att undersöka energibesparing på olika sätt.

3.1.1 Trafiksäkerhet

Reid (1937) och Hedman (1985) behandlar olycksstatistik och konstaterar att det finns ett starkt samband mellan vägytans luminans och trafiksäkerhet; högre luminans ger färre olyckor. Däremot kunde en studie i Danmark 1976–1982, i vilken gatubelysningen dämpades med 50 % på primärvägar (ej korsningar) under natten, inte påvisa någon effekt på olyckor (Ludvigsen & Sørensen, 1986). En synbarhetsstudie visade att en sänkning från full effekt på belysningsanläggningen till 80 % ger en förhållandevis liten försämring av synbarheten (Nielsen & Lundkvist, 2008).

Två studier av belysningsnivå i korta tunnlar konstaterar att 20-30 % kan sparas på installations- och driftskostnader med sänkt belysningsnivå (Pasderski, 1995), samt att luminansnivån ska vara avhängig av trafikflödet, inte hastigheten (Simpson, 2002). Sagberg (1999) diskuterar bl.a. beläggningar med hög grad av diffus reflexion i tunnlar, men med fokus på trafiksäkerhet. Leuch (1971) studerade de ljusa syntetiska stenmaterialen Luxovit och Synopal.

Nygårdhs (2007) försökte mäta attityd och trafikantbeteende vid nedsläckning och reducering av vägbelysning på motorväg men fick avbryta försöket pga. alltför stort massmedialt intresse.

3.1.2 Samspel mellan vägbelysning och vägbeläggning

Redan 1967 resonerade Kirchner (1967) kring samspelet mellan vägytan och vägbelysningen. Heuzeroth (2004) diskuterar beläggning i tunnel och energibesparing. Vejteknisk Institut i Danmark (2009) gjorde under hösten 2008 en förstudie med syfte att undersöka om det går att spara energi i tunnlar genom att använda ljusa vägbeläggningar. I studien ingick en workshop, en litteraturstudie samt kontakter med vägghållare, entreprenörer och andra intressenter både i och utanför Danmark. Intresset för energibesparing i tunnlar visade sig vara stort, inte endast i Danmark utan även i Sverige och Norge. Förstudien kunde påvisa en stor energibesparing av en inblandning av ljust stenmaterial, speciellt med stenstorlek över 2 mm. Med andra ord ska vägytan i tunnlar ha en hög luminanskoefficient (högt Qd-värde) och vara diffust reflekterande. Vidare framkom att även typen av ljuskälla samspelar med beläggningen. På en vägbeläggning med rödaktigt stenmaterial ger exempelvis natriumljus högre luminans än halogenljus med samma effekt.

Fem referenser rör vägyteluminans på olika sätt. Fordyce & Mackenzie (1989) studerade tillsatsmaterial för att höja vägyteluminansen. Brusque (1996) har studerat vägyteluminansens förändring över tid, medan Gundert (1998) gjort laboratoriemätningar av luminans på prover av olika vägbeläggningar. CIE Report 144:2001 (2001) fastlägger att vägyteluminansen kan beräknas från luminanskoefficienten Qd och belysningsstyrkan. Nygårdhs & Ihs (2006) gjorde på initiativ av danska Vejdirektoratet

en förstudie med syfte att undersöka den speglade reflexionen i några typiska nordiska vägbeläggningar, där även luminanskoefficienten, Q_d , för beläggningarna mättes. Vägbeläggningarna hade dock inte valts slumpmässigt utan med hänsyn till speglade-graden. Mellan hjulspår uppmättes i Danmark Q_d -värden på 0,042-0,062 $\text{cd/m}^2/\text{lx}$ (baserat på 6 vägytor) jämfört med i Sverige där 0,071-0,085 $\text{cd/m}^2/\text{lx}$ (9 vägytor) uppmättes. I Norge var variationen mellan beläggningarnas Q_d -värde större och låg i intervallet 0,057-0,102 $\text{cd/m}^2/\text{lx}$ (8 vägytor).

Jackett & Frith (2009) konstaterar att de gamla r-tabellerna inte representerar de vägytor som används idag och att medelluminanskoefficienten är 44 % lägre i verkligheten än designvärdet. McNair (1994) och Fotios m.fl. (2006) visar att standardbeläggningen i England däremot överskattar luminansen, dvs. belysningen överdimensioneras.

Sørensen & Nielsen (1974) redovisar samspelet mellan vägbeläggning och vägbelysning både i teori och i praktik medan Riemenschneider (1993) och Ottosson & Gabrielsson (1975) behandlar vägbeläggningens inverkan på vägyteluminansen och konstaterar att god vägbelysning är ett samspel mellan belysningsanläggningen och vägytan. Damm (1994) har testat olika ljusa vägbeläggningar och även ljusa väggar och tak i tunnel med syfte att spara energi och Ewald (1995) diskuterar design av tunnelbelysning för minimering av kostnader för installation och drift. Schreuder (1982) och Löfsjögård (2003) jämför betongbeläggningar med asfalt med avseende på belysningsbehov och konstaterar att energi kan sparas.

3.2 Sammanfattande erfarenheter från utförda studier

Hittills utförda studier som har behandlat samspelet mellan vägbelysning och vägytor har visat följande:

- Med tanke på energiåtgång är en vägbeläggning med ljust stenmaterial att föredra framför en beläggning med mörka stenar. Dessutom ger en grov makrotextur bättre reflexionsegenskaper.
- Typen av ljuskälla samspelar med stenmaterialets färg.
- De r-tabeller som används representerar kanske inte dagens vägytor, vilket kan leda till en överdimensionering av belysningsnivån.
- Från energibesparingssynpunkt är tunnlar speciellt intressanta, förmodligen därför att belysningen är tänd dygnet runt i dessa.
- Hög vägyteluminans har ingen eller positiv effekt på olyckor.

4 Etapp 1: Skattning av kostnader

Detta kapitel behandlar några exempel på kostnader för vägbelysning, inklusive transportkostnaderna för stenmaterialet till vägbeläggningen. Det måste understrykas att de beräknade kostnaderna inte kan generaliseras, utan ska ses endast som exempel på hur totala kostnader för belysning och beläggning av en väg kan se ut.

4.1 Vägbeläggning

I detta projekt är endast vägbeläggningar som används på belysta gator och vägar med luminanskrav (ej krav på belysningsstyrka) som är intressanta. Dessa är (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004):

- ABS – asfaltbetong med hög andel grovt stenmaterial (skelettasfalt). Stenmaterialet är kvartsit, granit eller porfyr och vanlig stenstorlek är 11 mm eller 16 mm.
- TSK – tunnskiktsbeläggning. Stenmaterialet är kvartsit, granit eller porfyr och stenstorleken är 8, 11 eller 16 mm, beroende av trafiken. Ju mer trafik, desto större stenstorlek.
- ABT – tät asfaltbetong. Stenmaterialet är kvartsit, granit eller porfyr och vanlig stenstorlek är 11 mm.
- ABD – dränerande asfaltbetong. Stenmaterialet är kvartsit, granit eller porfyr och vanlig stenstorlek är 11 mm. Sällan förekommande.
- Y1/Y2 – enkel/dubbel ytbehandling. Stenmaterialet är kvartsit eller granit och stenstorlek 12-16 mm. Ovanlig på vägar med stationär belysning.
- CB – cementbetong. Ovanlig på vägar med stationär belysning.
- Gatsten.

Tabell 1 visar förekommande vägbeläggningar på olika typer av belysta gator och vägar.

Tabell 1 Olika typer av belysta gator och vägar med förekommande vägbeläggningstyper. Siffror inom parentes anger stenstorlek. Tabell 3-1, s. 58 ur VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004).

Gatu- eller vägtyp	Förekommande vägbeläggningar
Landsbygdsväg med ÅDT > 4000	ABS, TSK (11–16 mm), CB
Landsbygdsväg med ÅDT < 4000	ABT, TSK (8–11 mm), Y1/Y2
Genomfartsleder och huvudleder	ABS, TSK (11–16 mm), ABD
Huvudgator med ÅDT > 6000	ABS, TSK (11–16 mm)
Huvudgator med ÅDT < 6000	ABT, TSK (8–11 mm), gatsten
Lokalgator	ABT, TSK (8–11 mm), gatsten

Tabell 2 visar dels vilket stenmaterial som ingår i vägbeläggningen, dels den rådande klassificeringen av beläggningarna i N- och W-klasser. Dessutom anges det skattade medelvärdet för luminanskoefficienten vid torr beläggning.

Tabell 2 Olika vägbelägningars inplacering i N- och W-klasser. Q0 och Qd avser skattade medelvärden för torr beläggning, enhet cd/m²/lx. Tabell 3-2, s. 59 ur VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004).

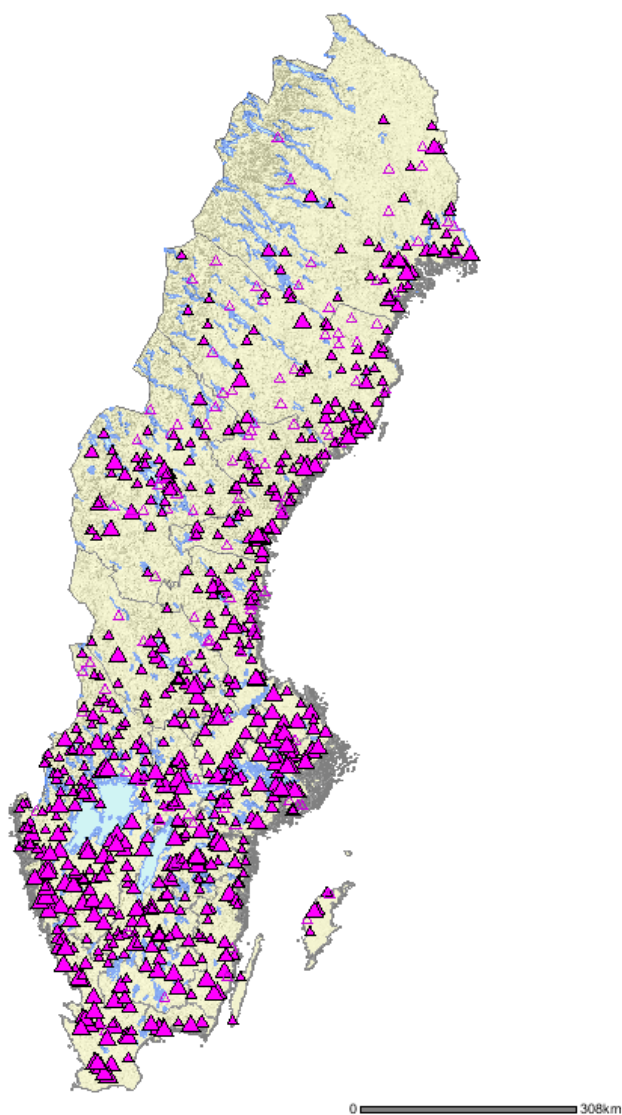
Beläggning	Stenmaterial	Stenstorlek	N-klass	W-klass	Q0	Qd
ABT	Alla	11 mm	N2	W3	0,08	0,07
ABS	Ljus granit eller ljus kvartsit	11–16 mm	N1	W2	0,10	0,09
ABS	Mörk granit eller mörk kvartsit	11–16 mm	N2	W2	0,08	0,07
ABS	Porfyr	11–16 mm	N2	W2	0,08	0,07
TSK	Ljus granit eller ljus kvartsit	8–11 mm	N1	W3	0,10	0,09
TSK	Mörk granit eller mörk kvartsit	8–11 mm	N2	W3	0,08	0,07
TSK	Ljus granit eller ljus kvartsit	11–16 mm	N1	W2	0,10	0,09
TSK	Mörk granit eller mörk kvartsit	11–16 mm	N2	W2	0,08	0,07
TSK	Porfyr	11–16 mm	N2	W3	0,08	0,07
ABD	Alla	11 mm	N2	W1	0,08	0,07
Y1/Y2	Ljus granit eller ljus kvartsit	12–16 mm	N1	W1	0,10	0,09
Y1/Y2	Mörk granit eller mörk kvartsit	12–16 mm	N2	W1	0,08	0,07
CB	Alla	Slät	N2	W4	0,11	0,10
CB	Alla	Texturerad	N2	W3	0,11	0,10
Gatsten	Ljus	–	N2	W4	0,10	0,09
Gatsten	Mörk	–	N3	W4	0,08	0,06

Tabell 3 Klasstillhörighet för asfaltbeläggningar på olika gatu- och vägtyper.
 Tabell 3-3, s. 59, ur VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004).

Gatu-/vägtyp	Vägytans egenskaper	N-klass	W-klass	Q0	Qd
Landbygdsväg, ÅDT > 4000	Ljus granit eller ljus kvartsit (ABS, TSK)	N1	W2	0,10	0,09
	Mörk granit eller mörk kvartsit (ABS, TSK)	N2	W2	0,08	0,07
	Porfyr (ABS, TSK)	N2	W3	0,08	0,07
Landsbygdsväg, ÅDT < 4000	Ljus granit eller ljus kvartsit (TSK)	N1	W3	0,10	0,09
	Mörk granit eller mörk kvartsit (TSK)	N2	W3	0,08	0,07
	Tät med mycket bitumen (ABT)	N2	W3	0,08	0,07
Genomfartsled	Ljus granit eller ljus kvartsit (ABS, TSK)	N1	W2	0,10	0,09
Huvudled	Mörk granit, mörk kvartsit (ABS, TSK)	N2	W2	0,08	0,07
Huvudgata, ÅDT > 6000	Porfyr (ABS, TSK)	N2	W3	0,08	0,07
Huvudgata, ÅDT < 6000	Ljus granit eller ljus kvartsit (TSK)	N1	W3	0,10	0,09
Lokalgata	Mörk granit eller mörk kvartsit (TSK)	N2	W3	0,08	0,07
	Tät med mycket bitumen (ABT)	N2	W3	0,08	0,07

4.1.1 Stenmaterial

I Sverige finns idag ljust stenmaterial i de så kallade Dalslandstäckerna (Karlsson, 2009). Det är krossat berg som används då ett nytt slitlager ska läggas på en väg. Figur 1 visar en karta över täkter för bergkross i landet.



Figur 1 Karta över bergtäkter i Sverige. Hämtat från SGU:s kartvisare www.sgu.se 2009-12-08. © Sveriges geologiska undersökning.

Inne i städerna används material från många olika täkter. På grund av konkurrensskäl är det dock oklart vad materialet kostar.

Syntetiska material saknas helt på marknaden i Sverige idag, vilket beror på att de anses vara för dyra och inte beständiga mot våra dubbdäck. Tidigare användes det syntetiska materialet Synopal i Danmark men det är nu delvis ersatt av billigare, ljusa granit-material (Gyldendal, 2009).

Syntetmaterialet Luxovit kan nyttjas som ljus tillsats i vägbeläggning och används bl.a. i Danmark (NCC, 2009) i slitlagret för att förhöja ljusheten. Luxovit är kalcinerad flintsten, dvs. flintsten som upphettats till temperaturer på ca 1 200°C (Luxol, 2009). Kemiskt bundet vatten avgår då varvid stenen blir vit och kristallisk. Till 97 % består Luxovit av kiseldioxid, dvs. kvarts. Därför har Luxovit och kvarts även samma hårdhet på Mohs hårdhetsskala. Luxovit anses av tillverkaren signifikant höja nattsynbarheten under både torra och våta förhållanden. Dessutom nämns det som en fördel att kostnaden blir lägre för vägbelysningen dels vid investering och dels genom lägre energiförbrukning. Tillverkaren Luxol nämner också en rad andra fördelar, däribland

PSV på 55-60 och hög friktion. Enligt ett beräkningsexempel på Luxols hemsida går det att sänka kostnaderna både vid installation av vägbelysning (det krävs färre stolpar) och vid drift av vägbelysningen (det går åt mindre energi) om man använder en andel Luxovit i slitlagermaterialet. Se Tabell 4.

Tabell 4 Exempel på energiförbrukning enligt Luxol. Källa: www.luxol.dk

Vägyta	Mörk (utan ljust stenmaterial)	Medelljus (ca 20 % Luxovit)	Ljus (ca 30 % Luxovit)
Qd (cd/m ² /lx)	0,054	0,078	0,096
r-tabell torr/våt	N3 / W4	N2 / W4	N2 / W4
Ljuspunkthöjd	8 m	8 m	8 m
Effekt	150 W	100 W	100 W
Antal stolpar per km	37	32	26
kW per km	6,3 kW	3,6 kW	3,0 kW

I avsnitt 4.3 redovisas beräkningar som använder Qd-värdet för 30 % Luxovit enligt Tabell 4.

4.1.2 Transporter

Det är svårt att skatta kostnader för transporter eftersom dessa är beroende av ett antal parametrar, som exempelvis mängden som ska transporteras, transportsträckans längd, vad lossning och lastning kostar osv. Några grova kostnadsuppskattningar vad det gäller transporter av stenmaterial vid vägbeläggning återfinns dock i detta avsnitt.

Svevia anger att det kostar ungefär 0,80-1,00 kr/ton/km att frakta sten med lastbil (M. Nilsson, 2009). NCC uppger att det kostar 0,90-1,20 kr/ton/km om det inte är några problem med lastning och lossning (Murén, 2009). För järnväg tror NCC på ca 0,35 kr/ton/km + lastning, lossning, eventuell omlastning till bil, väntetidskostnader för lok och vagnar etc. De ger även ett exempel på en transport från Uppland mot Stockholm som med rängering skulle kosta ca 0,70 kr/ton. NCC gissar att båtfrakt kostar ca 0,05-0,10 kr/ton/km beroende av fartygsstorlek och transportlängd men sedan tillkommer hamnavgifter, färledsavgift, eventuella väntetider, lastnings- och lossningskostnader m.m.

Ett exempel på fartygstransport av stenkross ges av Österströms (C. Nilsson, 2009): Från Rotterdam i Holland eller från Sydnorge till hamnar i Baltikum som Riga, Pärnu och Tallinn skulle en båttransport som fraktar 5 000–6 000 ton kosta € 6,60-7,00 per ton. Detta ger, med eurokursen 10,7691 (Forex, 2009-12-17) och en uppskattad transportlängd av 1 700-2 100 km, en kostnad på 0,03-0,05 kr/ton/km. I princip gäller det att ju större last, desto lägre frakt.

Några exempel på vad det skulle kunna kosta att transportera ballastmaterial med lastbil, båt respektive tåg ges i Tabell 5, där transportlängden antas vara 50 km, 100 km respektive 200 km (Hagert, 2009). I verkligheten tillkommer bl.a. kostnader för vidare transport från hamnen eller tågstationen till verket för tillverkning av vägbeläggningen och sedan vidare därifrån till utläggningsplatsen. Det ska dock påpekas att värdena i tabellen inte är direkt jämförbara med NCC:s gissning och Österströms exempel ovan,

eftersom värdena i tabellen inkluderar bl.a. hämtning av materialet och lastning, samt att transportlängderna är olika.

Tabell 5 Grov uppskattning av kostnaden för att transportera ballastmaterial 50, 100 eller 200 km med lastbil, båt eller tåg. Källa: Hagert, 2009.

Transportlängd	Transportslag	Totalkostnad
50 km	Lastbil	90 kr/ton
	Båt	100 kr/ton
	Tåg	110 kr/ton
100 km	Lastbil	130 kr/ton
	Båt	110 kr/ton
	Tåg	130 kr/ton
200 km	Lastbil	200 kr/ton
	Båt	120 kr/ton
	Tåg	160 kr/ton

4.2 Vägbelysning

Vid Vägverkets belysningsseminarium under våren 2009 talade Hans Andersson från Vägverket om övertagande av belysning från kommunerna, varvid vissa siffror på kostnader för vägbelysningen nämndes. I detta sammanhang angavs cirkakostnader för vägbelysning (Andersson, 2009):

Reinvestering: Ca 25 000 kr/stolpe

Drift (energikostnad): Ca 500 kr/ljuspunkt/år

Underhåll: Ca 300 kr/ljuspunkt/år.

Kostnaderna för reinvestering och underhåll kan anses vara fasta, medan energikostnaden är beroende av vägytan och står i proportion till hur stort ljusflöde vägbelysningen producerar. Luminansen på vägbanan är ett samspel mellan vägbeläggning och vägbelysning, där högre luminanskoefficient på vägytan leder till att mindre ljusflöde krävs.

4.3 Samspel mellan vägbeläggning och vägbelysning

I alla exempel i detta avsnitt antas följande förutsättningar gälla:

- Energikostnad: 1 kr/kWh.
- Alla lampor är av typen högtrycksnatrium och har ljusutbytet $\eta = 120$ lm/W.
- Luminanskoefficienter, Q_d , enligt Tabell 2 gäller.
- Brinntid/dygn för en lampa är 10 h.
- Energikostnaden står i direkt proportion till uttagen effekt.

Följande beteckningar används:

L	Luminans (cd/m ²)
E	Belysningsstyrka (lx)
Qd	Luminanskoefficient (cd/m ² /lx)
n	Antal beräkningspunkter
P	Effekt (W)
η	Ljusutbyte (lm/W)

Storheterna ovan kan ha följande index:

i	Beräkningspunkt i
med	Medelvärde
rel	Relativt värde.

4.3.1 Exempel 1 – drift av befintlig huvudgata

Antag att en huvudgata har hastighetsbegränsningen 50 km/h, ett stort antal gång- och cykeltrafikanter på körbanan och ca 5 000 fordon/dygn. Detta innebär att den ska uppfylla kraven enligt luminansklass MEW 3 enligt VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004), som i sin tur bl.a. medför att för torra vägbanor ska medelluminansen, L_{med} , vara minst 1,0 cd/m². Vägbeläggningen är ABT med stenstorlek 11 mm och det skattade torrvärdet för Qd är 0,07 cd/m²/lx (se Tabell 2).

$$L_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot Qd_i}{n} .$$

För att uppfylla kravet på medelluminans $L_{med} \geq 1,0$ cd/m² måste E_{med} , definierat som

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} , \text{ vara } E_{med} = \frac{L_{med}}{Qd} \geq \frac{1,0}{0,07} \text{ lx} = 14,3 \text{ lx} .$$

En annan huvudgata, också tillhörande luminansklass MEW 3, har vägbeläggningen TSK med stenstorleken 11 mm av ljus granit. Enligt Tabell 2 har denna beläggning $Qd = 0,09$ cd/m²/lx (se Tabell 2) och här krävs endast

$$E_{med} = \frac{L_{med}}{Qd} \geq \frac{1,0}{0,09} \text{ lx} = 11,2 \text{ lx}$$

i medelbelysningsstyrka för att uppfylla medelluminanskravet 1,0 cd/m². Detta innebär att belysningsstyrkan kan reduceras med 22 %.

Med användandet av det empiriska sambandet mellan relativt effektuttag, P_{rel} , och relativ belysningsstyrka, E_{rel} , gällande för högtrycksnatriumljus (Lundkvist, 2010):

$$P_{rel} = 2 \cdot E_{rel} - E_{rel}^2$$

kan effektreduktionen, och därmed energibesparingen, beräknas till 5 %.

Belysningen på huvudgatan med ljus TSK-beläggning kräver således 5 % mindre energi än den med ABT-beläggning, vilket även innebär 5 % lägre energikostnad.

4.3.2 Exempel 2 – drift av befintlig korsning på landsbygdsväg

Ett annat exempel är en signalreglerad korsning på en landsbygdsväg med ÅDT ca 4 000 fordon/dygn och skelettasfalt (ABS) med mörk granit. Där gäller liten svårighetsgrad för tvåfältsväg med gång- och cykeltrafik och luminansklass MEW 4, med krav på L_{med} minst $0,75 \text{ cd/m}^2$. ABS med mörk granit har enligt Tabell 2 $Q_d = 0,07 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ och på samma sätt som i föregående exempel krävs då en medelbelysningsstyrka på minst 10,8 lx för att uppfylla kravet. Med ABS med ljus granit, däremot, skulle medelbelysningsstyrkan 8,4 lx vara tillräcklig.

Även detta exempel innebär att belysningsstyrkan kan sänkas med 22 % om det ljusare stenmaterialet väljs vid nyproduktion eller omläggning av vägen. Detta medför också att strömförbrukningen för belysningen och därmed energin kan minskas med 5 %.

Enligt tillverkaren Luxol kan inblandning av ca 30 % Luxovit i stenmaterialet ge ett Q_d så högt som $0,096 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ (se Tabell 4). Detta skulle innebära att belysningsstyrkan kan vara 27 % lägre (energiminskning 7 %) och fortfarande uppfylla kravet på medelluminans.

4.3.3 Exempel 3 – val av slitlager till drift av landsbygdsväg

Antag att det ska läggas ett nytt slitlager på en landsbygdsväg i Göteborgsområdet som har ÅDT 17 000 fordon/dygn. Antag att det går att välja mellan tre alternativ:

- A – att belägga vägen med mörk kvartsit med luminanskoefficienten $0,070 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ som tas från en täkt 10 km från utläggningsplatsen.
- B – att blanda upp stenmaterialet med 30 % Luxovit som transporterats från Danmark, vilket skulle leda till luminanskoefficienten $0,096 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.
- C – att använda ljus kvartsit som transporterats från Dalsland, 200 km från utläggningsplatsen, vilket skulle leda till en luminanskoefficient på $0,090 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.

Antag också att stenmaterialet för alternativ A och C kostar lika mycket (50 kr/ton för alla stenfraktioner). Vilka transport- och energikostnader leder de tre alternativen till?

I detta avsnitt används beräkningsverktyget Vännen, som används för optimering av livscykelkostnad av vägar (Karlsson, 2009). Antag även att det går att välja en skelettasfalt, ABS, med beläggningstjockleken 41,2 mm eller en tunnskiktsbeläggning, TSK, med tjockleken 30,0 mm.

För tydlighets skull särredovisas beräkningar och detaljer i Bilaga A medan endast resultaten redovisas i detta avsnitt.

Under förutsättning att ljusutbytet är konstant $\eta = 120 \text{ lm/W}$ gäller följande:

Alternativ A: Belägg vägen med mörkt stenmaterial i en täkt som antas finnas på 10 km avstånd från utläggningsstället.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Kostnaden för asfalten levererad blir $64,91 \text{ kr/m}^2$.

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Kostnaden för asfalten levererad blir $47,27 \text{ kr/m}^2$.

Belysningskostnad: Belysningskostnaden blir $11,9 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$.

Alternativ B: Använd 30 % Luxovit i stenmaterialet och ta resten från en täkt 10 km från utläggningsplatsen. Enligt tillverkaren av Luxovit kan transporten från Thisted till Göteborg kosta ca 200 DKK/ton, vilket med kursen 1,4338 (Forex, 2009-12-02) är ca 290 SEK/ton. Fraktioner upp till 8 mm kan användas till vägbeläggning.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Kostnaden för asfalten levererad blir $114,31 \text{ kr/m}^2$.

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Kostnaden för asfalten levererad blir $98,55 \text{ kr/m}^2$.

Belysningskostnad: Belysningskostnaden blir $8,68 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$.

Alternativ C: Antag att det är 200 km till täkten och att allt stenmaterial tas därifrån.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Kostnaden för asfalten levererad blir $75,20 \text{ kr/m}^2$.

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Kostnaden för asfalten levererad blir $54,76 \text{ kr/m}^2$.

Belysningskostnad: Belysningskostnaden blir $9,26 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$.

En sammanställning av kostnaderna återfinns i Tabell 6.

Tabell 6 Sammanställning av kostnader för levererad asfalt samt belysningskostnad för de tre alternativen.

Kostnad\Alternativ	A (mörkt stenmaterial, transport 10 km)	B (30 % Luxovit från Danmark)	C (ljus stenmaterial, transport 200 km)
Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS)	$64,91 \text{ kr/m}^2$	$114,31 \text{ kr/m}^2$	$75,20 \text{ kr/m}^2$
Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK)	$47,27 \text{ kr/m}^2$	$98,55 \text{ kr/m}^2$	$54,76 \text{ kr/m}^2$
Belysning	$11,9 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$	$8,68 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$	$9,26 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2$

Kostnadsjämvikt vid 41,2 mm beläggningstjocklek (ABS):

Alternativ B och C kostar 76 % respektive 16 % mer än alternativ A. Frågan är nu efter hur lång tid den lägre belysningskostnaden har kompenserat den högre beläggningskostnaden fullt ut?

Antag att vägen som ska ha vägbelysning är 9 m bred och 10 km lång.

Totalkostnaden för alla alternativen är beläggningsskostnaden samt belysningskostnaden. När totalkostnaden för alternativ A är samma som för alternativ B kan vi säga att kostnadsjämvikt uppnåtts. Med 41,2 mm beläggningstjocklek inträffar detta efter 420 år.

På samma sätt betalar alternativ C igen sig på ca 107 års sikt.

Kostnadsskillnad vid 30,0 mm beläggningstjocklek (TSK)

För tunnskiktsbeläggningen råder kostnadsjämvikt mellan alternativ A och B efter 436 år, medan det skulle ta 78 år att tjäna in kostnadsskillnaden mellan alternativ A och C.

En sammanställning över när kostnadsjämvikt kan beräknas råda ges i Tabell 7.

Tabell 7 Kostnadsjämvikt jämfört med alternativ A för alternativ B respektive C vid olika beläggningstjocklek.

Alternativ	Beläggningstjocklek	Kostnadsjämvikt jämfört med alt. A (100 % mörkt stenmaterial 10 km bort)
B (30 % Luxovit från Danmark)	41,2 mm	efter 420 år
	30,0 mm	efter 436 år
C (100 % ljus stenmaterial 200 km bort)	41,2 mm	efter 107 år
	30,0 mm	efter 78 år

Av ovanstående exempel framgår att en förutsättning för att den ökade beläggningsskostnaden ska uppvägas av den reducerade belysningskostnaden är att det ljusa stenmaterialet finns nära beläggningssobjektet. Detta gäller under ovan givna förutsättningar och utan beaktande av eventuell skillnad i underhållskostnad för olika beläggningar.

4.4 Slutsatser från etapp 1

Exemplen bygger på en rad antaganden, bl.a. att Qd-värdena i Tabell 2 för olika typer av vägbeläggningar är korrekta och att energipriset är 1 kr/kWh.

Slutsatser från exemplen är att:

- En väg med ljus beläggning kostar mindre i drift än motsvarande väg med mörk beläggning.
- Om det ska löna sig att lägga ett nytt slitlager som är ljusare än stenmaterialet i den närmaste tåkten måste tåkten med det ljusare stenmaterialet finnas nära och inte vara alltför dyrt.

5 Etapp 2: Mätning av luminanskoefficient

5.1 Urval och metod

Totalt 21 vägsträckor med stationär belysning valdes ut för mätning i åtta olika kommuner. Mätningar av luminanskoefficienten på dessa vägsträckor utfördes under maj och juni 2010 i nio punkter på varje sträcka¹, där de tre tvärgående positionerna valdes enligt VGU, delen Väg- och gatubelysning, Figur 10 på s. 51 (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004). Eftersom tidigare erfarenheter visat att luminanskoefficienten inte varierar nämnvärt *längs* vägen har positionerna i längsled inte valts helt enligt regelverket. Mätningarna utfördes med reflektometern Qd30 och instrumentet var orienterat så att mätningen gjordes i körriktningen (se Figur 2).



Figur 2 Exempel på mätning av luminanskoefficient. Den infällda bilden visar reflektometern Qd30.

Urvalet av vägarna gjordes inte slumpmässigt: I vissa fall utfördes mätningar i samband med att andra typer av fältmätningar skulle göras. I några fall söktes en specifik vägbeläggning upp och i ytterligare andra fall gjordes mätningar av ekonomiska och praktiska skäl på hemmaplan, dvs. i olika kommuner inom Östergötlands län. I Bilaga B redovisas mätresultaten, medan Bilaga C visar fotografier tagna på mätobjekten, där bilden till höger är tagen rakt ner i respektive beläggning.

Varje väg har klassats i en vägtyp utgående från VGU (Vägverket & Svenska Kommunförbundet, 2004).

5.2 Resultat

Tabell 8 visar medelvärdet av luminanskoefficienten för varje vägsträcka.

¹ med två undantag där enbart sex punkter var relevanta att mäta pga. vägsträckans längd.

Tabell 8 Medelluminanskoefficienten, $Q_{d_{med}}$, per vägsträcka.

Vägtyp	Kommun	Tätort	Väg	Dimensionerande $Q_{d_{med}}$ [cd/m ² /lx]	Uppmätt $Q_{d_{med}}$ [cd/m ² /lx]
Genomfartsled	Hässleholm	Äljalt	Väg 24	0,090	0,077
	Kinda	Kisa	Väg 34	0,090	0,058
	Laholm	Våxtorp	Väg 115	0,090	0,088
	Laholm	Våxtorp	Väg 24 (norra)	0,090	0,058
	Laholm	Våxtorp	Väg 24 (södra)	0,090	0,050
	Linköping	Nykil	Visättersvägen	0,090	0,082
Huvudgata ÅDT < 6000	Kinda	Kisa	Ulrikagatan	0,090	0,078
	Vimmerby	Vimmerby	Södra Ringledden	0,090	0,073
Huvudgata ÅDT > 6000	Linköping	Linköping	Universitetsvägen (norra)	0,070	0,067
	Linköping	Linköping	Universitetsvägen (södra)	0,070	0,080
Lokalgata	Jönköping	Huskvarna	Drottninggatan	0,070	0,058
	Jönköping	Huskvarna	Erik Dahlbergsgatan	0,070	0,072
	Jönköping	Huskvarna	Kungsgatan	0,070	0,059
	Linköping	Linköping	Östgötagatan (norra)	0,070	0,046 ⁱⁱ
	Linköping	Linköping	Östgötagatan (södra)	0,070	0,077
	Linköping	Ljungsbro	Älvdansvägen	0,070	0,075
	Linköping	Malmslätt	Farsbogatan	0,070	0,078
	Linköping	Vikingstad	Nilsegårdsgatan	0,070	0,068
	Mjölby	Mantorp	Häradsvägen	0,070	0,071
	Motala	Motala	Ekängsgatan	0,070	0,070
	Vimmerby	Vimmerby	Fiskaregatan	0,070	0,087

Ett lägre värde på det faktiskt uppmätta $Q_{d_{med}}$ än på det dimensionerande värdet har således inneburit att belysningsanläggningen har blivit underdimensionerad, medan ett högre uppmätt $Q_{d_{med}}$ innebär en överdimensionering. Till exempel framgår att Fiskaregatan i Vimmerby, som är en lokalgata, har dimensionerats efter N2, W3, $Q_{d_{med}} = 0,070$ cd/m²/lx, medan den uppmätta luminanskoefficienten snarare visar att en dimensionering enligt N1, W2, $Q_{d_{med}} = 0,090$ cd/m²/lx, hade varit rimligare. Överdimensioneringen innebär att det enligt ekvationen:

$$E_{med} = \frac{L_{med}}{Q_{d_{med}}}$$

krävs 10,8 lx för att uppnå luminanskravet 0,75 cd/m², medan det i verkligheten hade räckt med 8,7 lx, vilket framgår av nedersta raden i Tabell 9.

ⁱⁱ Ny beläggning

Tabell 9 Belysningsklass, luminanskrav, krav på belysningsstyrka (E) enligt VGU, reellt krav på belysningsstyrka samt skillnaden mellan reellt krav och VGU-kravet (ΔE).

Vägtyp	Tätort	Belysningsklass	Luminanskrav (min) [cd/m ²]	Krav på E enligt VGU [lx]	Reellt krav på E [lx]	ΔE [lx]
Genomfartsled	Äljalt	MEW4	0,75	8,4	9,8	-1,4
	Kisa	MEW3	1,00	11,2	17,2	-6,0
	Våxtorp	MEW4	0,75	8,4	8,6	-0,2
	Våxtorp	MEW4	0,75	8,4	13,1	-4,7
	Våxtorp	MEW4	0,75	8,4	15,1	-6,7
	Nykil	MEW4	0,75	8,4	9,1	-0,7
Huvudgata ÅDT < 6000	Kisa	MEW5	0,50	5,6	6,5	-0,9
	Vimmerby	MEW5	0,50	5,6	6,9	-1,3
Huvudgata ÅDT > 6000	Linköping	MEW4	0,75	10,8	11,3	-0,5
	Linköping	MEW4	0,75	10,8	9,4	+1,4
Lokalgata	Huskvarna	MEW4	0,75	10,8	12,9	-2,1
	Huskvarna	MEW4	0,75	10,8	10,5	+0,3
	Huskvarna	MEW4	0,75	10,8	12,8	-2,0
	Linköping ⁱⁱⁱ	MEW4	0,75	10,8	9,8	+1,0
	Linköping	MEW4	0,75	10,8	16,3	-5,5
	Ljungsbro	MEW5	0,50	7,2	6,7	+0,5
	Malmslätt	MEW4	0,75	10,8	9,6	+1,2
	Vikingstad	MEW4	0,75	10,8	11,1	-0,3
	Mantorp	MEW4	0,75	10,8	10,7	+0,1
	Motala	MEW4	0,75	10,8	10,7	+0,1
	Vimmerby	MEW4	0,75	10,8	8,7	+2,1

Ett positivt värde på ΔE i Tabell 9 innebär att belysningsanläggningen har överdimensionerats, eftersom beläggningsen var ljusare än den standardbeläggning som ska användas enligt VGU. Ett negativt värde på ΔE ska däremot tolkas som att belysningsanläggningen underdimensionerats och att kravet på belysningsstyrkan skulle kunna uppfyllas med en ljusare beläggning.

Tabell 8 och Tabell 9 visar att vägbelysningen på genomfartslederna alltid har underdimensionerats: Vid dimensioneringen har vägytan antagits ha $Q_d = 0,090 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$, medan den i verkligheten har legat i intervallet $0,050\text{-}0,088 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$. Detta indikerar att de vägbeläggningar som används på genomfartsleder är mörkare än vad som anges i VGU.

Beträffande lokalgator överensstämmer det angivna värdet på Q_d bättre: VGU anger $0,070 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$, medan de uppmätta värdena för inte helt nya beläggningar låg i intervallet $0,058\text{-}0,087 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.

ⁱⁱⁱ Ny beläggning

5.3 Slutsatser från etapp 2

Vägsträckorna som har mätts i etapp 2 är att betrakta som exempel och resultaten kan inte generaliseras till att gälla andra vägar. Trots detta kan följande slutsatser dras:

- Det tycks finnas en potential att sänka belysningsstyrkan och därmed effekten på vissa vägar samtidigt som luminanskravet är uppfyllt.
- VGU kan behöva revideras med avseende på vägbeläggnings Qd-värde.

6 Sammanfattande slutsats

I detta projekt har två studier gjorts: En teoretisk studie om potentiell besparing genom systematiskt användande av ljusa vägbeläggningar samt en fältstudie där ett antal vägsträckors faktiska luminanskoefficient mätts. I båda studierna har ett antal exempel använts och antaganden gjorts.

Den sammanfattande slutsatsen från projektet blir följande:

På vissa gator och vägar är det möjligt att reducera vägbelysningen och ändå uppfylla luminanskravet i regelverket VGU; dock är det svårmotiverat ur ett energiförbrukningsperspektiv att använda annat än ortens eget material för att få ljusare vägbeläggning.

Det är också värt att notera att med mer omfattande mätningar av luminanskoefficienten skulle förmodligen standardvärdena för vägytors ljushet i VGU kunna revideras.

Referenser

- Andersson H.: **Ansvarsprojektet, övertagande av belysning från våra kommuner.** PowerPoint-presentation. Vägverkets belysningsseminarium 3–4 mars 2009. Vägverket.
- Brusque, C.: **Evaluation of the photometric characteristics of porous asphalt.** Nya Zeeland. 1996.
- CIE Report 144:2001, Road surface and road marking reflection characteristics.** Österrike. 2001.
- Damm, K.: **Helle asphaltdeckschichten für den Elbtunnel.** Tyskland. 1994.
- Ewald, J.H.: **Messung der Leuchtdichte von Außer- und Tunnelbeleuchtung.** Tyskland. 1995.
- Fordyce, D., Mackenzie, R.: **Aggregate to improve highways lighting efficiency.** Storbritannien. 1989.
- Forex: www.forex.se Acc: 2009-12-02 samt 2009-12-17.
- Fotios, S., Boyce, P., Ellis, C.: *Reflecting current trends.* **Surveyor.** Storbritannien, 2006.
- Gundert, L.: **Grundlagen für ein kombiniertes Reflexions-Textur-Messverfahren zur Bestimmung der Reflexionseigenschaften von Fahrbahnoberflächen.** Tyskland. 1998.
- Gyldendal 2009: Synopal. www.denstoredanske.dk Den Store Danske – Gyldendals åbne encyklopædi. Acc: 2009-12-08.
- Hagert, C., Vägverket. Personlig kommunikation. November-december 2009.
- Hedman, K-O: **Vägbelysning – trafiksäkerhet.** Vägverket. Sverige. 1985.
- Heuzeroth, D.: **Reflexionseigenschaften von Strassen.** BAST. Tyskland. 2004.
- Jackett, M. J. & Frith, W. J.: **Measurement of the reflection properties of road surfaces to improve the safety and sustainability of road lighting.** NZ Transport Agency research report 383: 76 pp. Wellington. 2009.
- Karlsson, R., VTI. Personlig kommunikation. November–december 2009.
- Kirchner, S.: **Is the demand for bright road surfaces justified?** DDR. 1967.
- Leuch, H.: **Helle Straßenbeläge erhöhen die Verkehrssicherheit.** Schweiz. 1971.
- Ludvigsen, H.S. & Sørensen, K.: **Natreduktion af vejbelysning – den sikkerhedsmessige effekt.** Vejdirektoratet, Sekretariatet for Sikkerhedsfremmende Vejforanstaltninger. Vejregelforberedende rapport I. 1986.
- Lundkvist, S-O: [Fotgängares upptäckbarhet i vägbelysning]. Opublicerade mätdata. VTI. Sverige. 2010.
- Luxol: www.luxol.dk Acc: december 2009.
- Löfsjögård, M.: **Functional Properties of Concrete Roads - Development of an Optimisation Model and studies on Road Lighting Design and Joint Performance.** KTH. Sverige. 2003.
- McNair, D.G.: **A short note on road surfaces and luminance design.** Storbritannien. 1994.

- Murén, P., Teknikchef, NCC Roads AB. Personlig kommunikation. December 2009.
- NCC. Tætgraderet asfaltslidlag. www.ncc.dk Acc: november–december 2009.
- Nielsen, B., Lundkvist, S-O.: **Fotgängares synbarhet i vägbelysning**. Ramböll. Sverige. 2008.
- Nilsson, C., Chartering dept, Österströms. Personlig kommunikation. December 2009.
- Nilsson, M., Avdelningschef Ballast, Svevia. Personlig kommunikation. December 2009.
- Nygårdhs, S.: **Nedsläckning och reduktion av vägbelysning på motorväg**. VTI notat 21-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Sverige. 2007.
- Nygårdhs, S. & Ihs, A.: **Speglande reflexion i våta vägbeläggningar. Störande ljus vid vägarbeten om natten. Förstudie**. VTI notat 27-2006. Statens väg- och transportforskningsinstitut. Sverige. 2006.
- Ottosson, A., Gabrielson, T.: **Technical and economic points of view on street lighting**. KTH Väg- och vattenbyggnad. Sverige. 1975.
- Pasderski, U.: **Ein aus dem Fahrverhalten entwickeltes modifiziertes Kriterium zur Festlegung notwendiger Fahrbahnleuchtdichten für die Einfahrt von Richtungsverkehrstunneln**. Tyskland. 1995.
- Reid, K.M.: **Seeing on the highway, recent researches on lighting requirements**. USA. 1937.
- Riemenschneider, W.: **Licht ist nicht gleich Licht**. Tyskland. 1993.
- Sagberg, F.: **Measures to Influence Driving under Reduced Visibility**. TØI. Oslo. 1999.
- Schreuder, D.A.: **Luminance properties of light-coloured pavements**. Nederländerna. 1982.
- Simpson, D.: *Tunnel lighting*. **Lighting Journal**. Storbritannien, 2002.
- Sveriges geologiska undersökning, SGU. www.sgu.se Acc: 2009-12-08.
- Sørensen, K., Nielsen, B.: **Road Surfaces in Traffic Lighting**. Danmark. 1974.
- Vejteknisk Institut: **Lyse belægningsoverflader i tunneler. Energibesparelse**. VI Notat 73. Danmark. 2009. www.vejdirektoratet.dk Acc: 2009-11-26
- Vägverket & Svenska Kommunförbundet: **Vägar och gators utformning**. VV Publikation 2004:80. Vägverket. 2004.

Beräkningar

Antag att det ska läggas ett nytt slitlager på en landsbygdsväg i Göteborgsområdet som har ÅDT 17 000 fordon/dygn. Antag att det går att välja mellan tre alternativ:

- A – att belägga vägen med mörk kvartsit med luminanskoefficienten $0,070 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$ som tas från en täkt 10 km från utläggningsplatsen.
- B – att blanda upp stenmaterialet med 30 % Luxovit som transporterats från Danmark, vilket skulle leda till luminanskoefficienten $0,096 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.
- C – att använda ljus kvartsit som transporterats från Dalsland, 200 km från utläggningsplatsen, vilket skulle leda till en luminanskoefficient på $0,090 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$.

Antag också att stenmaterialet för alternativ A och C kostar lika mycket (50 kr/ton för alla stenfraktioner). Vilka transport- och energikostnader leder de tre alternativen till?

I detta avsnitt används beräkningsverktyget Vännen, som används för optimering av livscykelkostnad av vägar (Karlsson, 2009). Antag även att det går att välja en skelettasfalt, ABS, med beläggningstjockleken 41,2 mm eller en tunnskiktbeläggning, TSK, med tjockleken 30,0 mm.

Under förutsättning att ljusutbytet är konstant $\eta = 120 \text{ lm/W}$ gäller följande:

Alternativ A: Belägg vägen med mörkt stenmaterial i en täkt som antas finnas på 10 km avstånd från utläggningsstället.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Kostnaden för asfalten levererad blir (med beräkningsverktyget Vännen) $64,91 \text{ kr/m}^2$.

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Kostnaden för asfalten levererad blir $47,27 \text{ kr/m}^2$.

Belysningskostnad:

Låt beräkningsarean mellan två belysningspunkter vara A_{del} och den totala belysta arean A_{tot} .

$$E_{med} = \frac{\phi}{A_{del}} = \frac{L_{med}}{Qd} \Rightarrow \phi = \frac{L_{med} \cdot A_{del}}{Qd}. \text{ Detta innebär att effekten } P \text{ ges av sambandet:}$$

$$P = \frac{\phi}{\eta} = \frac{L_{med} \cdot A_{del}}{Qd \cdot \eta}, \text{ vilket ger en kostnad på hela sträckan som är}$$

$$\frac{L_{med} \cdot A_{del}}{Qd \cdot \eta} \cdot \frac{A_{tot}}{A_{del}} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} = \frac{L_{med} \cdot A_{tot}}{Qd \cdot \eta} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} = \frac{1,0 \cdot A_{tot}}{0,070 \cdot 120} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} \approx 1,19 \cdot 10^{-4} \text{ kr/h/m}^2$$

Alternativ B: Enligt tillverkaren av Luxovit kan transporten från Thisted till Göteborg kosta ca 200 DKK/ton, vilket med kursen 1,4338 (www.forex.se per 2009-12-02) är ca 290 SEK/ton. Fraktioner upp till 8 mm kan användas till vägbeläggning.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Räknat på tillkommande lastbilskostnader för 10 km till utläggningsplatsen för de stenfraktioner som anges i Tabell 10 skulle kostnaden för asfalten levererad bli 114,31 kr/m² (med 2-4 mm kostnad 345 DKK/ton och 4-8 mm Luxovit 535 DKK/ton, egentligen priser för 2009 för 2-5 mm respektive 5-8 mm).

Tabell 10 Fördelning av stenmaterial i exemplet med 41,2 mm beläggningstjocklek.

Stenmaterial	Stenfraktion	Vikt-%	Kr/ton
Mörk kvartsit	Filler (<0,063 mm)	9	50
Mörk kvartsit	0-2 mm	8	50
Luxovit	2-4 mm	15	495
Luxovit	4-8 mm	15	767
Mörk kvartsit	8-12 mm	15	50
Mörk kvartsit	12-16 mm	38	50

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Med tillkommande lastbilskostnader för 10 km till utläggningsplatsen och de stenfraktioner som anges i Tabell 11 skulle kostnaden för asfalten levererad bli 98,55 kr/m² (286 DKK/ton för fraktionen 0-2 mm).

Tabell 11 Fördelning av stenmaterial i exemplet med 30,0 mm beläggningstjocklek.

Stenmaterial	Stenfraktion	Vikt-%	Kr/ton
Mörk kvartsit	Filler (<0,063 mm)	9	50
Luxovit	0-2 mm	10	410
Luxovit	2-4 mm	10	495
Luxovit	4-8 mm	10	767
Mörk kvartsit	8-12 mm	61	50

Belysningskostnad:

På samma sätt som i alternativ A beräknas kostnaden enligt:

$$\frac{L_{med} \cdot A_{tot}}{Qd \cdot \eta} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} = \frac{1,0 \cdot A_{tot}}{0,096 \cdot 120} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} \approx 8,68 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2.$$

Alternativ C: Antag att det är 20 mil till tänkten och att allt stenmaterial tas därifrån.

Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS): Kostnaden för asfalten levererad blir 75,20 kr/m².

Beläggningstjocklek 30,0 mm (TSK): Kostnaden för asfalten levererad blir 54,76 kr/m².

Belysningskostnad:

På samma sätt som i alternativ A och B beräknas kostnaden enligt:

$$\frac{L_{med} \cdot A_{tot}}{Qd \cdot \eta} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} = \frac{1,0 \cdot A_{tot}}{0,090 \cdot 120} \cdot \frac{1}{1000} \text{ kr/h} \approx 9,26 \cdot 10^{-5} \text{ kr/h/m}^2.$$

En sammanställning av kostnaderna återfinns i Tabell 6.

Tabell 12 Sammanställning av kostnader för levererad asfalt samt belysningskostnad för de tre alternativen.

Kostnad\Alternativ	A (mörkt stenmaterial, transport 10 km)	B (30 % Luxovit från Danmark)	C (ljus stenmaterial, transport 200 km)
Beläggningstjocklek 41,2 mm (ABS)	64,91 kr/m ²	114,31 kr/m ²	75,20 kr/m ²
Beläggningstjocklek 30 mm (TSK)	47,27 kr/m ²	98,55 kr/m ²	54,76 kr/m ²
Belysning	1,19*10 ⁻⁴ kr/h/m ²	8,68*10 ⁻⁵ kr/h/m ²	9,26*10 ⁻⁵ kr/h/m ²

Kostnadsskillnad vid 41,2 mm beläggningstjocklek (ABS)

Jämfört med att ta allt stenmaterial från en täkt 10 km från arbetsplatsen kostar det 76 % mer per kvadratmeter att blanda in 30 % Luxovit i stenmaterialet eller 16 % mer per kvadratmeter att välja allt stenmaterial från en täkt som ligger på 200 km avstånd jämfört med om det ligger på 10 km avstånd. Hur lång tid tar det att tjäna in denna skillnad i kostnad?

Antag att vägen som ska ha vägbelysning är 9 m bred och 10 km lång. Då krävs $A_{tot} = 90\,000 \text{ m}^2$ asfalt.

Totalkostnaden för alla alternativen är beläggningskostnaden samt belysningskostnaden. Med brinntiden 10 h/dygn lyser belysningen 3650 h på ett år.

Sätt:

- A_A = asfaltkostnad för alternativ A
- A_B = asfaltkostnad för alternativ B
- A_C = asfaltkostnad för alternativ C
- B_A = belysningskostnad för alternativ A
- B_B = belysningskostnad för alternativ B
- B_C = belysningskostnad för alternativ C
- x = antal timmar.

Kostnadsjämvikt mellan alternativ A och B råder då:

$$A_A + B_A \cdot x = A_B + B_B \cdot x.$$

Detta ger $x = \frac{A_B - A_A}{B_A - B_B}$, dvs. för ABS-beläggningen:

$$x = \frac{114,31 - 64,91}{1,19 \cdot 10^{-4} - 8,68 \cdot 10^{-5}} h \approx 1\,532\,000h \approx 420\text{år}.$$

På samma sätt betalar alternativ C igen sig på ca 107 års sikt.

Kostnadsskillnad vid 30,0 mm beläggningstjocklek (TSK)

På samma sätt som ovan beräknas kostnadsjämvikten för 30,0 mm beläggningstjocklek. För tunnskiktsbeläggningen råder kostnadsjämvikt mellan alternativ A och B efter 436 år, medan det skulle ta 78 år att tjäna in kostnadsskillnaden mellan alternativ A och C.

Alternativ	Beläggningstjocklek	Kostnadsjämvikt jämfört med alt. A (100 % mörkt stenmaterial 10 km bort)
B (30 % Luxovit från Danmark)	41,2 mm	efter 420 år
	30,0 mm	efter 436 år
C (100 % ljust stenmaterial 200 km bort)	41,2 mm	efter 107 år
	30,0 mm	efter 78 år

Av ovanstående exempel kan ses att under de förutsättningar som gällt (med bl.a. priset på Luxovit och övrigt stenmaterial samt transportkostnader) lönar det sig inte att transportera ljusare stenmaterial långa sträckor. (Som en jämförelse skulle det ta drygt 6 år innan kostnadsjämvikt uppnåtts med en tunnskiktsbeläggning mellan alternativ A och C om det ljusa stenmaterialet istället befunnit sig 20 km bort.) Vad gäller underhåll av vägarna är underhållet för mörk och ljus ABS (alt. A och C) identiskt, medan det är mer osäkert med underhållet för ABS med luxovitinblandning.

Mätresultat

Tabell 13 Uppmätt luminanskoefficient angivet i $cd/m^2/lx$ för position vänster (Vä), mitt (Mitt) respektive höger (Hö).

Vägtyp	Kommun	Tätort	Väg	Vä	Mitt	Hö
Genomfartsled	Hässleholm	Äljalt	Väg 24	0,083	0,07	0,082
				0,081	0,065	0,081
				0,079	0,071	0,08
Genomfartsled	Kinda	Kisa	Väg 34	0,062	0,063	0,056
				0,063	0,068	0,054
				0,061	0,054	0,045
Genomfartsled	Laholm	Våxtorp	Väg 115	0,072	0,099	0,089
				0,09	0,092	0,086
				0,087	0,094	0,082
Genomfartsled	Laholm	Våxtorp	Väg 24 (norra)	0,051	0,06	0,067
				0,044	0,061	0,065
				0,043	0,06	0,067
Genomfartsled	Laholm	Våxtorp	Väg 24 (södra)	0,055	0,042	0,054
				0,052	0,045	0,053
				0,049	0,046	0,052
Genomfartsled	Linköping	Nykil	Visättersvägen	0,078	0,086	0,084
				0,079	0,084	0,085
				0,077	0,083	0,086
Huvudgata ÅDT < 6000	Kinda	Kisa	Ulrikagatan	0,075	0,074	0,085
				0,077	0,074	0,082
				0,078	0,075	0,082
Huvudgata ÅDT < 6000	Vimmerby	Vimmerby	Södra Ringleden	0,073	0,072	0,074
				0,072	0,073	0,072
				0,075	0,071	0,076
Huvudgata ÅDT > 6000	Linköping	Linköping	Universitetsvägen (norra)	0,068	0,069	0,069
				0,068	0,062	0,067
				0,071	0,066	0,061
Huvudgata ÅDT > 6000	Linköping	Linköping	Universitetsvägen (södra)	0,075	0,077	0,084
				0,077	0,081	0,083
				0,081	0,082	0,081
Lokalgata	Jönköping	Huskvarna	Drottninggatan	0,052	0,057	0,066
				0,054	0,059	0,061
Lokalgata	Jönköping	Huskvarna	Erik Dahlbergsgatan	0,076	0,079	0,074
				0,069	0,076	0,079

Bilaga B
Sid 2 (2)

Vägtyp	Kommun	Tätort	Väg	Vä	Mitt	Hö
				0,062	0,059	0,072
Lokalgata	Jönköping	Huskvarna	Kungsgatan	0,062	0,06	0,055
				0,061	0,06	0,056
Lokalgata	Linköping	Linköping	Östgötagatan (norra)	0,045	0,046	0,045
				0,046	0,043	0,047
				0,049	0,051	0,043
Lokalgata	Linköping	Linköping	Östgötagatan (södra)	0,078	0,085	0,083
				0,077	0,087	0,076
				0,077	0,082	0,044
Lokalgata	Linköping	Ljungsbro	Älvdansvägen	0,076	0,078	0,073
				0,075	0,071	0,073
				0,074	0,077	0,075
Lokalgata	Linköping	Malmslätt	Farsbogatan	0,078	0,076	0,076
				0,081	0,073	0,081
				0,079	0,08	0,08
Lokalgata	Linköping	Vikingstad	Nilsegårdsgatan	0,061	0,065	0,07
				0,065	0,071	0,071
				0,07	0,068	0,068
Lokalgata	Mjölby	Mantorp	Häradsvägen	0,073	0,069	0,07
				0,071	0,07	0,069
				0,071	0,071	0,071
Lokalgata	Motala	Motala	Ekängsgatan	0,065	0,076	0,071
				0,068	0,071	0,075
				0,067	0,074	0,067
Lokalgata	Vimmerby	Vimmerby	Fiskaregatan	0,089	0,085	0,091
				0,087	0,086	0,087
				0,085	0,082	0,088

Bilder

Denna bilaga innehåller bilder från respektive uppmätt vägsträcka. Inom parentes anges den uppmätta luminanskoefficientens medelvärde.

Väg 24, Äljalt, genomfartsled ($Q_d = 0,077 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Väg 34, Kisa, genomfartsled ($Q_d = 0,058 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Väg 115, Våxtorp, genomfartsled ($Q_d = 0,088 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Bilaga C
Sid 2 (6)

Väg 24 (norra), Våxtorp, genomfartsled ($Q_d = 0,058 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Väg 24 (södra), Våxtorp, genomfartsled ($Q_d = 0,050 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)

Bilder saknas.

Visättersvägen, Nykil, genomfartsled ($Q_d = 0,082 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Ulrikagatan, Kisa, huvudgata med ÅDT < 6000 ($Q_d = 0,078 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Bilaga C
Sid 3 (6)

Södra Ringleden, Vimmerby, huvudgata med ÅDT < 6000 ($Q_d = 0,073 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Universitetsvägen (norra), Linköping, huvudgata med ÅDT > 6000
($Q_d = 0,067 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Universitetsvägen (södra), Linköping, huvudgata med ÅDT > 6000
($Q_d = 0,080 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Bilaga C
Sid 4 (6)

Drottninggatan, Huskvarna, lokalgata ($Q_d = 0,058 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Erik Dahlbergsgatan, Huskvarna, lokalgata ($Q_d = 0,072 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Kungsgatan, Huskvarna, lokalgata ($Q_d = 0,059 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Östgötagatan (norra), Linköping, lokalgata, ny beläggning ($Q_d = 0,044 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Östgötagatan (södra), Linköping, lokalgata ($Q_d = 0,077 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Älvdansvägen, Ljungbro, lokalgata ($Q_d = 0,075 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Farsbogatan, Malmslätt, lokalgata ($Q_d = 0,078 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)

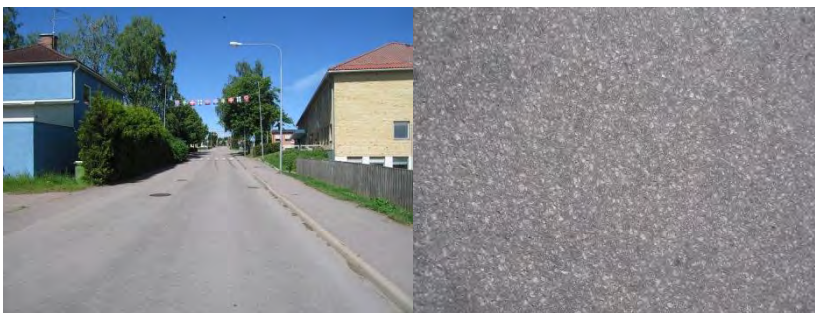


Bilaga C
Sid 6 (6)

Nilsegårdsgatan, Vikingstad, lokalgata ($Q_d = 0,068 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Häradsvägen, Mantorp, lokalgata ($Q_d = 0,071 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Ekängsgatan, Motala, lokalgata ($Q_d = 0,070 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



Fiskaregatan, Vimmerby, lokalgata ($Q_d = 0,087 \text{ cd/m}^2/\text{lx}$)



VTI är ett oberoende och internationellt framstående forskningsinstitut som arbetar med forskning och utveckling inom transportsektorn. Vi arbetar med samtliga trafikslag och kärnkompetensen finns inom områdena säkerhet, ekonomi, miljö, trafik- och transportanalys, beteende och samspel mellan människa-fordon-transportssystem samt inom vägkonstruktion, drift och underhåll. VTI är världsledande inom ett flertal områden, till exempel simulatorteknik. VTI har tjänster som sträcker sig från förstudier, oberoende kvalificerade utredningar och expertutlåtanden till projektledning samt forskning och utveckling. Vår tekniska utrustning består bland annat av körsimulatorer för väg- och järnvägstrafik, väglaboratorium, däckprovningsanläggning, krockbanor och mycket mer. Vi kan även erbjuda ett brett utbud av kurser och seminarier inom transportområdet.

VTI is an independent, internationally outstanding research institute which is engaged on research and development in the transport sector. Our work covers all modes, and our core competence is in the fields of safety, economy, environment, traffic and transport analysis, behaviour and the man-vehicle-transport system interaction, and in road design, operation and maintenance. VTI is a world leader in several areas, for instance in simulator technology. VTI provides services ranging from preliminary studies, highlevel independent investigations and expert statements to project management, research and development. Our technical equipment includes driving simulators for road and rail traffic, a road laboratory, a tyre testing facility, crash tracks and a lot more. We can also offer a broad selection of courses and seminars in the field of transport.



HUVUDKONTOR/HEAD OFFICE

LINKÖPING

POST/MAIL SE-581 95 LINKÖPING

TEL +46 (0)13 20 40 00

www.vti.se

BORLÄNGE

POST/MAIL BOX 920

SE-781 29 BORLÄNGE

TEL +46 (0)243 446 860

STOCKHOLM

POST/MAIL BOX 55685

SE-102 15 STOCKHOLM

TEL +46 (0)8 555 770 20

GÖTEBORG

POST/MAIL BOX 8072

SE-402 78 GÖTEBORG

TEL +46 (0)31 750 24 00