

LED som ljuskälla i huvudljussignaler

En kvalitativ studie i varför inte lysdiodtekniken införts i dagens huvudljussignaler



LUNDS
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Teknik och samhälle

Examensarbete:

Per Ericsson

Annamaria Szekelyi

© Copyright Per Ericsson, Annamaria Szekelyi

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg
Lunds universitet
Box 882
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering
Lund University
Box 882
SE-251 08 Helsingborg
Sweden

Tryckt i Sverige
Media-Tryck
Biblioteksdirektionen
Lunds universitet
Lund 2016

Sammanfattning

Med dagens hållbarhetstänk och miljömedvetenhet är det mer aktuellt än någonsin att även anpassa vår järnväg, med alla dess komponenter efter morgondagens behov. En investering i byte av ljuskälla är inte bara en miljömässig och ekonomisk fördel, utan även en vinst för underhållet.

Vi har i detta examensarbete valt att undersöka varför LED-tekniken inte införts i huvudljussignaler än. Syftet med arbetet är att väcka en aktualitet i ämnet och även att skapa en rapport som kan stå till grund för vidareutveckling i frågan.

Föreskrifter och standarder har använts för att hämta information och data till litteraturstudien. Som ett komplement till litteraturstudien har även intervjuer genomförts för att få höra branschens röster och åsikter, samt för att införskaffa fakta som ej funnits att tillgå i föreskrifter eller övrigt material.

Roslagsbanan i Stockholm har implementerat lysdiodtekniken som ljuskälla i huvudljussignalerna vilket kom till vår kännedom under arbetets gång. Här avfärdades myter om varför en implementering inte genomförts än. LED-lampans låga strömförbrukning anses som det primära skälet.

Nyckelord: LED, Lysdiod, Lysdiodteknik, Roslagsbanan, Huvudljussignaler, Järnväg, Microlok.

Abstract

With today's sustainability thinking and environmental awareness, it is more important than ever to customize even our railway, with its components, for tomorrow's needs. An investment in the replacement of light source is not only an environmental and economic benefit, but also a win for the maintenance.

We have in this thesis chosen to investigate why LED technology is not yet incorporated into the main light signals. The aim is to bring a topicality of the subject and also to create a report that can be the basis for further development in the matter.

Regulations and standards have been used to gather information and data to the literature study. As a complement to the literature study interviews were also made to hear the line of business' voices and opinions, and to obtain facts not available in the regulations or other material.

Roslagsbanan in Stockholm has implemented LED technology as a light source in the main light signals, which came to our attention during the work. Here were myths dismissed about why an implementation is not fulfilled yet. The low power consumption of the LED lamp is considered as the primary reason.

Keywords: LED, Light emitting diode technology, LED technology, Roslagsbanan, main lights, Railroad, Microlok.

Förord

Detta examensarbete är den avslutande delen på utbildningen till högskoleingenjör i *Byggteknik* med inriktning *Järnvägsteknik*. Intresset för frågan väcktes på mässan Nordic Rail hösten 2015. I en av montrarna fann vi ljussignaler med lysdioder. Eftersom LED är en alltmer dominerande ljuskälla frågade vi oss varför detta inte införts i huvudljussignaler än. Med dagens hållbarhetstänk och miljömedvetenhet är det mer aktuellt än någonsin att anpassa även vår järnväg, med dess komponenter, efter morgondagens behov. Examensarbetet har utförts på ÅF Helsingborg under vårterminen 2016.

Ett stort tack till personer vi fått intervjua och som bistått oss med sin kunskap, information, material, tillstånd och tid för att kunna genomföra arbetet på bästa sätt. Ett extra stort tack till Andreas Mårtensson på Trafikförvaltningen Stockholms Läns Landsting, Peter Rubin på Trafikverksskolan, Magnus Kårström på Trafikverket, Mikael Nilsson på VR-Track och Alex Forsberg på Tyréns. Er hjälp har varit ovärderlig.

Vi vill även rikta stort tack till våra handledare Thomas Zarnhall på ÅF, Johan Tann på LTH samt examinator Andreas Persson på LTH.

Arbetsfördelningen har varit jämn i alla delmomenten och vi har båda arbetat mot gemensamt uppsatta mål.

Helsingborg, maj 2016

Per Ericsson & Annamaria Szekelyi

Terminologi

Anläggning	Järnvägen som system med alla dess komponenter
ATC	Automatic Train Control
DLC	Driftledningscentral, styr tåglägena
LED	Light Emitting Diod
Effekt	Anges i watt. Anger hur mycket energi en lampa förbrukar per tidsenhet
ERTMS	European Rail Traffic Management System
Inkoherent	Vågorna har olika faser och olika frekvenser. Ordet betyder osammanhängande
Ljusflöde	Den ljusmängd som en ljuskälla avger per tidsenhet. Enheten för ljusflöde är lumen (lm).
Ljusutbyte	Är förhållandet mellan ljusflödet (i lm) från en ljuskälla och den effekt (i W) som förbrukas av ljuskällan. Enheten för ljusutbytet är lm/W.
STH	Största tillåtna hastighet
Stlv	Ställverk. Finns reläställverk och datorställverk
TSD	Tekniska specifikationer för driftskompatibilitet
TTJ	Trafikverkets Trafikbestämmelser för Järnväg (Ersätter JTF Järnvägsstyrelsens Trafikföreskrifter)

Innehållsförteckning

1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och mål	2
1.3 Hypotes	2
1.4 Problemformulering	2
1.5 Avgränsningar	3
1.6 Metod	3
2 Beskrivning av elektriska ljuskällor	4
2.1 Glödtrådslampa	4
2.2 Lysdioden – LED	6
2.2.1 Användningsområden för LED	8
2.2.1.1 EU-direktiv, utfasning av glödlampa	8
2.2.1.2 LED i vägskyddssignaler.....	9
2.3 Signalställverk	10
2.3.1 Reläteknik.....	11
2.3.2 Ställverk.....	12
2.3.2.1 Fail-safe	13
2.4 Krav	14
3 Fallstudie	16
3.1 Bakgrund Roslagsbanan	16
3.1.1 LED på Roslagsbanan	17
4 Intervjuer	17
4.1 Sammanställning av intervjuer	18
4.1.1 Peter Rubin, Trafikverksskolan Ängelholm	18
4.1.2 Andreas Mårtensson, Trafikförvaltningen Stockholm	19
4.1.3 Mikael Nilsson, VR-Track Hässleholm	23
4.1.4 Magnus Kårström, Trafikverket Underhåll	23
4.1.5 Bombardier	24
5 Beräkningar	25
5.1 LED vs Glödlampa	25
6 Slutsats	28
6.1 Problemformulering och svar	28
6.2 Återkoppling hypotes	30
6.3 Diskussion	30
6.4 Resultat	31
7 Källor	32
7.1 Litteratur	32
7.2 Elektroniskt	32

7.3	Figur- och tabellförteckning	34
8	Bilagor	35
8.1	Intervjufrågor	35

1 Inledning

1.1 Bakgrund

När den första järnvägen i England anlades fanns inga signalanordningar. Tågen trafikerades i lägre hastigheter och endast under dagtid. Efterhand som tågen blev tyngre, hastigheten ökade och trafiken började köras även nattetid blev det nödvändigt att införa signaler och ett reglemente som angav hur signaleringen skulle utväxlas mellan varandra. Statens Järnvägar införde 1858 det första reglementet och ett signalsystem likt det som utländska järnvägar använde. Vid denna tidpunkt användes skivsignaler och semaforer.

Efterhand började ljussignaler ersätta semaforerna i början av 1920-talet. Det skulle dock dröja till så sent som 1998 då den sista semaforen togs ur bruk på den svenska järnvägen. Fördelarna med ljussignalerna var många, de var både billigare att bygga och underhålla eftersom de inte innehöll någon mekanik eller långa linanordningar för manövrering, nu visades det samma signalbilder oavsett om det var natt eller dag (Sten, 2004).

De huvudljussignaler som finns ute på banan har två till fem sken/lampor beroende på vilka signalbesked de ska ange. Vid införande av det nya trafikstyrningssystemet ERTMS är syftet att optiska signaler försvinner och ersätts med hyttsignalering via radio istället (Trafikverket, 2016).

Tågtrafiken ute på järnvägen styrs idag av ATC och ljussignaler. Dessa signaler talar om för föraren vad som gäller för framförandet av tåget på sträckan närmast efter signalen och även vad efterföljande signal visar så att eventuella förberedande åtgärder kan påbörjas, t.ex. bromsning. Signalerna används för att reglera rörelser vid spärrfärd och tågfärd. Vi har i detta arbete valt att avgränsa oss till huvudljussignaler som delas in i kategorier efter hur de används. Det finns infartssignaler, mellansignaler och blocksignaler (TTJ, 2016). Med de här signalerna finns även glödlampor som skall fungera, underhållas, förvaltas och ge besked till tågen.

Signalerna använder sig av fyra olika färger för att signalera olika meddelanden. Rött markerar stopp och förekommer ej med andra färgkombinationer (med undantag för huvuddvårgsignal) är signalen helt släckt gäller detta också som stopp. Grönt markerar tågväg, där t.ex. två fasta gröna sken visar signalbilden *kör 40* och ett fast grönt sken visar *kör 80*. Kombinationen vitt och grönt ljus anger att tåget får framföras i STH då även sträckan efter nästa signal är helt fri. Gult sken i vägförsignalen förvarnar om vägskydd visar stopp för vägtrafik eller ej. För exempel på signallampa se figur 14.

I dagens alltmer hållbara och miljömedvetna samhälle uppmanas vi till mer medvetna val. Även om järnvägen är ett miljövänligt alternativ finns det åtgärder som kan göras för en ännu mer miljövänlig och hållbar järnväg. Att byta ut dagens glödlampor i ljussignalerna skulle kunna vara en sådan åtgärd. LED-lampan har kommit att alltmer dominera i andra delar av samhället, inte minst i hushållen och i vägtrafiken. Att byta ut glödlampan till lysdiodtekniken skulle inte minst spara energi, kostnad, men även tid. Serviceintervallen skulle minska och driftsäkerheten skulle öka¹.

1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att undersöka varför lysdiodtekniken inte införts i anläggningen än och vad den främsta orsaken till detta är. Det syftar även till att höra branschens åsikter om införande av detta. Förhoppningen är att väcka en diskussion och att föra vidare aktualitet i ämnet. Vårt syfte är även att arbetet så småningom ska kunna fungera som underlag för vidareutveckling i ämnet.

1.3 Hypotes

Den hypotes vi har är att bytet till LED förmodligen är en mödosam process med en komplicerad väg att gå, där bland annat framtagning av säkerhetsbevisning, projektering, test av komponenter och slutligen implementering ska till. Det är en ekonomisk fråga där branschen redan i dagsläget rör sig med en begränsad budget och andra projekt prioriteras. Vår uppfattning är att vetskapen om LED i branschen ej är så utbredd.

1.4 Problemformulering

1. Att undersöka om det finns möjlighet att införa LED-belysning på järnvägens optiska signalsystem idag?
2. Varför LED-tekniken ej införts i huvudljussignaler än?
3. Undersöka hur långt serviceintervallet är och även livslängd för glödlampa och LED?
4. Ta reda på kostnadsaspekter med parametrar som; livslängd, installationskostnad av ny armatur/byta stolparna, tid för byte av ljuskälla ny/gammal.

¹ Andreas Mårtensson SLL Signalsäkerhetsansvarig Intervju 160419 Stockholm.

1.5 Avgränsningar

Vi väljer att fokusera på lysdiodtekniken i huvudljussignaler i detta arbete. För tekniska komponenter avgränsar vi oss så nära den fysiska signalen som möjligt och det som kan påverka den.

Vi har även genomfört avgränsningar gällande intervjuer, vår önskan hade varit att intervjua fler parter men vi har begränsat oss till beställare, tekniker, utbildningspersonal och förvaltare.

1.6 Metod

För att inhämta kunskap och få en övergripande bild av hur signalerna med övriga komponenter fungerar i anläggningen har en litteraturstudie genomförts i första hand. Litteraturstudien (kapitel 2) har genomförts med föreskrifter och tillgängliga dokument från Transportstyrelsen och Trafikverket som vi granskat för att se vilka krav som ställs.

Då detta arbete behandlar komponenter som ännu inte implementerats i anläggningen har det ej funnits dokumenterad information i den mån som skulle varit önskvärt. Därför har vi i andra hand genomfört intervjuer, haft mailkorrespondens och även genomfört en fallstudie. Fallstudien har vi genomfört på Roslagsbanan i Stockholm där vi tittat på huvudljussignalerna där lysdioder installerats i delar av anläggningen.

Personerna vi har intervjuat har vi valt ut efter samråd med vår handledare på ÅF. I några av fallen har personen vidarebefordrat frågan till en annan arbetskamrat eller kontakt som sedan har hjälpt oss besvara våra frågor.

Personerna har anknytning till ämnet och har kunnat bidra med värdefull information och respons.

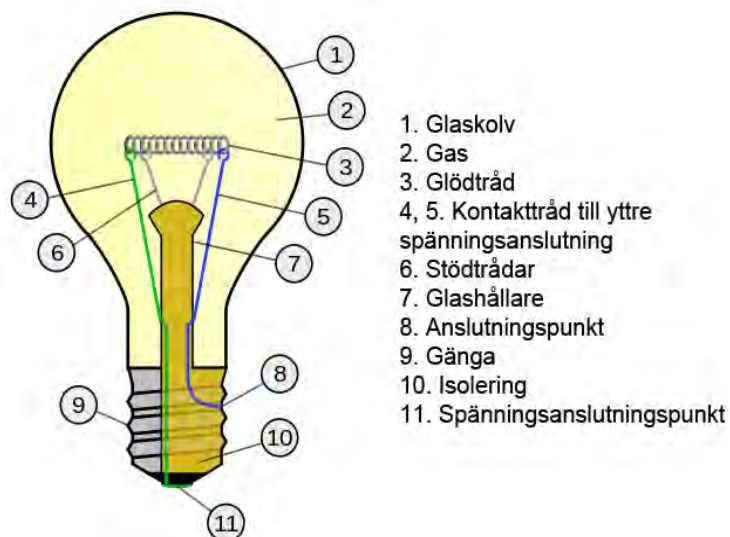
2 Beskrivning av elektriska ljuskällor

I drygt 120 år har elektriska ljuskällor funnits. I början förekom enbart ljuskällor som producerade ljus genom att en glödtråd upphettades till en så hög temperatur att den glödde, s.k. temperaturstrålare. Den här typen av ljuskälla är ganska ineffektiv ifråga om att omvandla elektrisk energi till ljus. Dock har temperaturstrålaren förbättrats successivt och används idag i en mycket stor utsträckning inom flertalet användningsområden (Sandström, m.fl. 2002). Temperaturstrålaren är betydligt mindre effektiv än senare ljuskälleutvecklingar exempelvis LED där ljuset alstras genom att elektrisk ström flyter i en riktning och bildar fotoner, ljuspartiklar. Här nedan kommer vi att beskriva glödtrådslampan och lysdioden, *LED*.

2.1 Glödtrådslampan

Glödtrådslampan har varit med sedan mitten av 1800-talet då Thomas Edison kom på den princip som blev grunden för de lampor vi använder idag. Då temperaturstrålaren genererar väldigt hög temperatur var ett av problemen att hitta ett lämpligt glödtrådsmaterial som klarade av de temperaturer som krävdes för att ljus skulle alstras. Fram till 1910 användes koltråd som sedan ersattes av volfram, en tungmetall, som tål betydligt högre temperaturer ungefär 2700 K (ca 2400 °C).

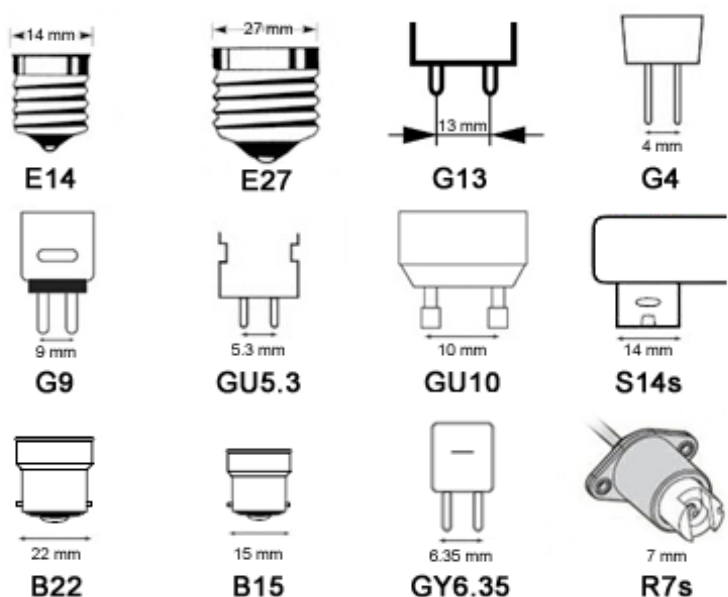
Hittills har glödtrådslampan varit den vanligaste elektriska lamptypen. Glödtråden är lampans ljuskälla. Lampan har en kolv av glas som är fylld med en gasblandning av kväve och argon, eller vakuum. Gasens syfte är att minska tillgången på ämnen som glödtråden kan reagera med. Hade glödtråden varit i kontakt med syrgas hade den fattat eld och förbränts på ett ögonblick. Glödtråden är festsatt i en metallsockel och elektriskt ledande trådar går från glödtrådens ändar ut genom sockeln. Glödtråden avger ljus och stora mängder värme då trådens elektriska motstånd gör att den blir het när ström leds genom. Glödlampan är därför ineffektiv i jämförelse med andra typer av ljuskällor, då den dels är mer vanligt förekommande än andra lampsorter men även ett slöseri med energi. Lampan innehåller även tungmetaller i form av bly som kan förekomma i sockeln och i tråden som är av volfram. Glödtrådslampan är alltså varken bra ur ett miljöperspektiv eller kostnadsmässigt val (Eon & Nationalencyklopedin, 2016).



Figur 1 Glödlampans uppbyggnad (Wikipedia, 2016)

Livslängden för en glödtrådslampa är 1 000 timmar mot LED-lampans 10 000 – 25 000 timmar. Således är livslängden minst 10 gånger längre för en lysdiod (EON 2016).

För vanliga belysningsändamål är Edisonsockeln (E14, E27) de vanligaste förekommande (Nationalencyklopedin, 2016).



Figur 2 Olika typer av lampsocklar (lightupgrade.se, 2016)

För dvärg- samt huvudljussignaler är B22 den vanligaste lampsockeln, i övriga vägsignallampor används B15².

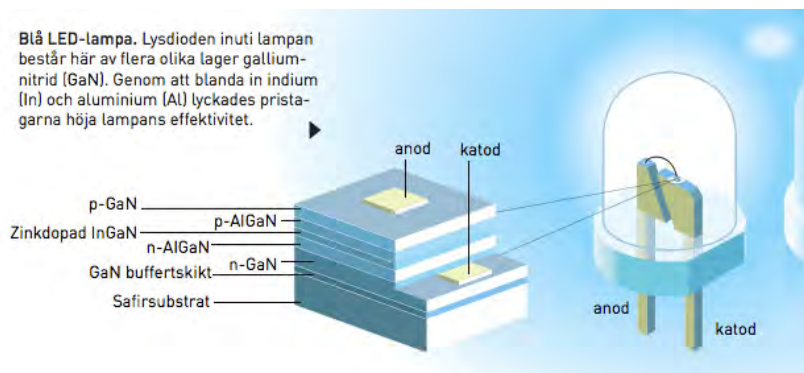
² Peter Rubin Signallärare Intervju 160315 Ängelholm

2.2 Lysdioden – LED

Lysdiodens historia sträcker sig tillbaka till mitten av 1920-talet då ryssen Oleg Vladimirovitj Losev uppfann den. 1962 utvecklades den första kommersiella lysdioden med synligt (rött) ljusspektrum. Namnet *LED* kommer från engelskans *Light Emitting Diode* och är en lysdiod som består av ett antal skikt av halvledande material (Ledkoncept, 2016).

Elektricitet omvandlas i lysdioden till ljuspartiklar s.k. fotoner, vilket jämfört med andra ljuskällor ger en vinst i effektivitet, då det mesta av strömmen i andra ljuskällor går åt till värme och enbart en liten del av energin omvandlas till ljus. Strömmen i en glödlampa och halogenlampa används till att hetta upp en metalltråd och få den att glöda. I den tidigare lågenergilampan, dvs lysrörslampan, skapas en gasurladdning som ger ljus och värme. De nya LED-lamporna kräver alltså mindre energi för att ge ifrån sig ljus än de föregående ljuskällorna. Utvecklingen går framåt hela tiden, effektiviteten blir allt högre och även ljusflödet (mätt i lumen) per tillförd effekt (mätt i watt) ökar. Det senaste rekordet (2014) mäter drygt 300 lm/w mot 16 lm/w i vanliga glödlampor och uppåt 70 lm/w i lysrörslampor. Då ungefär en fjärdedel av världens elförbrukning går till belysning är LED-lampornas höga energieffektivitet ett bidrag till att spara på jordens resurser (Nobelpriset i fysik, 2014).

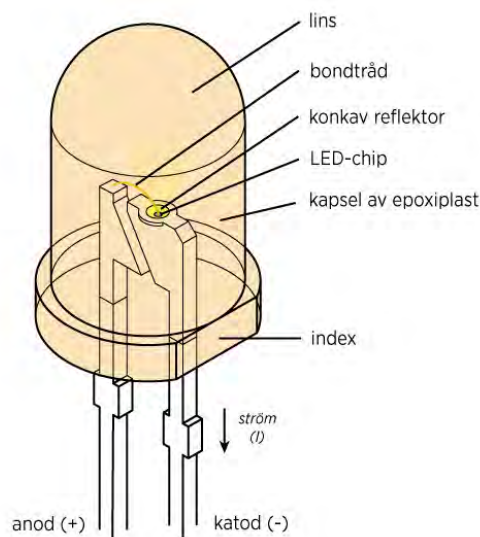
Lysdioden utstrålar i motsats till glödlampor ett inkoherent ljus, med ett smalt ljusspektrum då elektrisk ström flyter i framåtriktningen, i ett närmaste monokromt ljus i en bestämd färg. Det är mycket ljusintensivt i förhållande till sin förbrukade energi. Ljusets färg bestäms av det material som används i halvledaren, några exempel är AlGaAs (Aluminium galliumarsenid) som ger infrarött och rött, GaAsp (Galliumarsenidfosfid) ger gult, orange eller rött och InGaN (Indiumgalliumnitrid) som ger blått ljus (Medirum, 2016). Nedan är ett exempel på en lampa med blått sken, som dessutom tilldelades Nobelpriset i fysik 2014. Det revolutionerande blåa skenet gjorde nu att det är möjligt att skapa vitt sken med hjälp av färgtrion rött, grönt och blått (Bergström m.fl., 2014).



Figur 3 Den nobelprisbelönade blåa lysdioden (Nobelpriset i fysik, 2014)

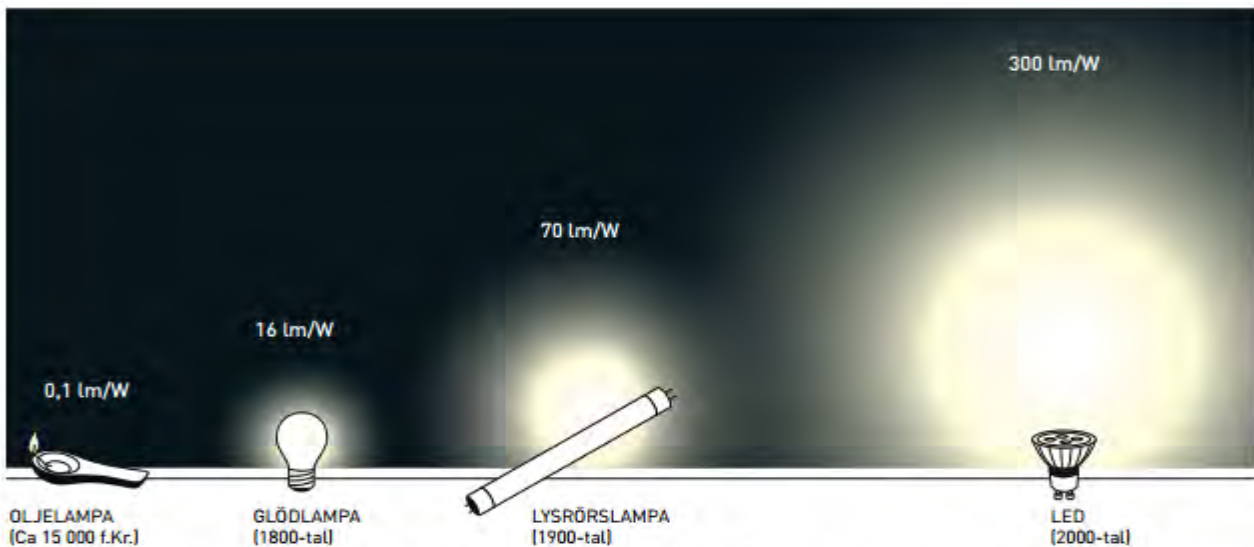
En betydande ström flyter genom PN-övergången (se Figur 3) i dioden när spänningen i dioden är rätt, strömmen sägs då vara framåtriktad. Spänningen över lysdioden är i detta tillfälle stabil för en given lysdiod och proportionell mot energin av de utstrålade fotonerna. Spänningen är bakåtriktad om den har fel polaritet, då inget ljus avges, mycket liten läckström flyter men vid förhöjd spänning sker genombrott och dioden kan förstöras (Ledkoncept, 2016).

Ur hållbarhetssynpunkt är LED-lampan att föredra. Den är avsevärt energieffektiv och avger inte samma mängd värme som en glödlampa, i jämförelse med glödlampan är energibesparingen upp till 80 %. Lampan har en betydligt längre livslängd (minst 10 gånger längre) än en vanlig glödlampa och innehåller inga tungmetaller såsom kvicksilver. Den är även betydligt snällare mot miljön än de övriga alternativen (Eon, 2016).



Figur 4 Lysdiodens uppbyggnad (Nationalencyklopedin, 2016)

Nedan illustreras ljusflödet från de olika ljuskällorna. LED-lampan kräver avsevärt mindre energi jämfört med gamla ljuskällorna (Ledkoncept, 2016).



Figur 5 Numera anges lampans ljusflöde i lumen (Ledkoncept, 2016)

2.2.1 Användningsområden för LED

För ca 30 år sedan var möjligheten till användningsområden för LED begränsat då det enbart fanns rött sken. Utvecklingen har dock skett snabbt och idag finns LED i flertalet kulörer och därmed också ett bredare användningsområde. Detta är t.ex. instrumentpaneler, informationsskyltar, trafikljus, belysning, kamerablixtar till mobiltelefoner, elektronik (Sandström, m.fl. 2002). Det finns länder som infört lysdioder som ljuskälla i sina huvudsignaler och det är bl.a. Tyskland, Finland, England och USA³.

2.2.1.1 EU-direktiv, utfasning av glödlampan

På grund av glödlampans onödigt stora energikonsumtion i förhållande till ljusutbyte där enbart 5 procent blir ljus och resterande värme, beslutade sig EU-länderna gemensamt att stegvis fasa ut glödlampan till förmån för energieffektivare alternativ med bra ljus.

Fr.o.m. hösten 2009 avslutades både tillverkning och import av vissa typer av lampor. Arbetet fortskrider succesivt med utfasning av glödlampstyperna enligt tabellen nedan.

- *September 2009: Förbud mot alla matta glödlampor och klara 100 watts glödlampor.*
- *September 2010: Förbud mot klara 75 watts glödlampor.*
- *September 2011: Förbud mot klara 60 watts glödlampor.*
- *September 2012: Förbud mot klara 40, 25 och 15 watts glödlampor.*

(Energimyndigheten 2016)

³ Thomas Zarnhall Gruppchef ÅF Signal Intervju 160428 Helsingborg

Det beräknas att energibesparingen som görs enbart i Sverige motsvarar 80 000 uppvärmda villor per år (Energimyndigheten, 2016), detta då alternativen till glödrådslampan har genomgående avsevärt längre livslängd. Värmeeffekten som avges är inte önskad ur ett miljöinverkans-perspektiv (Nationalencyklopedin, 2016).

I Europaparlamentets och Europarådets direktiv (2003) kan följande läsas:

“1. Detta direktiv skall, utan att det påverkar tillämpningen av artikel 6, tillämpas på elektriska och elektroniska produkter som omfattas av kategorierna 1–7 och 10 i bilaga I A till direktiv 2002/96/EG (WEEE) samt på elektriska glödlampor och belysningsarmatur i hushåll.”

(Europaparlamentets direktiv 2002 s.2)

2.2.1.2 LED i vägskyddssignaler

Det förekommer LED i vägskyddssignalerna som vetter mot biltrafiken. Det är det röda skenet som är av LED-typ och lampan regleras inte av lampkontroll (fail-safe), som huvudljussignaler. Livslängden för LED-lampan av denna modell är 10 år (TDOK 2014:0451). Lampans komponenter består av följande material.

Hölje: Polykarbonat

Adaptering: EPDM-gummi (eten-propen gummi)

Fästplatta: Aluminium

Drivkrets/LED: Elektronik (TDOK 2014:0451).



Figur 6 Vägskyddssignal med LED (röda skenet) Foto: TDOK 2014:0451

Vid diskussion med Zarnhall⁴ har åskkänslighet uppkommit som ett problem då det finns en myt om att LED skulle vara känsligare än traditionell glödtrådslampa. Kontentan är dock att slår blixten ner slår den ut hela anläggningen oavsett ljuskälla.

2.3 Signalställverk

En signalsäkerhetsanläggning skall se till att tåg varken kör för fort eller för långt, samt inte rullar in på ett belagt spår. Ett sådant system bygger på samspelet mellan regler, arbetsrutiner, planer samt teknisk utrustning.

Ställverken kontrollerar och styr växlar samt signaler på driftplatser. Ställverken kan även styra väg- och plattformsbommar (Bårström & Granbom, 2012).

Det finns två sorters ställverk, reläbaserat och datorbaserat ställverk. Det äldsta ställverket som är i drift togs i bruk redan 1959 och är av typen reläställverk. Principen för ställverk är att vissa villkor ska vara uppfyllda för att en tågväg ska kunna läggas. När tågväg är lagd på ett spår innebär detta att ett annat tåg ej kan få körsignal in på samma spår (Bårström & Granbom, 2012).

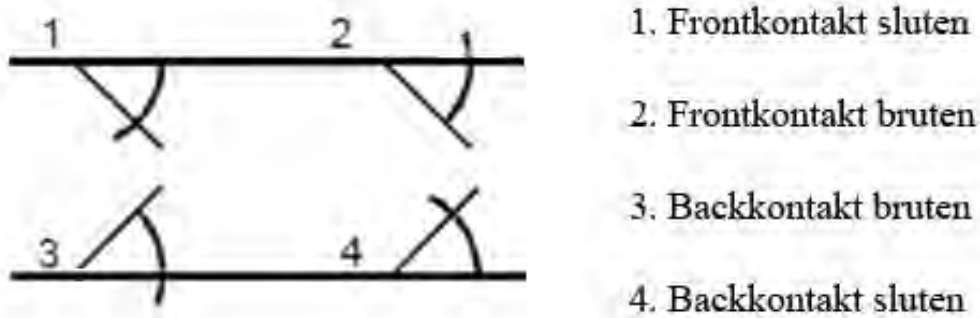
⁴ Thomas Zarnhall Gruppchef ÅF Signal Intervju 160428 Helsingborg

2.3.1 Reläeteknik

Ett relä möjliggör styrning av en ström med hjälp av en annan ström. Reläets konstruktion består av en spole tillhörande den primära kretsen och en omkopplare i den sekundära delen. Reläets omkopplare kan ha två olika funktioner, antingen öppnande eller slutande.

“När det går ström genom spolen (i den primära kretsen) uppstår ett magnetiskt fält, vilket i sin tur påverkar ett bleck som öppnar eller sluter den sekundära kretsen (omkopplaren)”, (Kjell & Company, 2016).

Ett reläs tillstånd styrs av en elektrisk ström, istället för en fysisk strömbrytare styrd av en människa. Detta kan användas för att styra en större ström med hjälp av en liten ström, då spolen inte kräver så mycket ström för att bli magnetisk och ändra kontaktbleckens läge. I den sekundära kretsen kan betydligt högre strömmar flyttas (Kjell & Company, 2016).



Figur 7 Reläer Front-/Backkontakt (Figur Egen)

2.3.2 Ställverk

Med tiden uppdaterades ställverken från mekaniskt till elektriskt, först med reläer och sedan vidare till det datoriserade ställverket med programvara. Ställverk som idag används av Trafikverket är reläställverken 59 och 65 samt datorställverken 85 och 95. I datorställverken finns två av varandra oberoende programvaror som båda måste visa *kör*. Om ett av programmen inte kommer fram till *kör* visas automatiskt *stopp* i signalen. En ytterligare fördel med datorställverket är att systemet själv kan välja tågväg efter tågets nummer, programmering kan även göras så att ett tåg med viss destination alltid kommer in till förbestämd plattform (Bårström & Granbom, 2012).

Till tågskyddssystemet tillhör även linjeblockering och ATC. Linjeblockering utgörs av spårledning som detekterar när ett tågs hjul passerar en skarv i rälen genom att hjulen kortsluter rälsen. Linjeblockeringens uppgift är att se till så att upphinnande tåg får ett restriktivare körbesked för att inte köra in i ett framförvarande tåg. Även DLC har nytta av linjeblockeringen då de kan se var ett specifikt tåg befinner sig. ATC:n läser av balisernas signaler och skickar de vidare till föraren. Skulle föraren missa ett meddelande så kommer ATC-systemet att bromsa tåget när ett signalbesked inte har bekräftats av föraren, t.ex. vid en hastighetsreducering.

ATC:n håller även koll på hur banan ser ut. Banlutning, kommande hastighetsbegränsningar, andra hastighetspåverkande faktorer och restriktiva signaler fås ur TDOK 2014:0455.

Komponenter som ATC består av är baliser med baninformation, vissa med fasta värden och andra med föränderliga värden samt fordonsmonterad utrustning. Det är den fordonsmonterade utrustningen som aktiverar baliserna i spåret när tåget passerar över dem. Detta gör att baliserna inte behöver strömförsörjas om de är av typen med ett fast värde (Bårström & Granbom, 2012).

Vidare finns det tre huvudtyper av kodare: parallellkodare, seriekodare och optokodare. Kodarna är till för att tolka signalernas och styrkretsarnas meddelanden som sedan skickas ut kodat till de styrbara baliserna. Kodarna är konstruerade så att enstaka komponenter inte skall kunna ge för hög hastighet och skulle ytterligare komponentfel ge en högre hastighet så meddelas detta med larm om balisfel alternativt genom att en för sträckan låg hastighet erhålls (Bårström & Granbom, 2012).

2.3.2.1 *Fail-safe*

“ATC-utrustning är ett s.k. ”Fail Safe” system vilket innebär att utrustningen är så utförd att inget fel, vare sig i ban- eller fordonsutrustning, kan utan att larmas leda till att tåget vid något tillfälle kan framföras med högre hastighet än om utrustningen är felfri. “ (TDOK 2014:0455 s.11)

Fail-safe-systemet innebär att tåget stoppas av systemet då ett fel inträffar eller begås. Det är ATC som automatiskt bromsar tåget och övervakar föraren.

När glödlampan i en signal lyser skickas ström igenom kretsen. Detta gör att “Lamp-reläet” (Ljr/Ljg) dras upp och signalen ger en körangivelse. Om lampan däremot är sönder är kretsen bruten och det går ej någon ström igenom kretsen som kan dra upp relät. Detta gör att huvudsignalen kommer att vara släckt, där släckt signal betyder stopp, då det alltid skall gå till det mest säkra läget.

I lysdioder flyter det konstant en svag ström, oavsett om lysdioden är hel eller trasig. Ljusreläet (Ljr/Ljg) kräver ett minsta strömvärde för att dra reläet och bekräfta att lampan är hel. Uppnås inte detta tröskelvärde kommer reläet inte att dra och då indikeras att lampan inte lyser, d.v.s. att lampan ska vara trasig.

Detta berör främst reläställverk som modell 59, men även datorställverk behöver programmera om sina kretskort⁵.

⁵ Peter Rubin Signallärare Intervju 160315 Ängelholm

2.4 Krav

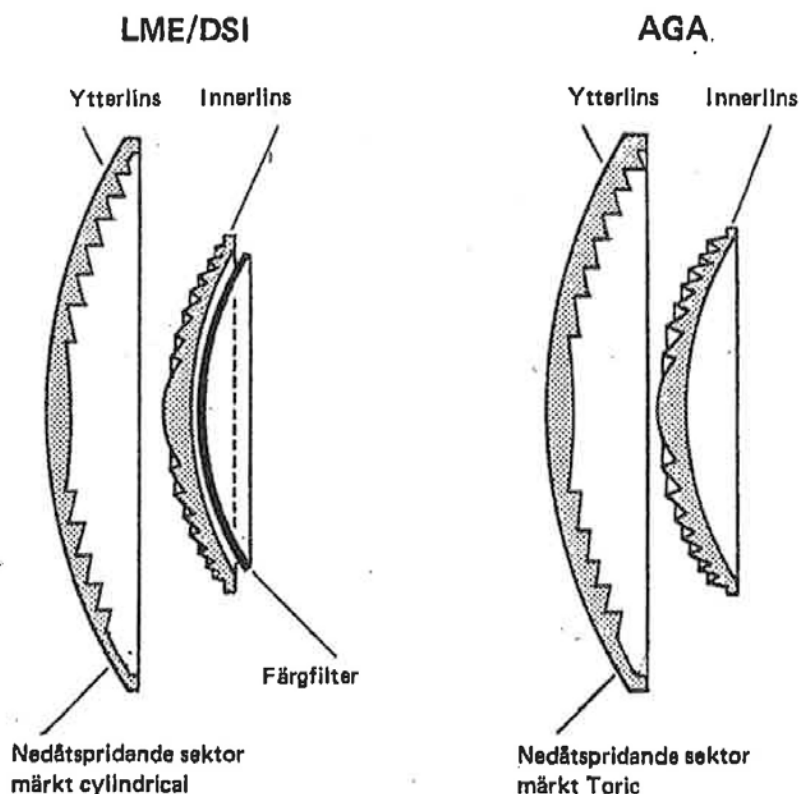
Utöver kraven i tekniska dokument (TDOK) ska glasen på ytterlinsen ha en slipning så en spridning på 4° ges. En nattsänkning av ljuset skall också ske så att lokförarna inte blir bländade nattetid⁶.

De krav som finns för huvudljussignaler idag är:

“Siktkrav:

För kategorierna infarts-, mellan-, linjeplats- och mellanblocksinal, normalt 300 m, minimum 50 m, om siktsträckan är kortare än 200 m ska särskild information om detta lämnas till föraren, enligt avsnitt 6.2. För annan signalkategori normalt 200 m och minimum 50 m. “ (TDOK 2013:0625 s.9)

I dagens huvudljussignaler används 12 V, 24 W lampor med sockeln av typ B22d. Den yttersta linsen har en nedåtspridande slipning och det sitter även en innerlins med ett färgfilter (Rubin 2016).



Figur 8 Innerlins & ytterlins (SJTF, årtal okänt)

⁶ Peter Rubin Signallärare Intervju 160315 Ängelholm



Figur 9 Komponenter huvudljussignal 1. Glödlampa med fäste 2. Färglins 3. Innerlins 4. Ytterlins (Foto: Andreas Mårtensson)

3 Fallstudie

Under arbetets gång har vi haft möten med vår handledare på ÅF, Thomas Zarnhall, som berättade att LED har implementerats i en anläggning i Sverige, nämligen Roslagsbanan i Stockholm. Det är den första banan i Sverige som har infört lysdioder som ljuskälla i huvudljussignaler. Vi bestämde oss för att åka dit för att titta på lamporna och för att träffa Andreas Mårtensson på Trafikförvaltningen SLL för att lära oss mer om detta.

3.1 Bakgrund Roslagsbanan

Roslagsbanan öppnades för trafik redan år 1885 med sträckan Stockholm – Kårsta, och är idag unik som den enda smalspåriga (spårvidd 891 mm) järnväg med reguljär trafik. Banan är 65 km lång och har ca 46 000 resenärer/dag. Banan har ATC och fjärrblockering (undantaget Lindholmen – Kårsta) och är elektrifierad med 1 500 V likspänning. Trafikutövare på banan är sedan 2003 Arriva (Stockholms Läns Landsting, 2016).



*Figur 10 Tåg X10p vid Stockholms östra, Roslagsbanan
(Foto Annamaria Szekelyi)*



Figur 11 Roslagsbanan är enda kvarvarande smalspåriga banan i Sverige med reguljär tågtrafik (Foto Annamaria Szekelyi)

3.1.1 LED på Roslagsbanan

Under nästkommande kapitel har vi sammanfattat våra intervjuer där vi bland annat beskriver implementeringen av LED på Roslagsbanan.

4 Intervjuer

Vi tycker det är av stort värde att få höra åsikter inom branschen, därför har vi genomfört intervjuer med teknikförvaltare, utbildningspersonal, signaltekniker och beställare.

Intervjufrågorna har skickats ut på förhand så att personerna kunnat förbereda sig, frågorna finns att tillgå i bilagan i slutet av arbetet. Majoriteten av frågorna har varit av samma karaktär, men ett antal frågor har skilt sig lite utifrån vilken person som intervjuats. Frågorna har då varit anpassade och av mer partspecifik karaktär anpassat till intervjupersonens arbete/verksamhet. Intervjupersonerna har valts ut efter samråd med vår handledare på ÅF som har kontakter och inblick i branschen, och utifrån våra egna kontakter. Vi har strävat efter att ha fysiska möten, dock har kommunikation även skett via mailkorrespondens, Lync och telefon.

Ur den genomförda litteraturstudien fann vi att det inte finns någon övergripande dokumentation inom området att tillgå då detta ämne är nytt och inte helt implementerat än. Att intervjua personer i branschen blev då även ett komplement till litteraturen.

Diktafon har använts för insamling av data. Intervjuerna har i efterhand transkriberats och bearbetats. Då flera intervjuer genomförts har det blivit

omfattande mängder text. I enlighet med Patel & Davidson (1991) har vi analyserat och bearbetat intervjuerna, där de väsentligaste delarna sammanfattats. Intervjupersonerna har sedan fått godkänna sammanfattningen och även publicering av deras namn. Detta för att undvika missförstånd och skapa en större reliabilitet för presentation av svaren i arbetet.

4.1 Sammanställning av intervjuer

4.1.1 Peter Rubin, Trafikverksskolan Ängelholm

Peter är signallärare på Trafikverskolan i Ängelholm. Vi träffade honom på skolan i Ängelholm på utbildningsanläggningen.

Syftet med intervjun var i första hand att få en bredare förståelse för hur huvudljussignalerna fungerar och även vad fail-safe är. Utöver detta så ville vi även höra om Peter visste varför lysdiodtekniken ej implementerats än.

Intervjun gav oss värdefull information till litteraturstudien och fler infallsvinklar till problemet.

Peters reflektioner är att det borde gå att göra ett byte från glödlampor till lysdioder. Det strömavkännande reläet, Ljr/Ljg i det röda och gröna skenet, reagerar på ström och inte spänning vid ett lamphaveri. När reläet inte drar är detta en indikation på att en lampa är trasig, vilket är den kontroll på att lampan inte är hel som krävs (fail-safe). Eftersom lysdioder drar mindre ström än glödlampor måste det strömavkännande reläet anpassas till LED-modulerna. Värt att notera är att det fortfarande måste genomgå en säkerhetsbevisning. ATC-kodarna i anläggningen kräver en viss mängd ström för att fungera korrekt. Används strömsnåla LED-moduler måste dessa kodare uppdateras. Till det reläbaserade ställverket 59 måste troligen ett nytt reläkort utvecklas, medan för ställverk 95, som är ett datorbaserat ställverk, bör det räcka med att lampkortet uppgraderas. De nya LED-modulerna bör dimmas ner vid nattsänkning för att inte blända lokförarna.

Uppskattningsvis tar det 15 minuter att byta en LED-modul (gäller på lampor i vägskyddssignalen).



Figur 12 Huvudljussignal i testanläggning Ängelholm (Foto Annamaria Szekelyi)

Reflektion: Våra nya infallsvinklar blev att det inte enbart är möjligt att byta ut lamporna och ersätta med LED i befintlig armatur, det krävs att övriga komponenter som t.ex. reläer, ATC-kodare och lampkontroll är kompatibla.

4.1.2 Andreas Mårtensson, Trafikförvaltningen Stockholm

Andreas är Bitr. Signalsäkerhetsansvarig och Teknisk Förvaltare, signal. Vi träffade Andreas på Trafikförvaltningen i Stockholm där vi pratade om deras tillvägagångssätt av implementeringen av LED på Roslagsbanan. Mötet blev mer som en diskussion än en intervju och andra frågor utöver de redan givna kom att ställas under diskussionens gång.

På Roslagsbanan har det sedan länge varit problem med oxid i lampsocklar och lampbyten vilket orsakat omstart i ställverket. Ställverket som används på banan är av typ Microlock II från Ansaldo USA som används på banan sedan 1999. Glapp i kontaktpunkterna ledde till stopp i signalerna.

Vid utbyggnaden av Roslagsbanan skulle det även projekteras nya ställverk. Där föddes idén att projektera ett standardteknikhus, där syftet är att alla husen ska se likadana ut, för att effektivisera projektering och byggande samt underlätta underhållet. Vid projektering av de nya teknikhusen valdes det även att inkludera LED-moduler som ett steg i att få bort problemen som funnits med lampsocklarna.

Utöver detta var syftet även att minska underhållet i form av ändrade intervall på lampbyten, få en minskad energiförbrukning och tydligare signalbild mot tågen. Med LED fås en annorlunda signalbild, jämfört med glödlampan. En traditionell glödlampa är inte lika tydlig som LED, då hela skivan lysas upp av dioder.



Figur 13 Foto från Roslagsbanan. Testlampa monterad på befintlig armatur. LED-modul till vänster, traditionell glödtrådslampa till höger. (Foto Andreas Mårtensson)



*Figur 14 Provsignal monterad på befintlig stolpe
(Foto Andreas Mårtensson)*



*Figur 15 Övre lampan med lysdioder, nedre
lampan glödtråd (Foto Andreas Mårtensson)*



*Figur 16 Huvudljussignal med LED på
Roslagsbanan (Foto Per Ericsson)*

Ansaldos modul var en komponent i det befintliga ställverkssystemets produktportfölj, vilket gjorde att de kunde implementeras i befintlig anläggning, både vad gäller ställverk och signalstolpe.

I LED-modulen sitter även ett kretskort som kontrollerar antalet hela och trasiga lysdioder. När fyra stycken dioder slocknat beslutar kortet att hela modulen släcks. Myndighetsgodkännandet har inneburit ett omfattande arbete, då produkten är utvecklad i USA där andra godkännandepprinciper tillämpas. Ett dilemma som uppstod i testfasen var lysdiodens starka sken. Dels lös lampan med ett bländande sken, men det gröna skenet kunde även uppfattas som vitt, vilket ej är önskvärt då signalbilden kan förväxlas. Lösningen blev ett filter i form av solfilm framför linsen som testades fram med olika svärta (se Figur 17). Systemet godkändes slutligen av Transportstyrelsen enligt CENELEC-normen.



*Figur 17 Foto från Roslagsbanan, Solfilm monterad framför linsen
(Foto Per Ericsson)*

Ett ytterligare dilemma som har diskuterats är snö. Glödtrådslampan avger värme som håller linsen fri från snö, som smälter bort. Då LED ej avger samma mängd värme påstås det att risken för att snö ska packas framför linsen är större. Det kan leda till att signalbeskedet ej syns. Eftersom LED ger en tydligare signalbild och mycket starkare sken bör inte detta vara ett problem. Förarkåren ansåg inte att lamporna bländade, tvärtom var de positiva då lamporna sågs tidigare i exempelvis kurvor.

Lysdioderna introducerades på Roslagsbanan hösten 2014 och förankrades i ett tidigt skede hos trafikoperatören. Detta genom att det sattes en "extra" signal parallellt med den traditionella signalen (se Figur 14). Reaktionerna har upplevts positiva från förarkåren, trots att nattsänkning inte finns i LED-modulerna. Snarare har reaktionerna varit att signalerna syns tidigare på banan med den nya ljuskällan.

Saltsjöbanan i Stockholm använder reläställverk enligt ställverk 59-princip. Det planeras att även här införa LED i huvudljussignaler. Arbetet pågår med att på marknaden finna en modul som kan härma dagens glödlampor så att det inte behövs förändringar i de befintliga ställverk banan har idag.

Visionen är att byta glödlampan mot LED i samtliga signaler på banan utan annan förändring av kopplingar eller ställverk, signaltransformatorer och ljusreläer siktas på att behållas.

Det finns dock utmaningar.

- "Vissa fabrikat av ljuskällor drar ström även vid felmod, denna ström måste vara lägre än den ström då ljusreläet drar.
- LED-ljuskällans beteende måste härma glödlampans även vid felmoder
- Intelligent ljuskällor som själva kontrollerar att tillräckligt många dioder är hela och lyser, annars släcker hela ljuskällan.
- Olika typer av ljusreläer med olika elektrisk data, samma LED-modul eftersträvas.
- Optisk kravbild på LED-ljuskällor, ljusstyrka, kulörer, spridning osv.
- Myndighetskrav CENELEC ska vara uppfyllt för ljuskällans konstruktion där leverantören är ansvarig för att ta fram nödvändig produktdokumentation" (Mårtensson, 2016).

Reflektion: Vår reflektion efter mötet var att ingenting är omöjligt. Processen från idé till färdig produkt tar dock tid, dels det administrativa arbetet men även arbetet med säkerhetsbevisning är en omfattande process. En ytterligare reflektion var även mandatperiodernas inverkan på projekten med avseende på budget och tid. Beroende på vilka som styr regleras pengarna olika och därmed även projektens budget.

4.1.3 Mikael Nilsson, VR-Track Hässleholm

Mikael är signaltekniker på VR-Track som har underhållskontrakt på Södra Stambanan. Vi talades vid med Mikael på telefon om hur de serverar och avhjälper fel.

Ett vanligt lampbyte går snabbt, 10-15 sek om det inte är något som krånglar. Det kan t.ex. vara att någon kontakt på lampan är lite tjockare så att den får filas ner lite så att den kommer ner i sockeln. En LED-modul får inte vara svår att byta när den väl går sönder, och byte får gärna ske utan att sladdar behöver lossas.

Mikael är överlag positiv över byte till LED.

4.1.4 Magnus Kårström, Trafikverket Underhåll

Magnus är utredare på signalsidan på Trafikverket. Vårt möte med Magnus skedde via telefon på Lync.

Trafikverket har för avsikt att starta en förstudie senare i år i arbete med att implementera LED i Sverige. I en tidigare förstudie konstaterades det att styrutrustningen för LED-moduler skulle ge mer fel än vad glödlamporna skulle ge. Problemet med LED är att de drar så lite ström att signalställverken ej kan detektera om lampan är tänd eller inte och behöver den extra styrutrustning för att kompensera för den låga strömförbrukningen. Något test med LED-moduler har inte genomförts i testanläggning.

Det är främst reläställverken som Trafikverket kommer inrikta sig på, men datorställverken ska också uppgraderas för att klara LED-modulerna.

Det har inte varit något större motstånd inom Trafikverket rörande ett införande, men det är många faktorer som ska stämma innan LED kan och får implementeras i anläggningen. Anledningen till att införa LED är framförallt att minska underhållet. LED har längre livslängd än glödlampor och det skulle troligen bli färre lampfel. Det är främsta syftet. Poängteras bör även att lampfel inte är den främsta orsaken till tågförseningsminuter i järnvägsnätet, det är kontaktlednings- och växelfel bland annat.

Bombardier som är tillverkare av stlv 95, har färdiga LED-moduler och lampkort, dock har Trafikverket inte kommit så långt att börja utvärdera komponenter. Det är önskvärt att LED-modulerna kan hantera nattsänkning, alltså dimmas för att inte blända lokförare under de mörkare delarna av dygnet.

Trafikverket vill samtidigt med införandet av LED även försöka minimera antalet signalbesked till att endast visa *Grönt* och *Rött*. Det krävs att många

kravspecifikationer är på plats, att provdrift genomförts och erfarenhetsdrift. Sedan ska upphandling av komponenter ske och tid för eventuell överklagatas med. Kontentan är att det är många steg innan det är klart. Tekniken brukar inte vara problemet utan det är processerna runt omkring.

Tidsmässigt ligger det minst 3-5 år framåt i tiden.

Reflektion: Vårt samtal med Magnus fick ett positivt utfall då det planeras genomföras en förstudie inom snar framtid som ligger till grund för en implementering. Dock är detta inget som ligger till kännedom inom branschen, detta då det förmodligen ligger i en väldigt tidig fas.

4.1.5 Bombardier

Vi har försökt att upprätta kontakt via telefon och sedan mailkorrespondens dock utan gensvar. Vårt syfte var att få reda på om de tillhandahåller redan färdiga lösningar och komponenter, samt prisuppgifter.

5 Beräkningar

5.1 LED vs Glödlampa

	Glödtrådslampa	LED-lampa
Livslängd	1 000 timmar, 60 W (1,5 månad)	10 000-25 000 timmar, 8 W (14 - 34 månader)
Miljöpåverkan	Hög energiförbrukning Tråd av volfram Sockel innehåller bly	Låg energiförbrukning
Kostnad	394 kr*	43 kr*
Effekt	12 W	1,5 W
	40 W	4-5 W
	60 W	7-8 W
	100 W	11-13 W

Tabell 1 LED-lampan har längre livslängd men också en ekonomisk fördel

*Kostnad (hushållslampor)

Vi räknar med följande:

1 kWh (kilowattimme) kostar 1,20 kr

$$\text{Kostnad} = \frac{(\text{antal lampor} \cdot \text{effekt})(h \cdot \text{dagar/år})}{\text{pris per kilowattimme}}$$

För glödlampa:

4 stycken glödlampor med effekt 25 W

Lamporna lyser 9h/dygn

Då får vi följande uträkning:

$$\text{Kostnad} = \frac{(4 \cdot 25)(9 \cdot 365)}{1,2 \cdot 10^3} = 394 \text{ kr}$$

För LED-lampa:

4 stycken LED-lampor med effekt 2,7 W

Lamporna lyser 9h/dygn

Då får vi följande uträkning:

$$\text{Kostnad} = \frac{(4 \cdot 2,7)(9 \cdot 365)}{1,2 \cdot 10^3} \approx 43 \text{ kr}$$

I våra samtal med beställare, konsulter, förvaltare och tekniker har utfallet blivit att det främst är i underhållssyfte som byte av ljuskälla sker. Färre lampfel, färre bytesintervaller då LED har längre livslängd genererar då mer tid till övrigt underhåll.

Vi har kontaktat Trafikverket i syfte att få reda på hur många huvudljussignaler som finns i anläggningen, utan vidare resultat. Därför har vi genomfört ett *antagande* där vi uppskattar att det finns 15 000 huvudljussignaler i anläggningen i Sverige. Denna siffra har diskuterats med vår ÅF-handledare som anser att siffran är rimlig. Vidare antar vi att en huvudljussignal har 3 sken, alltså 3 lampor som ett medeltal.

Lamporna i huvudljussignalerna byts med olika tidsintervaller beroende på vilket sken de lyser med. Den röda lampan byts årligen då den lyser fler timmar och det vita och gröna skenet byts vartannat till tredje år då de inte lyser lika många timmar (TDOK (2014:0482)).

I Materialservice katalog (2016) finner vi att en glödlampa (sort B22d, 12V, 24W) kostar 119 kr.

Ekvation

¹ *huvudljussignaler tot · antal sken*

² *antal sken tot · kostnad per lampa*

Antal lampor som ska bytas / år¹:

15 000 · 3 = 45 000 stycken lampor

Kostnad för enbart lampa²:

45 000 · 119 = 5 355 000 kr

Kostnad för enbart lampa/10 år:

5 355 000 · 10 = 53 550 000 kr

Kostnad LED-modul

En LED-modul från Ansaldo inklusive strömregulator och överspänningskydd (utan UT-kort) kostar 9 000 kr/sken, exempelvis kostar en signal med tre sken 27 000 kr. Noteras bör att LED-modulerna har en minimum livslängd på 10 år. LED-modulerna är markant dyrare i anskaffning.

Kostnad för enbart anskaffning LED-modul:

(huvudljussignal · antal sken) · pris



Figur 18 Glödlampa som byts
(Foto Materialservice)



Figur 19 LED-modul som byts
(Foto Andreas Mårtensson)

$$(15\ 000 \cdot 3) \cdot 9\ 000 = 405\ 000\ 000\ \text{kr}$$

Detta inkluderar inte besparingen i bränsle eller tid att inspektera LED-modulerna, det är här besparingarna börjar. Det måste ses till helheten innan LED döms ut då det är det dyrare alternativet.

Uppskattad årliga värden

Tid 0,1h=6min

Inställelse-/restid	0,7	h
Tid-byte á lampa	0,1	h
Antal lampor	3	st
Tot tid	1	h
Antal signaler	15 000	st
Antal sken	45 000	st
Tidsåtgång	15 000*	h
Personal	2	st
Lampor	119	kr/st
Summa lampor per år	5 355 000	kr/år
Summa tid	30 000**	h/år

Vi uppskattar att det tar ca 30 minuter att infinna sig vid en signal, då det finns signaler ute på mellanblock som är svårtillgängliga, men även signaler nära driftplatser som är mer lättillgängliga. Bytet av lampan är inte svårgenomförligt och tar ej så lång tid. I vårt exempel har vi räknat högt med eventuell marginal för fel och inställelse. Totalt sett tar ett rutinbyte av tre stycken lampor uppskattningsvis 1 timme, inkluderat restid. I exemplet nedan räknar vi med två tekniker ute på plats.

*Beräkning tidsåtgång:

antal huvudljussignaler · h

$$15\ 000 \cdot 1 = 15\ 000\ h$$

**Beräkning arbetstimmar:

antal h · personal

$$15\ 000 \cdot 2 = 30\ 000\ h$$

Tid som skulle kunna reduceras betydligt och samtidigt ge mer utrymme för förebyggande underhåll.

6 Slutsats

6.1 Problemformulering och svar

I början av arbetet utformades en hypotes och fyra stycken problemformuleringar som präglade arbetets gång. Således har intervjufrågorna och litteraturstudien utformats så att problemformuleringarna ska gå att besvaras med hjälp av resultaten som getts. Nedan följer problemformuleringarna, samt svaren och en diskussion kring hypotesen.

1. Att undersöka om det finns möjlighet att införa LED-belysning på järnvägens optiska signalsystem idag?

Syftet med arbetet var att undersöka varför lysdiodtekniken ej införts i huvudljussignaler idag. LED finns sedan tidigare (det röda skenet) i vägskyddslampor som vetter mot biltrafikanter. Tekniken fungerar då vägskyddssignalen ej är reglerad av lampkontroll (fail-safe). Intervjuer har genomförts med utbildningspersonal, tekniker, förvaltare och beställare. Svaret vi fick är att Trafikverket har planer på implementering av LED inom en snar framtid. En förstudie ska påbörjas till hösten och därefter följer säkerhetsbevisning, provdrift och erfarenhetsdrift vilket innebär att det ligger minst 3-5 år framåt tidsmässigt.

Under arbetets gång fick vi även kännedom om att lysdiodtekniken har implementerats i en anläggning i Sverige, nämligen Roslagsbanan. En fallstudie genomfördes därmed på banan. Roslagsbanan använder sig av det datoriserade ställverket Microlok II. Tillverkare är Ansaldo som sedan tidigare har lysdiodteknik i huvudljussignaler i t.ex. USA och Australien. Därmed har Ansaldo kunnat bistå med färdiga moduler anpassade för Microlock-ställverket, utan att behöva göra större ingrepp i anläggningen. Lösningar som togs fram är godkända av Transportstyrelsen enligt Cenelec-normen.

2. Varför LED-tekniken ej införts i huvudljussignaler idag?

Trafikverket använder två olika typer av signalställverk, reläbaserat vilken är den vanligast förekommande i anläggningen (ställverk 59) och datoriserat ställverk. Om vi skulle implementera LED-lampor i befintligt reläställverk skulle detta ej fungera, då LED drar så lite ström att ställverket ej kan detektera om lampan är tänd eller inte, och behöver då en extra styrutrustning för att kompensera för den låga strömförbrukningen. Anledningen till att det fungerar på Roslagsbanan är att Microlok har specialanpassade lampkort i ställverket, samt att nattsänkning ej tillämpas.

Problemen som hindrat implementering i dagsläget är alltså LED-lampans låga strömförbrukning, nattsänkning av lampan samt säkerhetsbevisning som är ett omfattande och krävande administrativt arbete.

3 Undersöka hur långt serviceintervallet är och även livslängd för glödlampa och LED?

I litteraturstudien framgick det att LED-lampan har avsevärt längre livslängd än glödlampan, minst 10 gånger längre. Därmed skulle serviceintervallen på lamporna kunna glesas ut, där större utrymme skulle ges för exempelvis förebyggande underhåll på andra komponenter i anläggningen.

Enligt TDOK 2014:0451 har LED-lampan (det röda skenet) i vägljussignalen en livslängd på 10 år.

4. Ta reda på kostnadsaspekter med parametrar som; livslängd, installationskostnad av ny armatur/byta stolparna, tid för byte av ljuskälla ny/gammal

Vi har fått prisuppgifter på LED-modulerna som installerats på Roslagsbanan. Priset för en lampa är 9 000 kr (se uträkning i kap 5). Detta är enbart inköpspris på modulen, installationskostnader ej inkluderade. Vidare har vi ej erhållit prisuppgifter från Bombardier.

Befintlig stolparmatur behövs på Roslagsbanan där glödlampsarmaturen ersattes av den nya LED-modulen. Därmed kunde en ekonomisk besparing göras genom att återanvända den befintliga armaturen.

Den uppskattade ekonomiska besparingen på enbart glödlampsbytet (enbart kostnad för lampa, arbetskostnader ej inkluderat i beräkningen) fick vi till 5 355 000 kr, se kap 5.

Vid samtal med signaltekniker framgick att bytet av glödlampan är en snabb process då det tar ca 10-15 sekunder att byta lampan (enbart lampbytet). Byte av en LED-modul tar betydligt längre tid i sammanhanget, uppskattningsvis 15 minuter. Dock skiljer sig serviceintervallen avsevärt emellan då LED-lampan har en livslängd på minst 10 år och glödlampsbyten sker med intervall 1-3 år (TDOK 2014:0482).

6.2 Återkoppling hypotes

Den hypotes vi har är att det förmodligen är en mödosam process med en komplicerad väg att gå, där bland annat framtagning av säkerhetsbevisning, projektering, test av komponenter och slutligen implementering ska till. Det är en ekonomisk fråga, där branschen redan i dagsläget rör sig med en begränsad budget och andra projekt prioriteras. Vår uppfattning är att vetenskapen om LED i branschen ej är så utbredd.

Vid arbetets början visste vi att LED används i vägskyddssignaler men undrade varför inte huvudljussignaler tillämpat ljuskällan. Under arbetets gång fick vi bekräftat som vi i vår hypotes antydde att säkerhetsbevisningen är en mödosam process. Det är en lång väg att gå innan inkoppling av lamporna på banan kan ske.

Ytterligare en reflektion är att branschen har kännedom om dess fördelar, kännedom om varför det ej fungerar, men att steget därefter ligger hos den förvaltande banhållaren.

Under vår diskussion med Mårtensson⁷ uppmärksammades även hur Landstinget arbete styrs av mandatperioder. Under fyraårsperioden kan ett arbete påbörjas, varvid en tilltänkt summa pengar och budget ges. Infrastrukturprojekt är dock omfattande arbeten som sträcker sig över flera år, och därmed över mandatperioden. Det innebär att om det sker ett maktskifte kan pengarna komma att omprioriteras till andra projekt som gör att projektet får mer restriktiv budget att röra sig med. Beroende på vem som innehar makten/styrande kan pengarna komma att styras åt annat håll. I dagsläget är underhåll och höghastighetsjärnväg i ropet, investering i LED hade varit en underhållsfråga, det måste bara komma till de styrandes kännedom.

6.3 Diskussion

Vår slutsats är att ingenting är omöjligt. Under arbetets gång fick vi höra många myter om varför en implementering inte skulle fungera. I vår fallstudie insåg vi att dessa myter gick att slå hål på.

LED drar alldeles för lite ström, det skulle inte fungera i ett reläställverk!

Om ett motstånd seriekopplas i kretsen blir strömmen tillräckligt stor, alternativt en lampa med högre effekt.

LED avger mindre mängd värme vilket innebär att linsen ej skulle smälta bort snön, vilket gör att lampan ej blir synlig.

⁷ Andreas Mårtensson SLL Signalsäkerhetsansvarig Intervju 160419 Stockholm.

LED lyser avsevärt starkare, ger även tydligare sken och lyser igenom snön utan att försämra siktsträckan.

LED är mer åskänsligt!

Om blixten slår ner kommer den slå ut komponenterna oavsett om det är av glödlampsmodell eller LED.

Vid arbetets början var vår uppfattning att byte till LED i främsta syfte skulle ske av miljömässiga eller ekonomiska skäl. Under arbetets gång och kontakt med branschen har syftet ändrats men målet oförändrats. Det är främst underhållsaspekten som är den drivande frågan, där färre lampbyten minskar mängden miljöfarliga komponenter i lamporna och utsläpp från servicefordon bland annat. Tiden som sparas på lampbytena kan läggas på förebyggande underhåll på övriga komponenter i anläggningen.

Ej att förglömma är EU-direktivet kring utfasning av glödlampor, där järnvägen inte är ett undantag.

6.4 Resultat

Det är nödvändigt att ändra i båda ställverkstyperna, ingreppen är av varierande omfattning beroende på om det är ett relä- eller datorbaserat ställverk. I ett datorställverk krävs enbart en omprogrammering av lampkort. I ett reläställverk måste byte av bland annat lampkort genomföras.

Resultatet är att ändringar i reläställverken så att dessa kan hantera LED-moduler på ett acceptabelt sätt är en större utmaning än hos ett datorställverk. Detta då majoriteten av ställverken ute i anläggningen är av reläteknik.

Utöver detta måste de nya komponenterna även genomgå säkerhetsbevisning och godkännande enligt CENELEC-normen. Detta är ett tidskrävande administrativt arbete som sträcker sig över en lång tid och innefattar många aktörer.

7 Källor

7.1 Litteratur

Bårtsöm, S & Granbom, P, (2012), *Den svenska järnvägen*, Borlänge: Trafikverket

JTF/TTJ (2016), *Trafikverkets Trafikbestämmelser för Järnväg (Modul till TDOK 2015:0309)*, Borlänge: Trafikverket

TDOK 2013:0625, (2105) *Signalprinciper, Yttre Signalering*, Borlänge: Trafikverket

TDOK 2014:0451,(2015), *Monteringsanvisning, För röd LED-lampa art. Nr 6215186 till vägljussignal*, Borlänge: Trafikverket

TDOK 2014:0482, (2015), *Förutbestämt underhåll*, Borlänge: Trafikverket

Patel, Runa & Davidson, Bo, (1991), *Forskningsmetodikens grunder*, Lund: Studentlitteratur

Sandström m.fl. (2002), *Belysning och hälsa*, Arbetslivsinstitutet, Stockholm

7.2 Elektroniskt

Bergström m.fl., *Blå lysdioder – en uppfinning som sprider nytt ljus över världen* (2014) <http://cdn.pandacommerce.net/static/customer/849/media/led--nobelpriset-fysik-2014.pdf>, [Elektronisk PDF], (hämtat 2016-04-06)

Energimyndigheten *Varför försvann glödlampan?*, <http://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/hemmet/belysning/var-for-forsvann-glodlampan/>, publicerat 2015-10-22, [Online], (hämtat 2016-03-31)

EON, *Så funkar lampor, vi har den energisnåla vinnaren* <http://energisparytt.eon.se/sa-funkar-det/sa-funkar-lampor-vi-har-den-energislåla-vinnaren/>, [Online], (hämtat 2016-04-01)

Kjell & Company, *Relä* <http://www.kjell.com/se/fraga-kjell/hur-funkar-det/smarta-hem/larmkomponenter/detektorer-och-larmdon>, Publicerad 2015-11-17, [Online], (Hämtat 2016-05-15)

Ledkoncept, *Fakta om LED*, 2016, <http://www.ledkoncept.se/pages/led-belysning-fakta>, [Online], (hämtat 2016-04-05)

Medirum, *Hur fungerar en lysdiod?*, <http://www.medirum.se/fakta/led.htm>, publicerat NA, [Online], (hämtat 2016-04-05)

Nationalencyklopedin, *Glödlampa*.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/glödlampa> [Online], (hämtad 2016-03-31)

Nationalencyklopedin, *Lysdiod*.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/lysdioid>, [Online], (hämtad 2016-04-01)

Sten, R, *Signaler i historiskt perspektiv*, (2004),
<http://www.historiskt.nu/diverse/signaler/historia.html#1>, publicerat 2004-11-07, [Online], (hämtat 2016-04-14)

Stockholms Läns Landsting, *Roslagsbanan*, (2016),
<http://www.sll.se/verksamhet/kollektivtrafik/Aktuella-projekt/Roslagsbanan/>, [Online], (hämtat 2016-04-15)

Trafikverket, *Materialservice Katalog*, (2016),
https://app.trafikverket.se/TRV_esa/esa/ItemList.jsp, [Online], (hämtat 2016-05-10)

7.3 Figur- och tabellförteckning

Figur 1	<i>Glödlampans uppbyggnad</i>	Wikipedia (2016)	s.5
Figur 2	<i>Olika typer av lampsocklar</i>	Lightupgrade (2016)	s.5
Figur 3	<i>Den nobelprisbelönade blåa lysdioden</i>	Nobelpriset fysik (2014)	s.6
Figur 4	<i>Lysdiodens uppbyggnad</i>	NE (2016)	s.7
Figur 5	<i>Nuamera anges lampans ljusflöde i lumen</i>	Ledkoncept (2016)	s.8
Figur 6	<i>Vägljussignal med LED</i>	TDOK 2014:0451	s.10
Figur 7	<i>Reläer med Front-/Backkontakt</i>	Egen	s.11
Figur 8	<i>Innerlins & Ytterlins</i>	SJTF (Årtal okänt)	s.14
Figur 9	<i>Komponenter Huvudljussignal</i>	A. Mårtensson (2016)	s.15
Figur 10	<i>Tåg X10p vid Stockholms Östra</i>	A. Szekelyi (2016)	s.16
Figur 11	<i>Enda kvarvarande smalspår</i>	A. Szekelyi (2016)	s.16
Figur 12	<i>Huvudljussignal i testanläggning</i>	A. Szekelyi (2016)	s.18
Figur 13	<i>Testlampa monterad på befintlig armatur</i>	A. Mårtensson (2014)	s.19
Figur 14	<i>Provsignal monterad på befintlig armatur</i> <i>Övre lampa lysdioder, nedre</i>	A. Mårtensson (2014)	s.20
Figur 15	<i>glödtrådslampa</i>	A. Mårtensson (2014)	s.20
Figur 16	<i>Huvudljussignal med LED</i>	P. Eriksson (2016)	s.20
Figur 17	<i>Solfilm monterad framför lins</i>	P. Eriksson (2016)	s.21
Figur 18	<i>Glödlampa B22d</i>	Materialservice (2016)	s.25
Figur 19	<i>LED-modul RSE-7A2</i>	A. Mårtensson (2014)	s.25
Tabell 1	<i>LED vs Glödlampan</i>	Egen	s.9
Tabell 2	<i>Uppskattade årliga kostnader</i>	Egen	s.25

8 Bilagor

8.1 Intervjufrågor

Trafikverksskolan

1. Hur fungerar fail-safe?
2. Vad är det som hindrat införandet i dagsläget?
3. Hur fungerar lamporna ute i anläggningen rent tekniskt med ställverk, reläer osv?

Trafikförvaltningen Stockholm

1. Vilken typ av ställverk är det som används tillsammans med LED-modulerna, är det relä- eller datorställverk?
2. Är Mickrolok specialanpassat för RB?
3. Har ni blivit övertygade om att LED-modulerna kan göras tillräckligt synliga för lokförarna enligt 4 gradersfokuset och siktsträckan 300m?
4. Finns det nattsänkning på Roslagsbanan?
5. Har lokförarna klagat på att de blir bländade av signalerna?
6. Har Transportstyrelsen lösningen med filter framför linsen?
7. Har ni stött på några problem vintertid med att signalerna snöar igen?
8. Är alla signaler utrustade med filter eller har det börjat tillverkas anpassade linser till LED-modulerna?
9. Är det samma signalstolpar på Roslagsbanan som övriga i Sverige?
10. Har LED-moduler även installerats i dvärgsignaler?
11. Har ni funderat på att implementera LED-moduler i dvärgsignaler?
12. Berörs dvärgsignalerna av samma oxidproblem vid byte av lampor som huvudljussignalerna?
13. Det är inte ett så omfattande arbete att byta dvärglamporna som huvudljuslamporna då?
14. Hörsäggen säger att det är lampkortet som skulle vara boven i dramat, men här har ni alltså löst det med ett anpassat LED-kort istället?
15. Förstod Ansaldo de byråkratiska stegen som Sverige har?
16. Det finns alltså en styrkrets i LED-modulen som känner av antalet lysande respektive slocknade dioder och stänger av hela modulen när gränsvärdet är uppnådd, alltså fail-safeläget i denna?
17. Har ni märkt någon minskad energiförbrukning sedan ni implementerade LED-moduler?
18. Har ni tittat på andra typer av lampor t.ex. manövreringslampor till växlar .?
19. Har ni sett att det har blivit färre störningar i tågtrafiken?
20. Har ni sett någon minskad försening pga LED?

21. Har er underhållsentreprenör behövt åka ut fler gånger för att åtgärda lampbyten/modulbyten?
22. Tog det lång tid från idéskede till verklighet?
23. Hur länge har ni haft LED i anläggningen?
24. Har ni varit tvungna att göra annat än att byta operativsystem?
25. Har ni ändrat något i ATC?
26. Vilka styrande dokument använder ni?

Materialservice

1. Hur påverkas Ni av direktivet (EU 2002) gällande utfasningen av glödlampor?
2. Har ni ett undantag eller en plan för de kommande åren?
3. Vi undrar lite om vilka tankar ni har kring LED i järnvägsanläggningen från er administrativa sida, ifall det skulle innebära en ökad arbetsinsats när det kommer till logistiken eller handhavandet vid lagerföring?
4. Ser ni några brister i hur/vilka komponenter som ni får beställa in?
5. Vilka typer av lampor används i våra huvudljus- och dvärgsignaler? Samt "nollkravslamporna", dvs manövreringsbox till växlar osv.

Trafikverket

1. Har ni stött på något motstånd inom organisationen, eller hur har tankarna gått?
2. Hur långt ni har kommit i arbetet med en ev implementering av LED? Är det uppe för diskussion?
3. OM ni har kommit igång med arbetet, finns det någon form av testverksamhet?
4. Hur lång tid tror ni att ni har LED på riktigt ute i anläggningen? Efter att det är godkänt?
5. Hur långt fram i tiden tror Ni att det ligger om det inte är aktuellt än?
6. Vad är det som har förhindrat införandet fram tills nu? Tekniskt eller administrativt, både och?
7. Är det främst datorställverk som det gäller då?
8. Vi träffade trafikförvaltningen om RB, Har ni något utbyte med dem?
9. Har ni pratat med några leverantörer som kan tillhandahålla komponenter?
10. Vad hade varit huvudsyftet med att sätta in det, mindre energiförbrukning/underhåll?
11. Ni har inte tänkt att sätta in större dioder som drar mer ström?

12. Vilka styrande dokument/krav förhåller Ni er till, har ni lätt att påverka/testa tillexempel införandet av ny teknik på banorna?

VR-Track Hässleholm

1. Hur lång tid tar det att byta en lampa?
2. Hur ofta åker ni och byter lamporna i anläggningen?
3. Byter ni alla lampor vid ett lampfel i en signal?
4. Om åskan slår ner så borde både ett vägskydd med LED gå sönder lika lätt som om vägskyddet hade glödlampor? Eller är det ena alternativet mindre åskkänsligt?

Bombardier

1. Har Bombardier färdiga moduler/komponenter till ett införande av LED (syftar på lampa, lampkort osv)?
2. Finns det ett prisexempel att tillgå i sådana fall?
3. Har ni komponenter till LED som skulle fungera även i ett reläställverk?
4. Har ni fört dialog med beställare angående LED-moduler?
5. Är nattsänkning ett hinder i implementeringen?