

# RISE



## Förstudie Cirkulär Gatubelysning

Lukas Hallquist, Josefina Sallén, Emanuela Vanacore,  
Matilda Leivas

RISE Rapport : 2024:16



Med stöd från



Strategiska  
innovations-  
program

# Innehåll

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Innehåll.....</b>                                               | <b>1</b>  |
| <b>Sammanfattning.....</b>                                         | <b>3</b>  |
| <b>1 Introduktion.....</b>                                         | <b>4</b>  |
| 1.1 Bakgrund .....                                                 | 4         |
| 1.2 Förstudiens syfte och mål .....                                | 4         |
| 1.3 Projektinnehåll .....                                          | 5         |
| 1.4 Avgränsning.....                                               | 5         |
| 1.5 Cirkulär ekonomi .....                                         | 6         |
| 1.5.1 Använda länge .....                                          | 6         |
| 1.5.2 Ändamålsenligt resursnyttjande .....                         | 7         |
| 1.5.3 Återcirkulera .....                                          | 7         |
| <b>2 Metod.....</b>                                                | <b>8</b>  |
| 2.1 Omvärldsbevakning .....                                        | 8         |
| 2.2 Intervjuer och workshops .....                                 | 8         |
| 2.3 Beräkning av ekonomisk och miljömässig potential .....         | 8         |
| <b>3 Värdekedjans nutida struktur och hållbarhetspåverkan.....</b> | <b>9</b>  |
| 3.1 Värdekedjan .....                                              | 9         |
| 3.2 Gatubelysningens påverkan på hållbarhet .....                  | 11        |
| 3.2.1 Drift .....                                                  | 12        |
| 3.2.2 Aluminium.....                                               | 12        |
| 3.2.3 Övrigt material.....                                         | 13        |
| 3.2.4 Ljusföroreningar .....                                       | 14        |
| 3.2.5 Trygghet och säkerhet .....                                  | 14        |
| 3.3 Dagens armaturer.....                                          | 14        |
| <b>4 Möjligheter och hinder för cirkulär gatubelysning .....</b>   | <b>17</b> |
| 4.1 Cirkulära åtgärder för armaturer och dess användning .....     | 17        |
| 4.1.1 Använda länge .....                                          | 17        |
| 4.1.2 Ändamålsenligt resursnyttjande .....                         | 21        |
| 4.1.3 Återcirkulering.....                                         | 22        |
| 4.1.4 Beräkningar .....                                            | 23        |
| 4.2 Affärsmodeller i en cirkulär värdekedja .....                  | 28        |
| 4.2.1 Återbruk.....                                                | 28        |
| 4.2.2 Take-back .....                                              | 28        |
| 4.2.3 Decentraliserad produktion och lokal reparation.....         | 29        |
| 4.2.4 Produkt som tjänst .....                                     | 29        |
| 4.3 Cirkulära faktorer i offentlig upphandling.....                | 29        |
| 4.3.1 Miljöanpassad offentlig upphandling .....                    | 30        |
| 4.3.2 Mål och strategier för cirkulär upphandling .....            | 30        |

|          |                                                                                                  |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.4      | Relevanta omvärldsfaktorer .....                                                                 | 31        |
| 4.4.1    | Förordning om ekodesign för hållbara produkter (Ekodesignförordningen)<br>32                     |           |
| 4.4.2    | Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) .....                                        | 32        |
| 4.4.3    | RoHS-direktivet .....                                                                            | 33        |
| 4.4.4    | Critical Raw Materials Act .....                                                                 | 34        |
| 4.4.5    | Standarder .....                                                                                 | 34        |
| <b>5</b> | <b>Slutsats</b> .....                                                                            | <b>35</b> |
| 5.1      | Områden för framtida forskning .....                                                             | 36        |
| 5.1.1    | Kartlägga vilka av de gamla armaturerna som kan nedmonteras .....                                | 36        |
| 5.1.2    | Kartlägga var närvarostyrd belysning kan ha störst effekt .....                                  | 36        |
| 5.1.3    | Studie för att skapa förståelse för slitage och livslängd av armaturhus och<br>komponenter ..... | 36        |
| 5.1.4    | Studie om hur modulära armaturer bör designas så att nyttorna överväger<br>nackdelarna.....      | 36        |
| 5.1.5    | Möjliga format för funktionsupphandling .....                                                    | 37        |
|          | <b>Referenser</b> .....                                                                          | <b>38</b> |

# Sammanfattning

I Sverige finns det ungefär 2,5 miljoner ljuspunkter på statliga vägar och kommunala gator. Den huvudsakliga funktionen är att förbättra synförhållandena i trafiken, men den syftar även till att öka komfort, motverka brottslighet, samt skapa trivsel. I den här förstudien har RISE, tillsammans med 8 aktörer från gatubelysningssektorn, utforskat hur värdekedjan kan leverera de värden som offentlig belysning bidrar till med färre resurser och mindre negativ påverkan på människa och miljö än vad som görs i dag.

Förstudien har utvärderat cirkularitet utifrån tre dimensioner i) att använda armaturer och dess komponenter länge, ii) att använda gatubelysningens resurser ändamålsenligt, och iii) att återcirkulera uttjänt material och att använda återcirkulerat material.

En huvudsaklig slutsats är att begreppet *cirkulär* förmodligen är för brett för att användas i sin helhet, och att begreppet med fördel bör brytas ner till mindre beståndsdelar, för att enklare ta steg åt rätt riktning.

Det underlättar för offentlig upphandling att ställa krav för förbättrad cirkularitet genom att bryta ner begreppet till mindre mål och strategier för att minska resursflödet, främst av jungfruligt material men även totalt. Detta för att det inte är tydligt i dag vad sektorn bör fokusera på. Utöver cirkulära krav på armaturerna har offentliga aktörer en viktig roll i gatubelysningens resursanvändning och påverkan på människor och biologisk mångfald genom deras beslut om var och hur mycket belysning som ska finnas, hur ofta och hur starkt den ska lysa.

Två identifierade utmaningar är i) att integrerade komponenter i LED-armaturer försvårar reparation och möjlighet till återbruk, och ii) att det är svårt att sia vilka förändringar som kan komma att ske på 25 år. På ett kvarts århundrade finns mycket tid för teknologisk utveckling, ändrade krav på armaturer, eller ny lagstiftning som begränsar möjligheten att använda armaturer baserade på dagens design.

På aggregerad nivå finns den största klimatbesparingspotentialen att hämta från att byta ut de kvarstående armaturerna med gammal teknik till energieffektiv LED. Detta bör kompletteras med nattsänkning och närvarostyrd belysning där det är möjligt. Andra viktiga faktorer är att försöka minska behovet av jungfruligt material, både genom att minska antalet armaturer som behövs för att möta det behov som finns, och att använda återvunnet material i högre grad.

Det finns flera lagar som är viktiga för värdekedjans aktörer att följa och ta vara på, särskilt den förslagna Ekodesignförordningen och det antagna hållbarhetsrapporteringsdirektivet Corporate Sustainability Reporting Directive.

Förstudien har slutligen identifierat följande forskningsbehov för att öka förutsättningarna att minska gatubelysningens resursbehov:

- Kartlägga vilka av de gamla armaturerna som kan nedmonteras
- Kartlägga var närvarostyrd belysning kan ha störst effekt
- Genomföra studie för att skapa förståelse för slitage och livslängd av armaturhus och komponenter
- Genomföra studie för hur modulära armaturer bör designas så att nyttorna överväger nackdelarna
- Utvärdera möjliga format för funktionsupphandling

# 1 Introduktion

Detta kapitel inleds med en bakgrundsbeskrivning av gatubelysning och LED. Fortsättningsvis beskrivs förstudien, dess syfte, mål, innehåll och avgränsning. Sist redogörs kort för begreppet cirkulär ekonomi, och om tre dimensioner för ökad cirkularitet av produkter: använda länge, ändamålsenligt resursnyttjande, och återcirkulering. De tre dimensionerna ligger som grund till förstudiens utvärdering av cirkulär gatubelysning.

## 1.1 Bakgrund

Gatubelysning spelar en avgörande roll i att förbättra säkerheten och trivseln under den mörka tiden av dygnet. Den huvudsakliga funktionen är att förbättra synförhållandena i trafiken, men den syftar även till att öka komfort, motverka brottslighet och skadegörelse, samt skapa trivsel (Trafikverket, 2022a).

I Sverige finns det ungefär 2,5 miljoner ljuspunkter på statliga vägar och kommunala gator (SKR, 2017). Ungefär 60-65% av dessa uppskattas vara armaturer som har ljuskällor av gammal teknik såsom högtrycksnatrium eller metallhalogen. Ljuskällor av gammal teknik har dålig energieffektivitet och det sker för närvarande stora insatser för att byta ut den här typen av ljuskällor mot LED-ljuskällor som är betydligt mer energieffektiva. Flertalet offentliga aktörer har fått utökade medel för att påskynda utbytestakten till LED-armaturer för att uppnå mål för framtida energibesparing. Trafikverket räknar exempelvis med att sänka sin installerade effekt från 17GW till 7GW efter att ha bytt ut hela sin anläggning och använder nattsänkning (Trafikverket, 2023).

Att använda LED för gatubelysning är en relativt ny teknik i förhållande till deras förväntade livslängd, och den förväntas komma med vissa tekniska utmaningar som riskerar att leda till onödiga materialflöden. En av dessa utmaningar är att LED-armaturer oftast har integrerade komponenter, vilket gör det svårt att reparera armaturerna om en komponent går sönder. I dag är det ofta ekonomiskt ofördelaktigt att reparera armaturer på grund av den låga kostnaden för att köpa nya armaturer relativt de höga arbetskostnaderna för reparation. Detta riskerar att leda till att många armaturer kommer kasseras i förtid innan majoriteten av dess beståndsdelar har nått sin tekniska livslängd.

Skiftet till LED riskerar dels att redan installerat material går till spillo när gammal teknik byts ut, dels att LED-armaturer kasseras för att en enskild komponent går sönder. De beställare av gatubelysning som är representerade i projektet har identifierat dessa risker och initierade detta projekt för att hitta lösningar för att minska risken för onödiga materialflöden.

## 1.2 Förstudiens syfte och mål

Förstudien har utförts inom det strategiska innovationsprogrammet InfraSweden, en gemensam satsning av Vinnova, Formas och Energimyndigheten.

Projektets övergripande syfte är att minska gatubelysningens klimatpåverkan och materialbehov, genom att öka cirkulariteten i värdekedjan. Målet har varit att undersöka realiserbarheten av nya affärsmodeller och ny produktdesign för offentligt

förvaltad gatubelysning, avseende affärsekosystem, organisatorisk påverkan, samt uppskatta ekonomiska- och miljömässiga effekter.

Konsortiet har haft ett långsiktigt mål att ta fram branschstandarder för upphandling av gatubelysning som kan driva innovationer mot långlivade armaturer som är enkla att underhålla och återvinna. Det här målet sträcker sig däremot utanför denna förstudie.

## 1.3 Projektinnehåll

Projektgruppen bestod av RISE som projektledande organisation och 8 aktörer från olika delar av värdekedjan, se Tabell 1.

Tabell 1. Projektgrupp

| Forskningsinstitut                 | Beställare     | Leverantörer, tillverkare eller återförsäljare |
|------------------------------------|----------------|------------------------------------------------|
| RISE Research Institutes of Sweden | Göteborg stad  | Annell Ljus + Form                             |
|                                    | Stockholm stad | Fagerhult                                      |
|                                    | Trafikverket   | Fox belysning/Focus Design                     |
|                                    | Västerås stad  | Rebel Light                                    |

Denna rapport presenterar en analys av det övergripande temat cirkularitet med fokus på gatubelysningsarmaturer och dess värdekedja. Rapporten är strukturerad utifrån de områden som projektet har adresserat:

- **Värdekedjans nutida struktur och hållbarhetspåverkan**  
En genomgång av den nuvarande värdekedjan för armaturer presenteras för att identifiera och utvärdera gatubelysningens hållbarhetspåverkan.
- **Cirkulära åtgärder för armaturer och dess användning**  
Möjliga åtgärder och strategier för att öka cirkulariteten av armaturer och dess användning presenteras och diskuteras.
- **Affärsmodeller i en cirkulär värdekedja**  
En genomgång görs av hur företag kan anpassa sina affärsmodeller för att främja och dra nytta av cirkulära metoder.
- **Cirkulära faktorer i offentlig upphandling**  
En diskussion förs runt hur offentlig upphandling kan integrera cirkulära faktorer i sina processer och krav.
- **Relevanta omvärldsfaktorer**  
En genomgång av lagar, regler och standarder som är relevanta för en cirkulär värdekedja för armaturer att ta hänsyn till presenteras.

## 1.4 Avgränsning

Projektet är avgränsat till gatubelysningsarmaturer som installeras på lampstolpar som är mer än 5 meter höga, med det huvudsakliga syftet att belysa vägar. Offentlig

belysning är ett brett område som inkluderar mycket mer än endast armaturer, elkablar och lampstolpar. Dessa berörs i vissa delar men ligger utanför projektets fokus.

Avgränsningen baseras på att det sker ett teknikskifte i armaturerna på ett sätt som inte sker för övrig belysningsnära infrastruktur, samt att denna typ av lampstolpar motsvarar en överväldigande majoritet av den offentliga belysningen.

## 1.5 Cirkulär ekonomi

Något förenklat kan en cirkulär ekonomi beskrivas som ett ekonomiskt system som inte genererar något avfall och som drivs av förnyelsebar energi (Selvefors & Nyström, 2023). Ett sådant system bygger på att dagens affärsmodellsnormer skiftar från linjära affärsmodeller till cirkulära affärsmodeller. Cirkulära affärsmodeller syftar till att utveckla värdeerbjudanden som skapar så mycket värde som möjligt och använder så lite resurser som möjligt över tid (Geissdoerfer m.fl., 2020).

När värdeerbjudandet är kopplat till produkter finns det tre användbara dimensioner av cirkularitet att ta hänsyn till, anpassat från Boyer m.fl. (2021):

- Använda länge – hur väl behåller en produkt sitt värde över tid?
- Ändamålsenligt resursnyttjande – hur mycket eller hur ofta är en produkt använd under sin funktionella livslängd
- Återcirkulera – hur mycket av en produkts material kommer från tidigare användning och/eller används i en ny användningsfas

### 1.5.1 Använda länge

Ur ett cirkulärt perspektiv innebär uthållighet att en produkt är motståndskraftig mot externa faktorer när det kommer till att bibehålla värde över tid. Utöver att vara slitålig och inte gå sönder, finns det fler viktiga faktorer som påverkar huruvida en produkt upprätthåller sitt värde. Selvefors & Nyström (2023) beskriver fyra faktorer som kan göra att en produkt minskar i värde:

- 1) Teknisk utdatering
- 2) Funktionell utdatering
- 3) Estetisk utdatering
- 4) Social utdatering

Teknisk utdatering är när en produkt blir utdaterad, eller minskar i värde, på grund av tekniska faktorer, såsom att produkten går sönder.

Funktionell utdatering är när en produkt blir utdaterad, eller minskar i värde, på grund av att nya funktioner introduceras på marknaden som bättre möter konsumenternas behov. Typiska exempel på funktionell utdatering är mobiltelefoner som årligen kommer med nya funktioner såsom 5G, bättre kamera och bättre batteri för att locka kunder att köpa nya versioner även om de har en fungerande mobiltelefon.

Estetisk utdatering är när en produkt blir utdaterad, eller minskar i värde, på grund av att den inte längre anses vara estetiskt tilltalande av användaren. Typiska exempel är produkter som minskar i värde på grund av synligt slitage eller modeförändringar som gör att en potentiellt högkvalitativ produkt ligger i förrådet, trots att produktens funktion fortfarande upprätthålls.

Social utdatering är när en produkt blir utdaterad, eller minskar i värde, på grund av nya lagar eller samhällsnormer. Exempelvis kan en produkt bli utdaterad om den

innehåller ett ämne som förbjuds i ny lagstiftning, eller om den är producerad i ett land som konsumenterna inte längre accepterar.

### 1.5.2 Ändamålsenligt resursnyttjande

Ändamålsenligt resursnyttjande är kopplat till att en produkt ska skapa så mycket värde som möjligt. Personbilar står exempelvis parkerade 96% av tiden (Gullberg, 2015). För att öka cirkuläriteten hos personbilar finns stora miljövinster att hämta endast genom att öka nyttjandegraden. Detta innebär inte nödvändigtvis att en produkt ska användas konstant, om den inte skapar värde medan den används, utan det ska vara ändamålsenligt resursnyttjande.

### 1.5.3 Återcirkulera

Återcirkulering består av två delar, som i en fullt cirkulär ekonomi samspelar. Den ena delen innebär att använda återcirkulerade resurser i nya produkter, exempelvis genom återbrukade komponenter eller återvunnet material. Den andra delen innebär att den nya produkten i sig ska vara återcirkuleringsbar genom återbruk eller återvinning.



## 2 Metod

I detta kapitel redogörs för den metod som användes för att genomföra rapporten om cirkulär gatubelysning. Förstudien inkluderade en omvärldsbevakning av liknande utmaningar och tidigare forskning, semistrukturerade intervjuer med projektaktörer, workshops både fysiskt och digitalt, samt beräkningar av den ekonomiska och miljömässiga potentialen med inspel från projektaktörerna.

### 2.1 Omvärldsbevakning

En omvärldsbevakning genomfördes i form av en desktopstudie, för att undersöka om projektet kunde dra lärdomar från länder eller sektorer med liknande utmaningar, samt undersöka om det finns kommande regleringar som kan vara relevanta för projektets ändamål. Omvärldsbevakningen undersökte om det fanns tidigare exempel på cirkulär upphandling av gatubelysning, cirkulär upphandling av andra produkttyper som är lågvärdiga men tänka att användas under lång tid, samt regleringar kopplade till cirkulär ekonomi inom EU. Desktopstudien låg till grund för projektets övriga arbetspaket med intervjuer och workshops.

### 2.2 Intervjuer och workshops

Semistrukturerade intervjuer genomfördes med samtliga aktörer i projektet. Intervjuerna syftade till att samla in information om individuella aktörers roll i värdekedjan, deras affärsmodeller, och vad de ser för möjligheter och hinder med en omställning till en cirkulär lösning för gatubelysning. Eftersom projektgruppen inkluderar både leverantörer, konkurrenter och kunder anonymiserades innehållet från intervjuerna för att säkerställa transparenta svar.

En fysisk och en digital workshop genomfördes i syfte att samla värdekedjans aktörer för att skapa en bred aktörssamverkan, etablera en gemensambild av utmaningarna, samt etablera en plan för hur innovativa lösningar kan utvecklas och testas i ett nästa steg.

### 2.3 Beräkning av ekonomisk och miljömässig potential

Beräkningar av den ekonomiska och miljömässiga potentialen av cirkulär gatubelysning genomfördes i form av en desktopstudie kombinerat med information från intervjuer, workshops och enskilda inspel från projektaktörer. Arbetspaketet kompletterade tidigare LCC-modeller för beräkning av kostnads- och energibesparingar för byte av NaH till LED (Upphandlingsmyndigheten, 2017), med uppskattningar av ett antal olika cirkulära alternativ.

## 3 Värdekedjans nutida struktur och hållbarhetspåverkan

Nulägesbeskrivningen är uppdelad i tre delar. Först beskrivs hur värdekedjan för gatubelysning typiskt ser ut i dag och vilka roller de olika aktörerna har. Sedan redogörs för vilken hållbarhetspåverkan som gatubelysning har, såsom brytning av råmaterial, ljusföroreningar, samt trygghet och säkerhet. I den sista delen beskrivs LED-teknologin, hur den används och specificeras för gatubelysningsarmaturer och några initiala utmaningar.

### 3.1 Värdekedjan

Nedan följer en generell beskrivning av värdekedjan för offentligt förvaltd gatubelysning. Medan det finns varianter i hur värdekedjan är uppbyggd visar exemplet på vanliga viktiga aktörer.

#### **Offentliga beställare**

I Sverige ansvarar kommuner och Trafikverket för belysning vid vägar, gator och offentliga miljöer, och är alltså offentliga beställare av gatubelysning. Beställarnas uppdrag sträcker sig utanför armaturer och inkluderar även exempelvis stolpar, kablar och belysningscentraler.

Beställare har ofta två verksamhetsområden för gatubelysning:

- 1) Investering när nya områden byggs
- 2) Re-investering när befintligt bestånd behöver uppdateras

De två verksamheterna har ofta två separata budgetar, en investeringsbudget och en driftbudget. Det är vanligt att beställare upphandlar entreprenörer för att sköta projektering, installation och drift, och styra deras arbete genom ett styrdokument som kallas Teknisk handbok. De beställare som upphandlar entreprenörer överlåter inköpen av armaturer till entreprenörerna, men det finns kommuner som upphandlar armaturer direkt från armaturleverantörer.

Även om beställarna inte direkt upphandlar specifika armaturer har de stora möjligheter att styra vilka armaturer som entreprenörerna ska köpa, genom kravställning.

#### **Entreprenörer/grossister**

Entreprenörer anlitas på uppdrag av beställare för antingen installation av nya anläggningar eller för driften av befintliga belysningsanläggningar. I vissa fall är det en och samma entreprenör, och i vissa fall är det olika entreprenörer som utför arbetena.

Det är entreprenörerna som står för inköpen av armaturer. I vissa fall har handlar de direkt från armaturleverantörer, och i vissa fall avropar entreprenören armaturer från en grossist som beställaren har upphandlat.

#### **Svenska armaturleverantörer**

Det finns i stora drag två typer av armaturleverantörer i Sverige. Den ena typen säljer i huvudsak armaturer som de själva har designat och producerat, medan den andra typen i huvudsak säljer andra producenters varumärken, men har ett eget varumärke som står för en mindre andel av deras verksamhet.

### Armaturproducenter

Armaturproducenter designar och producerar till stor del sina komponenter och armaturer själva. I stället för att ha egna försäljningskanaler i alla länder som armaturerna säljs till, säljer de europeiska producenterna oftast till en svensk armaturleverantör som får exklusiv rätt att sälja deras produkter.

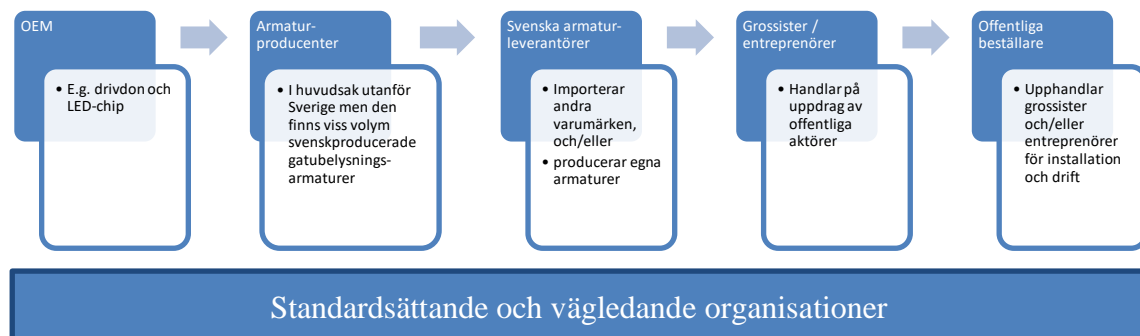
Komponenternas drivdon och LED-chip designas och produceras oftast inte av armaturproducenterna, utan köps in av s.k. *Original Equipment Manufacturer* (OEM).

### OEM:er

Det finns tre dominerande aktörer globalt som designar och producerar drivdon (Osram, Philips, Tridonic) och de flesta armaturproducenter använder drivdon som säljs direkt från hyllan. LED-chip importeras i huvudsak från Asien och även de köps direkt från hyllan.

Drivdonen och LED-chipen är viktiga komponenter för själva elektroniken och dagens värdekedja innebär en utmaning för både offentliga aktörer och svenska armaturleverantörer att ställa unika krav på design och kvalitet på dessa komponenter.

Figur 1. Illustration över värdekedjan för offentlig gatubelysning



### Standardsättande och vägledande organisationer

Det finns ett antal organisationer som utvecklar standarder eller vägledning för belysningsaktörer.

Zhaga Consortium är en global organisation som utarbetar industristandarder för LED-armaturer och är medlem i IEEE Industry Standards and Technology Organization (IEEE-ISTO).

The National Electrical Manufacturers Association, NEMA, är en amerikansk industriorganisation som utformar teknikstandarder inom producentledet för elektriska och medicinska produkter, inklusive för LED-armaturer.

Den europeiska kommittén för standardisering (CEN) har en teknisk kommitté för ljus och belysning "CEN/TC 169 Light and lighting", som ansvarar för europeisk standardsättning för bland annat utomhusarmaturer.

Nordiskt Möte för Förbättrad vägutrustning (NMF) är ett nordiskt forum för samråd, information och forskning gällande vägutrustning. (Trafikverket, 2022)

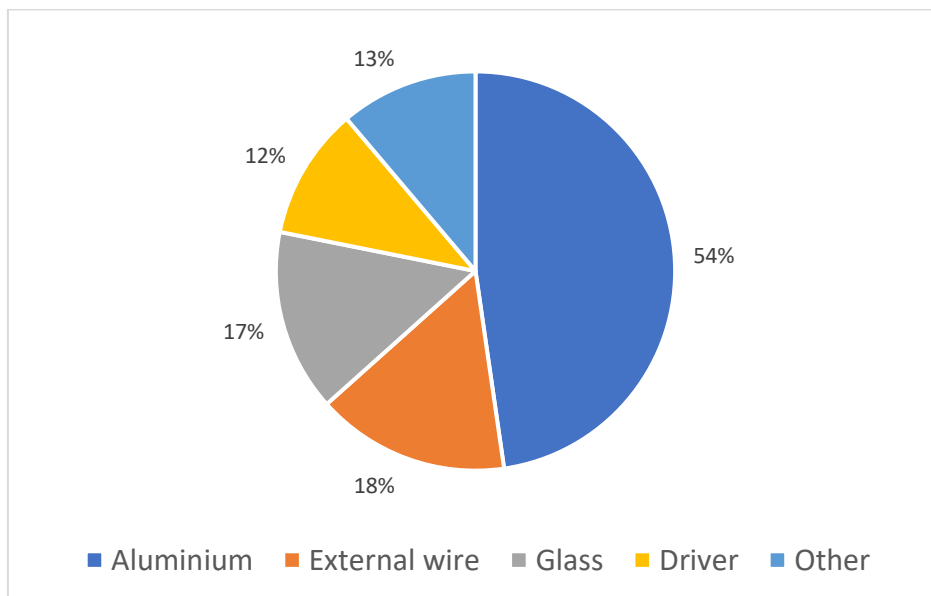
The Chartered Institution of Building Services Engineers (CIBSE) och the Society of Light and Lighting (SLL) har utvecklat ett tekniskt memorandum med praktiska råd om hur aktörer kan uppnå cirkulär ekonomi inom belysningsindustrin, TM66.

## 3.2 Gatubelysningens påverkan på hållbarhet

I detta avsnitt beskrivs vilken påverkan som gatubelysning har på hållbarhet. Den största klimatpåverkan kommer från energiproduktionen för den el som används till belysningen. Utöver energin för drift är utsläpp från aluminiumtillverkning en stor källa till CO<sub>2</sub>eq-utsläpp. Belysningen har även påverkan på den biologisk mångfalden och människor från både drift och från värdekedjan, exempelvis vid brytningen av ingående metaller.

Ett exempel på vad en gatubelysningsarmatur kan innehålla och dess klimatpåverkan redovisas nedan och är baserat på en LCA av Fagerhults Evolume 1 (Fagerhult, 2022).

Figur 2. Materialinnehåll av Fagerhults Evolume 1, i % av vikt



Not: För "övrigt"-kategorin (other), se Tabell 2.

Tabell 2. Materialinnehåll av Fagerhults Evolume 1, i % av vikt och i kg

| Material                | Share (% wg) | Weight (kg) |
|-------------------------|--------------|-------------|
| Aluminium               | 53,59%       | 4,17        |
| External wire           | 17,61%       | 1,4         |
| Glass                   | 16,58%       | 1,29        |
| Driver                  | 12,00%       | 0,9         |
| Plastic, PMMA           | 4,63%        | 0,4         |
| Powder coating          | 2,02%        | 0,16        |
| LED-module              | 1,91%        | 0,15        |
| Steel                   | 0,15%        | 0,01        |
| Plastic (in cable), TPE | 0,90%        | 0,07        |
| Plastic, PA             | 0,28%        | 0,02        |
| Plastic, PC             | 0,90%        | 0,07        |
| Plastic (in cable) PBT  | 0,64%        | 0,05        |
| Internal wires          | 0,55%        | 0,04        |
| Rubber                  | 0,57%        | 0,04        |

Not: I denna armatur består aluminiumet av 99% återvunnet aluminium

Tabell 3. Klimatpåverkan av en Fagerhult Evolume 1, kg CO<sub>2</sub>eq och %

| Impact category | Unit                  | A1    | A2   | A3   | A1-A3 | A4   | A5   | B6     | C1   | C2   | C3   | D  |
|-----------------|-----------------------|-------|------|------|-------|------|------|--------|------|------|------|----|
| Climate change  | kg CO <sub>2</sub> eq | 54,49 | 1,83 | 2,37 | 58,7  | 0,37 | 0,28 | 460,14 | 0,27 | 0,52 | 1,61 | -  |
|                 | %                     | 10%   | 0%   | 0%   | 11%   | 0%   | 0%   | 89%    | 0%   | 0%   | 0%   | 0% |

Källa: Fagerhult (2022), RISE beräkningar

### 3.2.1 Drift

Driften står för upp till 90% av en armaturs klimatpåverkan, och oavsett aluminiumets ursprung står driften för det största bidraget av CO<sub>2</sub>eq.

Gatubelysningsarmaturer lyser generellt sett 4 000 timmar per år, och kravställs ofta för att ha en förväntad livslängd på 100 000 timmar, motsvarande 25 år vid antaganden om 4 000 timmar per år. I rapporten använder vi enheten 25 år som den önskade livslängden på armaturerna, även om specifikationen är i antal timmar.

För en armatur med 30W LED motsvarar 100 000 timmar en energiförbrukning på 3 000 kWh. Medan det är vanligt förekommande att aktörer använder svensk elmix vid beräkning för växthusgasutsläpp för elanvändning, representerar nordisk elmix verkligheten bättre och bör användas som emissionsfaktor enligt Sandgren & Nilsson (2021). Den genomsnittliga emissionsfaktorn för användning 2016-2018 är 90,4g CO<sub>2</sub>eq/kWh. Från detta projekts aktörer och referensgrupp är det däremot tydligt att det inte råder konsensus om vilken elmix som bör användas, svensk, nordisk eller europeisk.

Givet antagandet om 90,4g CO<sub>2</sub>eq/kWh bidrar en 30W LED som lyser i 100 000 timmar med cirka 271kg CO<sub>2</sub>eq över dess livstid.

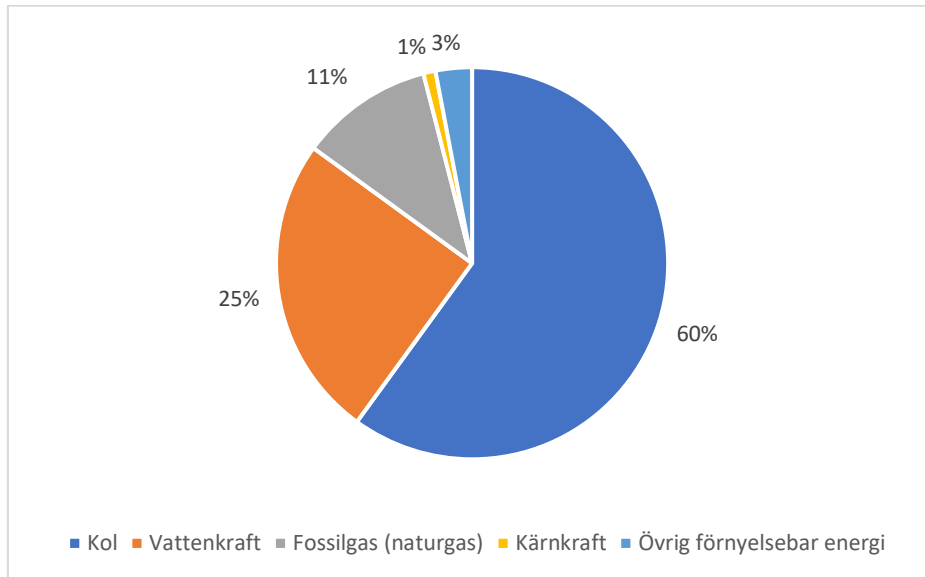
### 3.2.2 Aluminium

Aluminium är det material som står för störst andel av en armaturs vikt (se Tabell 2). Som en överslagsräkning i illustrativt syfte går det att uppskatta att det på nationell nivå används 400 ton aluminium varje år i nya armaturer. Beräkningen antar att det finns 2,5 miljoner ljuspunkter för utomhussyfte, att respektive ljuspunkt används i 25 år, och de har 4 kilogram aluminium per armatur.

Aluminium skapas från jordarten bauxit. Bauxit bryts ofta i dagbrottsgruvor som tar stort anspråk på markytor och påverkar den biologiska mångfalden negativt. Europeiska kommissionen (2021) redovisar att bauxitfyndigheter ofta befinner sig i områden med höga bevarandevärden utifrån ursprungsbefolkningsterritorium och biologisk mångfald. EU importerar majoriteten av sin bauxit från länder där gruvorna ligger inom områden med högre vattenbrist (84%) än världsgenomsnittet (40%). Majoriteten av EU:s bauxitimport kommer från Guinea (58%) och Sierra Leone (11%), som rankas lågt för sociala indikatorer såsom barnarbete, tvångsarbete, risker för konflikter och kvalitet på lagstiftning.

För att producera aluminium från bauxit krävs det stora mängder energi, cirka 17 MWh per ton producerat aluminium. Beroende på vilken energimix ett land har finns det stora variationer i hur mycket utsläpp som aluminiumprocessen bidrar till. Vid primärproduktion av aluminium kan utsläppsspännen ligga mellan cirka 5 ton CO<sub>2</sub>eq (Sverige) och 21 ton CO<sub>2</sub>eq (Indien) per producerat ton aluminium (Tillväxtanalys, 2018).

Figur 3. Energiförbrukning per energikälla vid primär aluminiumsmältning, globalt



Källa: Europeiska kommissionen (2021)

Återvunnet aluminium är generellt konkurrenskraftigt med primärt producerat aluminium, men kräver betydligt mindre energi än vid primär produktion. För att producera ett ton återvunnet aluminium krävs ungefär 3 MWh, vilket gör det mindre känsligt för från vart det återvunna aluminiumet produceras, och bidrar ungefär med 1 ton CO<sub>2</sub>eq per ton återvunnet aluminium (Tillväxtanalys, 2018).

Så länge det finns behov av nytt aluminium är den viktigaste åtgärden för att minska aluminiumets klimatpåverkan, att minska behovet av aluminium, även om det är återvunnet. Detta kan exempelvis förklaras genom den problematik som finns med LCAer och återvinning av material. I och med att återvunnet material används i flera produkter bör dess miljöbörda spridas ut på de produkter som materialet används inom. Det finns ännu ingen konsensus på hur det ska göras, men en enkel föreslagen metod är 50/50-metoden som fördelar miljöpåverkan lika på de produkter som materialet används till (Ekvall m.fl., 2020). Med en sådan metod bör utsläppen för en armatur som består av återvunnet aluminium således belastas med 50% av de utsläpp som det primära aluminiumet som användes i den första livscykel gav upphov till. Det här projektet utvecklar inte diskussionen om fördelning ytterligare utan syftar endast till att belysa att det finns fler aspekter än utsläpp vid produktion av återvunnet aluminium att ta hänsyn till när det kommer till klimatpåverkan av återvunnet aluminium.

För en armatur med 4kg aluminium kan klimatpåverkan från aluminiumet således variera mellan cirka 4-84kg CO<sub>2</sub>eq. Uppgifterna i Tabell 3 baseras på 99% återvunnet aluminium, och under sådana förhållanden står produktionen för cirka 10% av armaturens utsläpp över dess livstid.

### 3.2.3 Övrigt material

Utöver aluminium och drift har armaturer miljöpåverkan från produktionen av glas och elektronik såsom drivdon, LED-chip och kablar. Dessa har inte analyserats djupare i projektet men är viktiga material att ta hänsyn till vid bedömningar av armaturers hållbarhetspåverkan. År 2020 uppskattas Sverige ha en återvinningsgrad för elektroniskt avfall på 47% (Europeiska parlamentet, 2020). Det är därför viktigt för

sektorn att se till att det elektroniska avfall som de bidrar till är återvinningsbart, för att kunna ta vara på resurser och minska risker för att avfall och giftiga ämnen hamnar på fel plats.

### 3.2.4 Ljusföroreningar

Det har framkommit från intervjuer och deltagande på konferenser<sup>1</sup> att gatubelysningens negativa påverkan på människor och djur från ljusföroreningar är ett stort fokusområde. Ljusföroreningar kan exempelvis påverka fysiologiska processer hos människor och djur såsom hormoncykler, dygns- och årsrytmer vilket kan äventyra ekosystemtjänster och biodiversitet (Jägerbrand, 2018; SLU, 2020). Forskning på hur ljusföroreningar påverkar människor är fortfarande ett relativt nytt forskningsområde men det finns studier som indikerar att ljusföroreningar kan öka risken för exempelvis bröstcancer, alzheimer, och övervikt (Cao m.fl., 2023).

### 3.2.5 Trygghet och säkerhet

Som nämnt i bakgrunden är gatubelysningens huvudsakliga funktion att förbättra synförhållandena i trafiken, öka trygghet, motverka brottslighet och skadegörelse, samt skapa trivsel (Trafikverket, 2022a).

Enligt en litteraturstudie av Boverket (2019) ska gatubelysning ha störst effekt på trygghet men att forskningen inte är entydig när det kommer till dess effekt på brottsfrekvens. De menar att det krävs mer svensk forskning för att kunna göra evidensbaserade åtgärder för kopplingen mellan den fysiska miljön och brottförebyggande eller trygghetsskapande åtgärder i Sverige.

## 3.3 Dagens armaturer

I det här avsnittet följer en kort beskrivning av LED-armaturer avsedda för gatubelysning (nedan även förkortat "armaturer"). Det finns många typer av armaturer och följande är en generell beskrivning.

Armaturer har varit relativt enkla produkter med i mångt och mycket en funktion: att ljuskällan antingen är på eller av. De är designade för att stå länge på en och samma plats i en relativt förutsägbar miljö. Till skillnad från tidigare teknologier med ljuskällor som metallhalogen eller högtrycksnatrium, där ljuskällan enkelt kunde bytas ut, har LED-armaturer ofta integrerade komponenter som är svåra att byta ut om en enskild komponent skulle gå sönder.

Armaturerna börjar bli däremot mer avancerade än att endast vara av eller på, exempelvis genom att vara uppkopplade och/eller ha närvarostyrning. Värdena av nya funktioner beskrivs mer i kapitel 4.1.1. Det finns även exempel på modulära LED-armaturer som är designade för att enklare kunna gå att laga eller byta ut trasiga komponenter.

Allt eftersom armaturen används minskar ljusflödet från LED-chipen. För att behålla ljusstyrkan över tid behöver ljusnedgången kompenseras med ökad strömtillförsel, vilket går att göra en begränsad tid. Den perioden som LED:ens ljusnedgång kan kompenseras av ökad strömtillförsel beskrivs som Constant Light Output (CLO), och är hur livslängden på LED-armaturer specificeras. Nedan används CLO och livslängd som utbytbara begrepp för den tid som en LED förväntas kunna användas.

<sup>1</sup> Gatubelysningsforum (2023-09-12), Vei- och gatelyskonferansen (2023-11-29), We who rebel for light (2023-12-08)

Figur 4. Gatubelysningsarmatur med LED-ljuskälla.



Källa: Björn Lindelöf

Det finns två sätt att använda LED för att få vitt ljus. Det dominerande sättet inom belysning är att använda en blå lysdiod som ljuskälla, och ett mellanlager med lysämne (ofta fosfor) som konverterar det blåa ljuset till vitt ljus. Det andra sättet kallas color-mixed LED (CM-LED) och innebär att man använder en blandning av lysdiodsfärger, ofta röd, grön och blå, och ibland även gul, som det mänskliga ögat uppfattar som vitt ljus när de blandas.

Vid introduktionen av LED för gatubelysningsarmaturer, runt 2012 i Sverige, var livslängden specificerad till att ha en CLO på ungefär 50 000 brinntimmar. I dag är standarden 100 000 brinntimmar, men det finns leverantörer som påstår att deras LED kan ha en CLO på upp till 400 000 timmar. För att vara elektronik är dagens standard för livslängd på 100 000 timmar CLO, eller 25 år, relativt sett mycket lång och teknikutvecklingen hinner komma långt på ett kvarts århundrade.

LED är givet sin långa livslängd, att det är en relativt ny teknik och det har gått för kort tid sedan LED-armaturer började installeras för att veta vilka problem som kommer vara vanligt förekommande. Det är även svårt att säga om eventuella problem som uppenbarar sig på de första installerade armaturerna som nu närmar sig slutet på sin livslängd, kommer vara problem i de armaturer som installeras nu, givet att teknikutvecklingen på området har fortgått.

Hittills har en låg grad av standardiseringar, och leverantörsspecifika lösningar lett till ökad variation och komplexitet på produkterna. Som följd ökar behovet av kompetens och systemstöd hos beställarna för att kunna uppnå effektiv resurshållning. Detta pekas ut som ett extra stort hinder för mindre kommuner där den som ansvarar för gatubelysningen ofta har flertal ansvarsområden kopplat till offentliga ytor och saknar



tillräcklig belysningskompetens. En efterföljande konsekvens är att det skapas ett starkare behov av informationsstöd för att veta vad som är installerat och var.

I de fall en armatur går sönder i förtid är det i dag ofta mer fördelaktigt att köpa en ny i stället för att reparera den, eftersom det ungefär rör sig om samma kostnad. Den nya kan dessutom både vara effektivare och ha längre förväntad livslängd än en reparerad.

## 4 Möjligheter och hinder för cirkulär gatubelysning

I detta kapitel beskrivs vilka möjligheter och hinder som finns för att åstadkomma cirkulär gatubelysning. Det första avsnittet innehåller beskrivningar om vad en cirkulär armatur kan innebära och hur det kan uppnås, samt några beräkningar för vilken ekonomisk och miljömässig potential som ges av mer cirkulär gatubelysning. Avsnitt 2 och 3 beskriver vad som kan göras utifrån affärsmodeller och offentlig upphandling. Kapitlet avslutas med en beskrivning för hur lagar och regler kan påverka utformningen av armaturer.

### 4.1 Cirkulära åtgärder för armaturer och dess användning

I detta avsnitt utvecklas hur de cirkulära aspekterna som beskrivs i avsnitt 1.5 kan appliceras på gatubelysningsarmaturer. Det vill säga, hur kan armaturerna designas så att de i) används länge, ii) används ändamålsenligt, och iii) består av återcirkulerat material och/eller återcirkuleras när armaturen är uttjänt. Bedömningarna nedan utgår ifrån armaturen som helhet, samt komponenterna drivdon, ljuskälla, och armaturhus. Det finns fler komponenter att ta hänsyn till men dessa tre utvalda har bedömts som mest centrala.

#### 4.1.1 Använda länge

För att en produkt ska användas länge, i det här fallet en gatubelysningsarmatur, behöver den vara motståndskraftig tekniskt, funktionellt, estetiskt och socialt, som beskrivet i avsnitt 1.5.1.

Ur ett cirkulärt perspektiv bör produkten som helhet leva så länge som möjligt. I den mån produkten inte längre går att använda, bör de ingående komponenterna så långt det går fortsätta användas i nya produkter eller som reservdelar till befintliga produkter. När en komponent inte längre går att använda bör materialen som komponenten består av användas så länge som möjligt, genom effektiv materialåtervinning som ett sista steg.

#### **Tekniskt motståndskraftig**

Standarden vid kravställning av den tekniska livslängden av gatubelysningsarmaturer är som nämnts tidigare beskriven som 100 000 timmar, motsvarande 25 år vid normal användning. Således ska armaturerna ur ett tekniskt perspektiv hålla i 25 år.

#### *Drivdon*

Inledningsvis fanns det i projektet en förväntan att drivdonen i LED-armaturerna kommer vara den komponent som oftast går sönder först och orsakar att armaturerna kasseras i förtid. Som nämnts tidigare är LED-tekniken hittills för ung för att vi ska veta vilka problem som kommer bli vanligast, och det saknas tillgänglig statistik på vilken typ av fel och felfrekvens som förekommer på de armaturer som redan är installerade. Enligt en projektdeltagare uppskattar de att deras armaturer har en felfrekvens på mindre än 0,5% på deras installerade bas. Av dessa är det drivdonet som har gått sönder i ungefär 75% av fallen, men majoriteten av felen beror på handhavandefel snarare än fel på drivdonet i sig. Det finns stora skillnader i kvalitet mellan olika drivdon, vilket kan påverka hur tekniskt motståndskraftiga de är.

### Ljuskällan

LED-chipen eller LED-modulen förväntas inte vara en komponent som kommer sluta fungera under armaturernas 100 000 timmar.

### Armaturhus

Armaturhuset är ofta gjort av gjutet aluminium, även om rostfritt stål eller komposit kan vara alternativ. Det råder viss meningsskiljaktighet utifrån projektgruppen hur länge armaturhusen kan användas. Medan vissa anser att armaturhusen kan användas mycket längre än 25 år, upp till 40-50 år, menar andra att armaturhuset är materialutmattade efter ungefär 25 år och att de inte längre är säkra att användas. Se avsnitt 5.1.3 om föreslaget forskningsområde kopplat till denna fråga.

Armaturhuset i sig förväntas inte ge upphov till att en armatur behöver bytas i förtid, givet 25-års användning. Om det finns värde kvar i armaturhuset efter att elektroniken i armaturen är uttjänad, bör det försöka återanvändas på nytt om möjligt för att begränsa resursflödet av aluminium.

### Modularitet

Modulär design av armaturerna, det vill säga att produkten är uppbyggd av fristående moduler, är ett sätt att kunna öka livslängden av en armatur som helhet. Genom att enkelt kunna byta ut trasiga komponenter kan armaturens övriga komponenter fortsätta användas och skapa värde. Modulär design öppnar även upp för möjligheten att uppgradera komponenter till mer effektiva eller pålitliga komponenter, potentiellt med helt nya funktioner, vilket ökar armaturens funktionella motståndskraft.

I Tabell 4 beskrivs några för- och nackdelar med integrerad design och modulär design ur ett generellt perspektiv.

Tabell 4. För- och nackdelar integrerad och modulär design

| <b>Integral Design</b>                                     | <b>Modular Design</b>                                       |
|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| + Function and structure integration                       | + Function- and/or manufacturing-oriented product structure |
| + Low number of parts                                      | + Utilization of purchased parts                            |
| + Low number of internal couplings                         | + Flexibility, interchangeable modules                      |
| + Minuturization                                           | + Easy to maintain and repair                               |
| - Complex geometry                                         | + Modular design system                                     |
| - Special materials                                        | - High number of parts                                      |
| - Interdependence of sub-functions                         | - High number of internal couplings                         |
| - Maintenance and repairing difficult (disposable product) | - Assembling and setting costs                              |
|                                                            | - High required space                                       |

Källa: Warniez m.fl. (2016)

För- och nackdelarna som presenteras i Tabell 4 behöver utredas vidare specifikt för gatubelysning för att förstå hur de påverkar miljö- och ekonomi. Exempelvis:

- 1) Ju fler komponenter som kan fela på grund av mänskliga faktorer, desto större risk att fel inträffar. Detta kan vara kostnadsdrivande om det innebär att komponenter i armaturer oftare behöver bytas ut.
- 2) Om det inte sker en standardisering av moduler som tillåter att komponenter från olika fabrikat kan användas för flera armaturmodeller, finns det en risk att antalet olika reservdelar som driftentreprenörerna behöver lagerhålla och beställa blir mycket stort. Antalet varianter av armaturer anses redan i dag vara svår att hantera.

Det är också viktigt att inte ändra design eller krav på alla armaturer för att lösa ett problem som endast sker på ett fåtal av armaturerna. Exempelvis bör det övervägas om det är ekonomiskt och miljömässigt fördelaktigt att krävställa att det ska vara enkelt att byta drivdonet, om drivdonet endast går sönder på färre än 0,5% av armaturerna, givet att modularitet kommer med vissa potentiella nackdelar.

### **Funktionell motståndskraftig**

Givet att armaturerna håller tekniskt, måste de även kunna möta de behov av funktioner som krävs av en armatur över 25 år. En utmaning med långa livslängder som 25 år är att det finns risker att behovet för vilka funktioner en armatur behöver kommer ändras under armaturens livslängd. Från att endast ha haft funktionen av eller på, börjar armaturerna bli mer sofistikerade genom att kunna vara uppkopplade och ha smart styrning. Förbättrad energieffektivitet eller kostnadsbild anser vi vara en ny funktion.

Den förbättrade energieffektiviteten hos LED jämfört med gammal teknik har föranlett byten av stora volymer fullt fungerande armaturer som har ljuskällor av äldre teknik såsom metallhalogenlampor eller högtrycksnatrium. Effektiviteten av LED sett till lm/W fortsätter förbättras och förväntas förbättras med 33-40% mellan 2020 och 2030, se Tabell 5. Jämförelsevis var vid 2017 skillnaden i effekt (W) mellan installerade högtrycksnatriumarmaturer och LED-armaturer för vissa kommuners gatubelysning 31-45%, (Rehn, 2017).

Tabell 5. Effektivitet i lm/W för olika typer av LED-pack, historiskt och framåtblickande mål

| Typ              | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2050 |
|------------------|------|------|------|------|------|
| Blå LED kall vit | 185  | 228  | 246  | 249  | 250  |
| Blå LED varm vit | 165  | 210  | 231  | 241  | 250  |
| CM-LED (RGBY)    | 138  | 204  | 245  | 281  | 336  |

Källa: U.S. Department of Energy (2022)

Det går att utläsa från Tabell 5 att det finns potential på lång sikt att CM-LED kommer kunna bli effektivare än blå LED sett till lm/W. Det finns även andra potentiella fördelar med CM-LED, såsom att kunna styra färg, vilket skulle kunna användas till att minska belysningens negativa konsekvenser av exempelvis ljusföroreningar.

Det finns gatubelysningsarmaturer som kommer förberedda med vad som kallas för ZHAGA- eller NEMA-sockel. Socklar används som bas för att kunna lägga till funktioner till armaturer, vilket ökar flexibiliteten och möjlighet till framtidsanpassning av armaturer. Genom socklar kan en armatur uppgraderas till att exempelvis bli uppkopplad, få smart styrning eller kompletteras med sensorer. Exempel på potentiella funktioner av sensorer är för ljud, ljus, temperatur, luftkvalitet, rörelse och 3D-mapping.

Nya funktioner i drivdon har inte tagits upp som någon särskild risk för att vara en anledning till att byta ut en armatur i förtid. I de fall uppkopplade funktioner integreras i armaturer förväntas dessa inledningsvis drivas av egna separata drivdon, men att de i framtiden kan komma att drivas av samma drivdon som resten av armaturen (U.S. Department of Energy, 2022).

### **Estetiskt motståndskraftig**

Gatubelysningsarmaturer är till största delen inte designprodukter och dess utformning är inte särskilt känsliga mot trendförändringar. Det finns vissa krav på gestaltning beroende på områden, men dessa avgör snarare vilken typ av armatur som

passar miljön än ökar risken för att en armatur behöver bytas för att den inte längre är estetiskt tilltalande.

Den största risken för att en armatur byts ut av estiska skäl är troligtvis färgförändringar i ljuset. Färgen på ljuset från LED-armaturer kan ändras på grund av förändringar i fosforlaget, eller av att det sker färgförändringar i silikon eller plast som påverkar vilken färg som ljuset från armaturen har (Next Generation Lighting Industry Alliance, 2017). Färgförändringar är inget unikt för LED utan förekommer i andra typer av ljuskällor också, såsom metallhalogen, men som följd av LED-armaturers långa livslängd förväntas förändringen bli mer påtaglig.

Utöver att färgen från en lysdiod kan förändras över tid, kan även färgen från olika produkter av samma modell variera, s.k. *color consistency*, se Figur 5. Om färgen varierar hos olika armaturer av samma modell kan det föranleda att de byts ut mot nya armaturer med bättre *color consistency*, vilket bidrar till onödigt resurssvinn.

Figur 5. Exempelbild på dålig color consistency



Källa: Next Generation Lighting Industry Alliance (2017)

Estetik kan bli mer aktuellt vid återbruk eftersom det då ska vara lätt att fräscha upp armaturerna för att de inte ska se slitna ut.

### **Socialt motståndskraftig**

Utöver att hålla tekniskt, funktionellt och estetiskt, behöver armaturerna stå emot hur samhället ser på saker och ting, det som Selvefors & Nyström (2023) benämner socialt. Detta kan ske i form av formella ändringar av lagar och regler eller informella normförändringar. Vi redogör aktuella lagar och lagförslag som kan komma att påverka värdekedjan för gatubelysning i avsnitt 4.4. Exempel på hur lagar redan har påverkat värdekedjan för gatubelysning är att ett förbud mot kvicksilver i ljuskällor har påskyndat behovet av att byta ut gammal teknik mot LED.

Ur ett miljöperspektiv har klimatet haft stort fokus under en lång tid, men nu börjar även andra miljöområden få ökad uppmärksamhet såsom biologisk mångfald och resursanvändning. EU har exempelvis i sin gröna giv uttryckt ett mål att EU:s ekonomiska tillväxt ska bli frånkopplad tillväxt av resursanvändning (Europeiska kommissionen, 2019). Om det målet ska uppnås innebär det att resursanvändningen vid något tillfälle ska bli konstant (eller minska). I gatubelysningens fall innebär det att om det ska ske en tillväxt i antal armaturer behöver den tillväxten produceras av icke-jungfruligt material för att uppnå det målet.

Normförändringar kan inkludera ökat fokus på belysningens negativa påverkan på människa, djur och natur av ljusföroreningar. Det skulle exempelvis kunna leda till att belysning nedmonteras. Andra typer av normförändring kan vara ökat fokus på trygghet, vilket skulle kunna leda till behov av mer belysning. Om den installerade belysningen inte kan möta nya krav som uppstår, kan det leda till att den behöver bytas ut mot nya armaturer.

En annan anledning till att armaturer byts ut i förtid är för att skapa förutsägbarhet och underlätta för det framtida underhållet av anläggningarna. Ett exempel är när aktörer väljer att byta samtliga armaturer på en gata, även om det bara är en av dem som gått sönder. I dag ska de funktionsdugliga armaturerna som plockas ner av det här syftet användas som reservarmaturer, men om det blir vanligt att göra på det här sättet kommer det snabbt finnas fler reservarmaturer än vad som behövs.

### 4.1.2 Ändamålsenligt resursnyttjande

Ändamålsenligt resursnyttjande för gatubelysning innebär i korthet att belysning inte borde lysa när den inte fyller någon nytta och att nyttan av belysningen ska vara tillräckligt stor för att motivera den miljöbelastning som belysningen skapar. LED-teknologier kan förbättra resursnyttjanden genom att uppnå kravställda ljusnivåer för vägar fast med 50% mindre genererat ljus jämfört med tidigare teknologier (U.S. Department of Energy, 2022).

En ljuspunkt som belyser en otrafikerad väg är inte ändamålsenligt resursnyttjande, givet att vägen inte behöver lysas upp av trygghetsskäl. En mer cirkulär gatubelysning kan således uppnås genom exempelvis närvarostyrd belysning. Genom närvarostyrd belysning kan man minska antalet brinntimmar per dag, särskilt för vägar med varierande närvaro över dygnets timmar. En annan liknande lösning är att sänka ner styrkan på belysningen (dimring) vissa delar av natten när belysningen används som minst. Genom att minska antalet timmar som belysningen lyser, eller hur starkt den lyser under vissa timmar, minskar energikonsumtionen, ljusföroreningar och slitaget på armaturen, vilket ökar den tekniska livslängden.

Andra lösningar utforskas exempelvis i projektet Skara Skyddsängel, som RISE, Högskolan i Skövde, Jönköping universitet och Skara kommun genomför där de testar drönbaserade lösningar för att belysa mörka cykelvägar på vinterhalvåret med en on-demand-lösning (Skara kommun, 2023).

I trygghetsskapande syfte kan det finnas anledning till att ytor är belysta även om ingen använder ytorna.

Även om detta projekt är avgränsat till armaturerna, krävs mycket material för att installera en ljuspunkt, i form av betongfundament, kablage, stolpe och armatur. För att alla de resurser som installeras ska nyttjas ändamålsenligt bör de noggrant installeras på de områden där de gör nytta. Trafikverket (2022) har vägledning om hur beslutsfattare kan resonera kring valet att ha eller inte ha belysning.

Figur 6. Bild väg med icke ändamålsenlig belysning



Källa: TT

Beslut huruvida belysning ska installeras på exempelvis en gång- och cykelväg bör i den mån det är möjligt ta ett samhällsekonomiskt perspektiv, och om resursanvändningen blir ändamålsenlig eller inte kan påverkas av andra styrmedel än de relaterat till belysning.<sup>2</sup> Fler transporter till fots eller på cykel och färre med motorfordon har positiva effekter på hälsa, miljö, och minskar behovet av utbyggnad och underhåll av motorfordonspecifik vägtrafikinfrastruktur. Upplysta gång- och cykelvägar kan öka antalet personer eller tillfällena som personer väljer att gå eller cykla i stället för att ta bil eller kollektivtrafik.

### 4.1.3 Återcirkulering

Återcirkulering handlar både om att använda återcirkulerade material och att återcirkulera material när materialet är uttjänt.

Armaturer omfattas av producentansvaret för elprodukter vilket innebär att återvinning ska säkerställas av producenterna<sup>3</sup>. I Sverige äger 19 branschföreningar El-Kretsen som är en organisation som driver det gemensamma systemet för insamling av elprodukter som ska återvinnas. I vilken grad eller till vilken effektivitet som återvinning av armaturer sker på aggregerad nivå är i dag okänt av projektgruppen. Det pågår i skrivande stund ett projekt med bland annat Stockholm Lighting och El-Kretsen som tittar på hur återvinningsprocessen kan förbättras för LED-armaturer. Det återvunna materialet som i huvudsak verkar användas till nya armaturer är av varierande andelar återvunnet aluminium till armaturhus och kylfläns, samt till viss grad återvunnet glas till lampskyddet.

<sup>2</sup> För exempel på åtgärder för ökat cyklande se Trafikverkets publikation *Steg 1 och 2 – åtgärder för ökat cyklande – Effekter och nyttor* (2012).

<sup>3</sup> Den som yrkesmässigt producerar, importerar eller säljer elutrustning på den svenska marknaden definieras som producent och har producentansvar

Det har nämnts i intervjuer och workshops att det förväntas vara svårt att hitta ekonomi i att materialåtervinna drivdon och få ut värde av materialet för nya användningsområden. Integrerade armaturer försvårar också för effektivt återbruk och återvinning.

För att öka återcirkulering av material kan upphandlare ställa krav på återcirkulerat material i armaturerna. Utöver aluminium och glas bör elektroniken i armaturerna också krävställas för att inkludera återvunnet material, i den mån det finns tillgängligt på marknaden. Det finns exempel på LED-moduler och drivdon gjorda med återvunnet material (Tridonic, 2022a; 2022b).

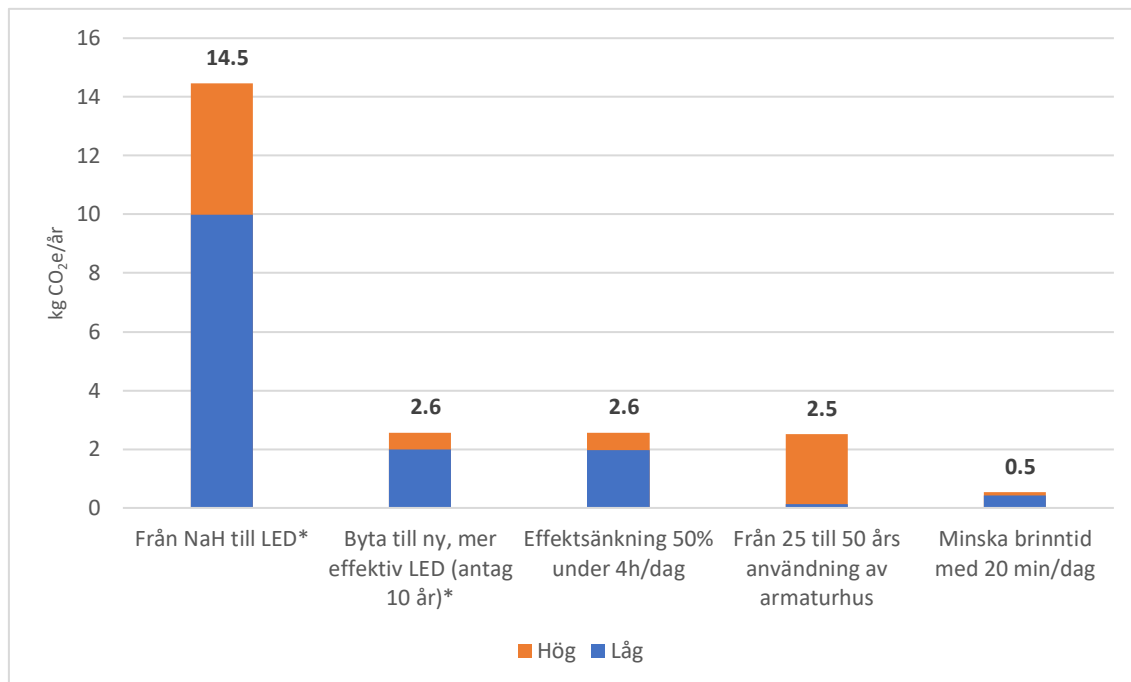
#### 4.1.4 Beräkningar

För att kunna förstå vilka åtgärder som bör prioriteras för att förbättra cirkulariteten av gatubelysningen behöver den ekonomiska, miljömässiga, och sociala potentialen av olika åtgärder utvärderas. I detta avsnitt redovisas ett antal beräkningar för att illustrera olika åtgärders potential.

##### *Klimat*

Hållbarhet är mycket mer än miljö, och miljö är mycket mer än endast klimat, men klimatområdet det område där det hittills finns mest information att kunna räkna på för att kunna jämföra olika alternativs påverkan. I Figur 7 presenteras klimatbesparingspotential från olika åtgärder.

Figur 7. Klimatbesparingspotential från olika åtgärder, kg CO<sub>2</sub>eq/år



\*Avser klimatpotential från effektivisering vid drift. Byte till ny armatur kommer med en miljökostnad för tillverkningen av armaturen. Exempelvis skulle det kunna ta runt 23 år att hämta hem klimatbesparingspotentialen från att byta en gammal LED till en ny mer effektiv LED, för en armatur med 60 kg CO<sub>2</sub>eq i påverkan från tillverkningsprocessen (se Tabell 3).

Spannen beror på olika antaganden för effekter på högtrycksnatriumlampor, LED samt CO<sub>2</sub>eq för aluminium, se Tabell 6.



Tabell 6. Antaganden bakom beräkningar av klimatbesparingspotential i figur 5

| Variabel                                               | Antaganden |
|--------------------------------------------------------|------------|
| NaH låg                                                | 66,5       |
| NaH hög                                                | 70         |
| LED låg                                                | 30         |
| LED hög                                                | 38,9       |
| kg CO <sub>2</sub> eq/kg aluminium låg (återvunnen)    | 1          |
| kg CO <sub>2</sub> eq/kg aluminium hög (primär Indien) | 21         |
| Brinntid                                               | 4 000      |
| Kg CO <sub>2</sub> eq/kWh                              | 0,0904     |
| <b>Kg aluminium per armatur</b>                        | <b>6</b>   |

Källa: IEA (2023), Rehn (2019), Sandgren & Nilsson (2021), Tillväxtanalys aluminium (2018), Trafikverket (2023) intervjuer, RISE beräkningar

Värdena i Figur 7 bör inte tolkas som någon sanning eftersom det inte råder konsensus runt vilken elmix som bör användas av svensk, nordisk eller europeisk, som beskrivet i avsnitt 3.2.1. Däremot visar figuren hur potentialen mellan olika alternativ förhåller sig till varandra. Den visar tydligt att den största klimatbesparingspotentialen kommer från att byta ut gammal teknik till LED.

Det finns klimatbesparingspotential att byta ut äldre LED mot nyare, mer effektiva LED, men med det tillkommer till en relativt hög miljökostnad från produktionen av den nya armaturen.

Det går att utläsa att det finns relativt stor potential till klimatbesparingar från effektsänkning under natten, en lösning som inte kräver några nya produkter eller styrsystem, utan endast omprogrammering av drivdonen.

Givet att det är säkert att använda armaturhusen längre, finns det viss klimatbesparingspotential att förlänga användningen genom exempelvis återbruk. Att använda aluminiumet längre leder även till andra fördelar genom att minska behovet av aluminium, och därmed begränsa de negativa effekter som brytning av bauxit bidrar till.

Klimatbesparingspotentialen som kommer från att minska brinntiden med 20 minuter per dag skulle kunna uppnås genom enklare åtgärder som att tända belysningen 10 minuter senare och släcka den 10 minuter tidigare. Denna typ av åtgärd har redan implementerats av flera kommuner men inte alla. Om närvarostyrd belysning kan minska tiden som en armatur lyser med 20 minuter per dag, går det på ett år att spara upp till 0,5 kg CO<sub>2</sub>eq per armatur. Om exempelvis 1 miljon armaturer skulle kunna släckas en timme per dag i snitt skulle det gå att spara 1 500 ton CO<sub>2</sub>eq på ett år. Sensorer för närvarostyrd belysning och installationen av dessa kommer däremot också med en miljöbelastning som behöver tas hänsyn till.

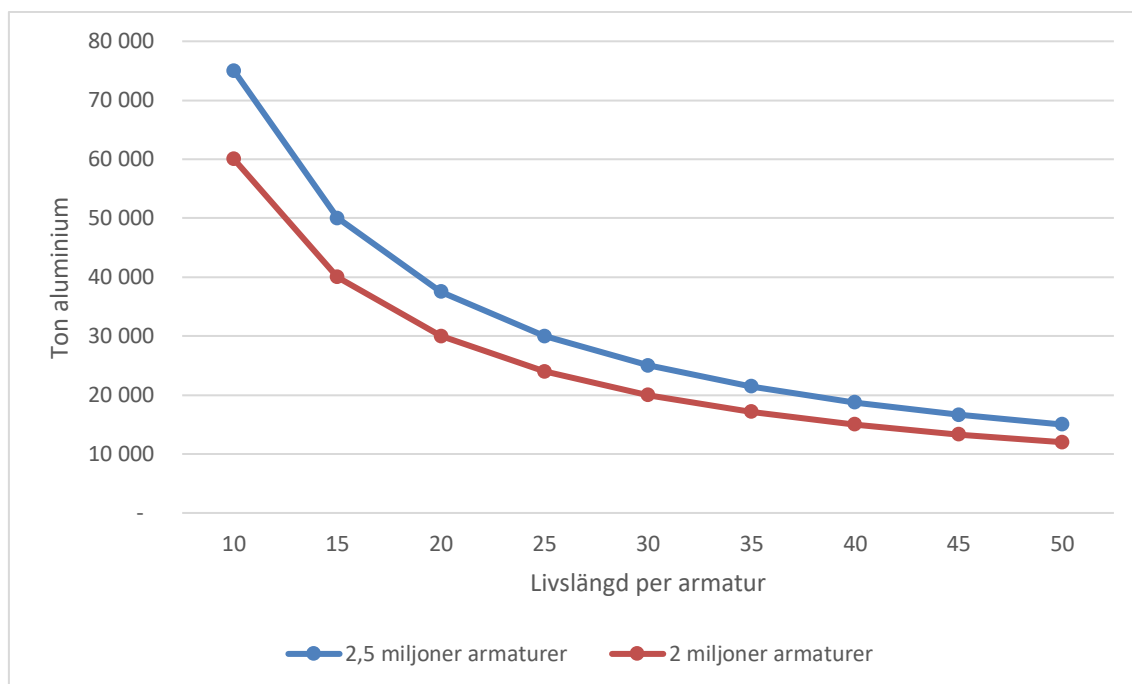
### *Material*

För att öka cirkulariteten av gatubelysning behöver mängden material, framför allt jungfruligt material, minska. Nedan redovisas exemplifierat hur mycket aluminium som behövs till armaturbeståndet beroende på hur länge armaturerna används. Volymuppskattningarna kompletteras med en ekonomisk uppskattning för hur mycket pengar de offentliga aktörerna går miste om genom att överlåta skrotavgiften till driftentreprenörerna. Vi har fokuserat på aluminium eftersom det är det material som dominerar vikten av armaturerna, har stor potential att bevara ekonomiskt värde

genom återvinning och minska klimatpåverkan genom återvinning. Däremot spelar även andra material, såsom glas, koppar och kompositer, en betydande roll och bör beaktas noggrant för att få en fullständig förståelse av det materialflöde som präglar gatubelysningsindustrin.

I Figur 8 illustreras hur mycket aluminium som skulle behövas över en 50-årsperiod beroende på hur länge armaturerna eller armaturhuset används. Grafen visar åtminstone två tydliga effekter, 1) det går att minska behovet avsevärt genom att använda aluminiumet i armaturerna längre och 2) antalet installerade armaturer är också en viktig faktor i att minska volymen aluminium som behövs till gatubelysning. Även om nyttan av förlängd användning är avtagande handlar det fortfarande om tusentals ton för varje 5-årsperiod.

Figur 8. Aluminiumbehov över en 50-årsperiod till armaturer vid olika livslängder, ton

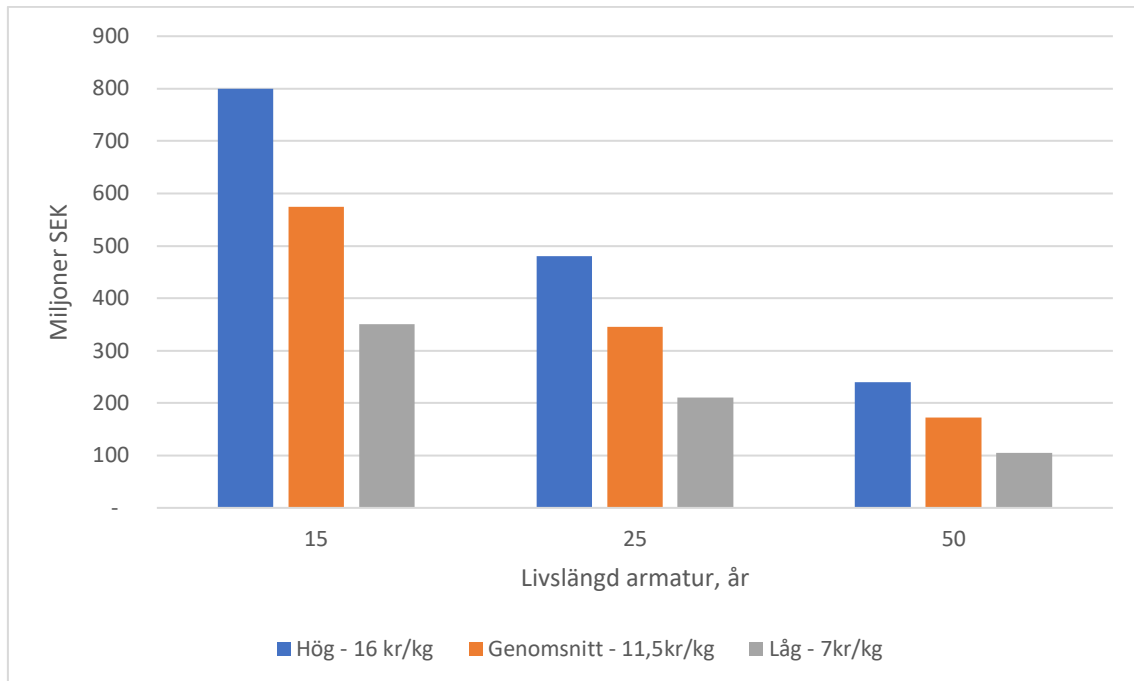


Not: Antagande 6kg aluminium per armatur.

Källa: RISE beräkningar

I och med att återvunnet aluminium generellt sett är konkurrenskraftigt med primärt producerat aluminium, finns det stora värden installerat aluminium i infrastrukturen. I dag är det vanligt att skrotvärdet från belysningsmaterial överläts till driftentreprenören, som ett incitament till att se till att materialet återvinns korrekt. De offentliga aktörerna kan däremot gå miste om stora summor genom detta, se Figur 9. Om armaturhuset är i sådant skick att det kan användas igen borde värdet för armaturleverantörer sannolikt vara högre än skrotpriset, vilket kan göra att värdena i figuren är underskattade. Om aluminiumet i armaturerna används 25 år kan offentliga aktörer installera och överlåta aluminium till ett värde av 210-480 miljoner SEK över en 50-årsperiod, motsvarande 4-10 miljoner SEK per år.

Figur 9. Installerat skrotvärde aluminium över en 50-årsperiod vid olika livslängder och skrotpris, mnkr



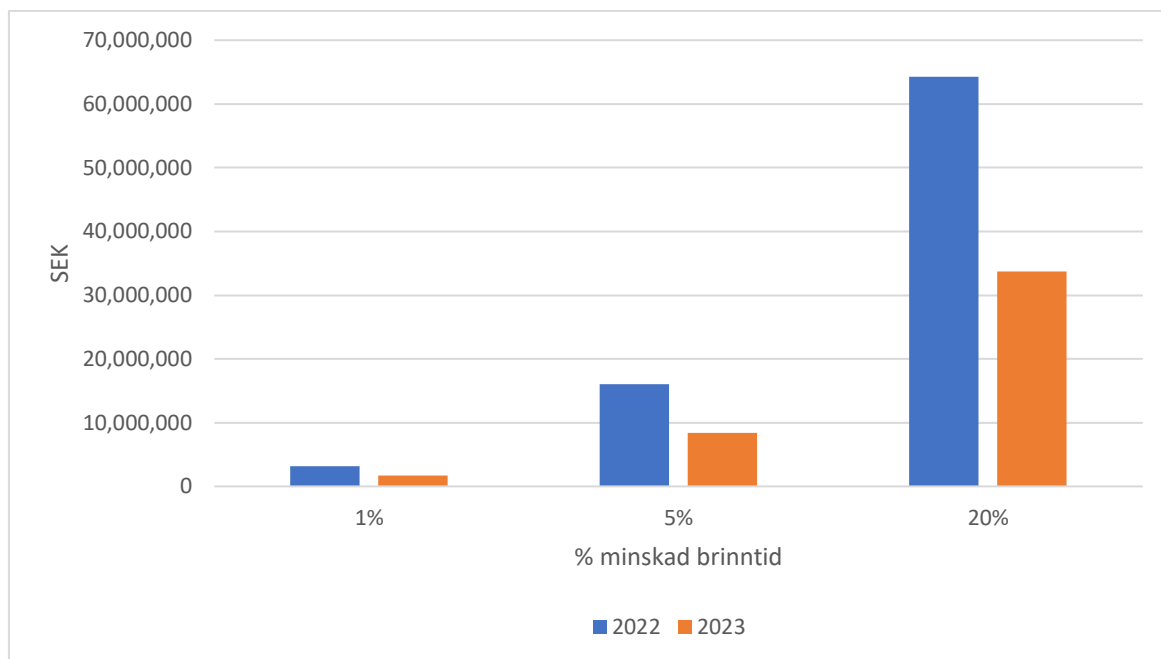
Källa: Svensk metallåtervinning (2023), RISE beräkningar

### Ekonomi

Ett av sätten för att öka cirkulariteten av gatubelysning är som diskuterat att förbättra det ändamålsenliga resursnyttjandet genom att inte belysa mer än nödvändigt. Utöver energi- och kostnadsbesparingar från teknikbytet till LED, finns det energi- och kostnadsbesparingar i att minska brinntiden eller ljusstyrkan under dygnet. Brinntiden kan minska antingen genom att tända senare och släcka tidigare, eller genom närvarostyrning. 1% minskad brinntid per år motsvarar drygt 6 minuter per dygn och kan spara drygt 1,7-3,2 miljoner SEK per år på nationell basis, se Figur 10. Baserat på 100 000 timmars livslängd resulterar 1% minskad brinntid per år dessutom i att armaturens tekniska livslängd teoretiskt förlängs med 3 månader i kalendertid.

I Tabell 7 redovisas kostnadsbesparingspotentialen från minskad energiförbrukning genom effektsänkning för olika nivåer och antal timmar, vilket sträcker sig mellan 1,5 och 53,8 miljoner SEK per år för 2,5 miljoner armaturer. I den mån effektsänkning leder till att armaturernas livslängd förlängs tillkommer ytterligare kostnadsbesparingspotential genom att färre armaturer behöver köpas över tid.

Figur 10. Kostnadsbesparingspotential färre brinntimmar per år, 2,5 miljoner armaturer, SEK



Not: Antagande 30W-lampa, medelpris år 2022 1,07kr/kWh, medelpris 2023 0,56kr/kWh exklusive moms och andra avgifter

Källa: Energimarknadsbyrån (2023), RISE beräkningar

Tabell 7. Kostnadsbesparingspotential per år av olika nivåer av effektsänkning och antal timmar nedsänkt, 2,5 miljoner armaturer, SEK

|          | Effektsänkning |            |            |            |            |            |            |
|----------|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|          | 10%            | 20%        | 30%        | 40%        | 50%        | 60%        | 70%        |
| <b>1</b> | 1 539 330      | 3 078 661  | 4 617 991  | 6 157 322  | 7 696 652  | 9 235 983  | 10 775 313 |
| <b>2</b> | 3 078 661      | 6 157 322  | 9 235 983  | 12 314 644 | 15 393 305 | 18 471 966 | 21 550 627 |
| <b>3</b> | 4 617 991      | 9 235 983  | 13 853 974 | 18 471 966 | 23 089 957 | 27 707 948 | 32 325 940 |
| <b>4</b> | 6 157 322      | 12 314 644 | 18 471 966 | 24 629 288 | 30 786 609 | 36 943 931 | 43 101 253 |
| <b>5</b> | 7 696 652      | 15 393 305 | 23 089 957 | 30 786 609 | 38 483 262 | 46 179 914 | 53 876 566 |

Not: Antagande 30W-lampa, medelpris 2023 0,56kr/kWh exklusive moms och andra avgifter

Källa: Energimarknadsbyrån (2023), RISE beräkningar

### Reparation och utbyte

Kostnadsbesparingar eller kostnadsökningar som kan uppstå genom att det blir enklare att reparera har inte undersökts kvantitativt i denna studie men är en viktig faktor att utforska vidare. För att laga trasiga armaturer behövs exempelvis en skylift, personal som byter armaturen och varselpersonal, samt att det tillkommer andra samhällsekonomiska kostnader av att stänga av vägar (MSB, 2015). Reparationer kan således vara dyra insatser och ur ekonomisk synpunkt förväntas det därför vara eftersträvansvärt att behöva laga så sällan som möjligt. Det finns potentiellt en målkonflikt med att designa mer modulära armaturer eftersom risken att dessa gå sönder är större på grund av fler rörliga delar och fler punkter som kan hanteras felaktigt.

## 4.2 Affärsmodeller i en cirkulär värdekedja

För att uppnå en mer cirkulär värdekedja för gatubelysning behöver den rådande linjära affärsmodellens logik med köp, slit och släng brytas. I linjära affärsmodeller tjänar företag pengar på att sälja fler produkter och reservdelar. Här finns det alltså incitament som inte går i linje med att armaturerna håller länge och inte behöver repareras.

Projektet har utforskat och diskuterat flera möjliga affärsmodeller som var och en på sitt sätt försöker adressera resursanvändningsproblematiken. En utmaning i projektet med att utvärdera hur cirkulära affärsmodeller påverkar ekonomi, miljö och organisationsupplägg är att respektive leverantör i projektet har sin egen variant av cirkulär affärsmodell. För att inte ge fördelar till en enskild aktör har utmaningarna med cirkularitet för armaturer beskrivits generellt. Alternativa affärsmodeller kan innebära att aktörsstrukturen i värdekedjan ändras och det i sin tur kan innebära att det behövs nya typer av aktörer. Nedan beskrivs de affärsmodeller som har diskuterats.

### 4.2.1 Återbruk

Återbruk innebär att när en armatur inte längre kan användas för sitt ursprungliga syfte, kan den användas på en ny plats som har belysningskrav motsvarande armaturens prestanda. Detta är en av de affärsmodeller som i teorin har störst potential i att behålla värdet av armaturerna under längst tid genom att så mycket som möjligt av armaturerna används i ytterligare en eller flera livscyklar.

Återbruket kan ske i kombination med en uppfräschning av armaturen för att den ska kunna användas under längre tid eller anpassas till nya krav, men bör ske med så hög andel återbrukade komponenter som möjligt.

En utmaning med återbruk är att veta kvaliteten på de ingående komponenterna i armaturer för att säkerställa att armaturen kan leva upp till de krav som ställs för dess nästa livscykel. En av dessa som nämns i 4.1.1 och som utvecklas mer som forskningsidé i 5.1.3 är materialutmattnings av armaturhus. För de flesta komponenter skulle det krävas omfattande testverksamhet för att säkerställa kvaliteten av komponenter för återbruk.

För att öka potentialen för återbruk av gatubelysningsarmaturer behöver troligtvis återbruksverksamheten ske i Sverige för att säkerställa miljönytta och ekonomi, se 4.2.3 för vidare utveckling av möjligheter och hinder för detta.

### 4.2.2 Take-back

Take-back är en affärsmodell där producenter/leverantörer har kravställt eller erbjuder sig att köpa tillbaka armaturen från armaturägaren, när ägaren inte längre vill ha den. Syftet är att kunna använda armaturerna, komponenterna eller materialet i nya applikationer, antingen genom återbruk eller mer kontrollerad återvinning.

Gatubelysningsarmaturens långa livslängd är mycket positivt ur ett cirkulärt perspektiv, men det kommer vissa utmaningar för affärsmodeller som take-back. Den långa livslängden kan göra det svårt för armaturägarna att veta att en armatur tillhör ett take-back-erbjudande, 25 år efter att den såldes. För att få så stor nytta som möjligt av affärsmodellen bör leverantören även kunna använda de potentiellt 25 år gamla komponenterna i nya produkter i den mån de upprätthåller kvaliteten. Det kan däremot hända att de inte längre får användas (se 4.1.1 om social utdatering). I de fall

komponenterna fortfarande kan och får användas, krävs även att de nya produkterna är bakåtkompatibla med äldre komponenter.

### 4.2.3 Decentraliserad produktion och lokal reparation

Många armaturproducenter har sin produktion utanför Sverige, vilket skapar ett hinder för att få miljöpositiva effekter av reparationer av armaturer inom garantitiden, ekonomisk lönsamt för att reparera utanför garantitiden, eller av att återbruka.

För att adressera problemet med att transportera armaturer fram och tillbaka till europeiska producenter är en lösning att etablera en decentraliserad produktion eller lokala reparationsmöjligheter. Om en svensk aktör är auktoriserad för att reparera och/eller återbruka ett varumärke med bibehållen CE-märkning och garanti, skapas bättre förutsättningar för att reparation och återbruk ska skapa ekonomisk och miljömässig nytta.

### 4.2.4 Produkt som tjänst

I produkt som tjänst (*product-as-a-service*, "PaaS") köper en kund funktionen av en produkt i stället för att köpa själva produkten. PaaS kan se ut på många olika sätt, men en central del är att ägandet av produkten kvarstår hos den som säljer funktionen av produkten. I det här fallet skulle kommuner och Trafikverket betala för att få använda armaturer (eller större delar av belysningsinfrastrukturen), medan armaturleverantörerna eller någon ny aktör, behåller ägandet.

En av de förväntade effekterna av PaaS-modeller är att det skapar incitament för leverantörerna som äger produkterna att investera i produkter som behåller värde över tid. Armaturleverantörerna delar nu på risken (s.k. *skin in the game*) för att produkten inte håller under användningen, till skillnad från det nuvarande garantiåtaganden som normalt är begränsat till två år.

Det finns etablerade varianter av PaaS-affärsmodeller i svenska kommuner såsom Varberg. Varberg Energi har förvärvat hela gatubelysningsanläggningen från Varberg kommun. Kommunen betalar nu en summa per ljuspunkt och år för att täcka förvaltning, underhåll och energi. Varberg Energi har dessutom uppdaterat många äldre armaturer genom att installera LED-insatser i de befintliga armaturhusen, i stället för att köpa in nya armaturer.

## 4.3 Cirkulära faktorer i offentlig upphandling

Det finns ett behov av att utvidga faktorerna som det bör tas hänsyn till vid hållbar offentlig upphandling av gatubelysning. I Upphandlingsmyndighetens vägledning för upphandling av utomhusbelysning (2017) lyfts inte materialanvändningsfrågan, utan här inkluderar miljö endast energianvändning, ljusförorening, och miljö- och hälsofarliga ämnen. Målet med en cirkulär ekonomi är i mångt och mycket att minska resursförbrukningen och det bör vara ett krav i offentlig upphandling att entreprenörerna eller armaturleverantörerna ska verka för att minimera resursförbrukningen, i första hand av jungfruliga resurser men även totalt.

Från våra intervjuer ser vi inte att det finns något hinder hos projektets beställare att upphandla högkvalitativa produkter som upprätthåller sin funktion under lång tid. Det råder konsensus i att det kommer finnas budgetmässiga möjligheter att betala för förbättrad miljöprestanda. De flesta av de intervjuade kommunerna tror inte att cirkulära lösningar kommer påverka kommunernas ekonomiska ställning avsevärt,

även om det kommer ske en förändring i var kostnaderna uppstår. Aktörerna förväntar sig följaktligen att kunna skapa stora miljövinster till ungefär samma kostnad.

### 4.3.1 Miljöanpassad offentlig upphandling

EU har initierat ett instrument som de kallar GPP (*Green Public Procurement, sv. miljöanpassad offentlig upphandling*) som i korthet är en samling frivilliga kriterier för att förenkla för offentliga aktörer att upphandla varor och tjänster med lägre miljöpåverkan (Europeiska kommissionen, 2008).

De befintliga kriterierna för EU:s gröna offentliga upphandling adresserar miljöaspekter för vägbelysning och trafiksignaler, med fokus på energiförbrukning, ljusförorening och hållbarhet (Europeiska kommissionen, u.å.-b). Att förstå dessa kriterier vid anbudsinfordringar kan leda till lägre miljöpåverkan och livscykelkostnader. Till skillnad från Upphandlingsmyndighetens vägledning inkluderar EU GPP för vägbelysning materialfrågan till viss del. Nedan följer EU:s sammanfattande GPP-strategi för vägbelysning (Europeiska kommissionen, 2018):

- Upphandla armaturer, lampor eller ljuskällor som överstiger minimikraven för ljuseffektivitet.
- Uppmuntra användningen av dimning och mätning för att säkerställa att energiförbrukningen för en specifik ljusinstallation kan optimeras och övervakas i realtid.
- Kräv att alla armaturer har 0,0% uppåtriktat ljusutmatningsförhållande på övergripande nivå, för att säkerställa att 97% av allt ljus faller inom en nedåtriktad vinkel på 75,5° till vertikalen för att minska störande ljus och bländning.
- Uppmuntra obligatorisk dimning på platser av oro och sätt gränser för andelen blått ljus (G-index) i lamp-/armaturutmatningen.
- Upphandla tålig och användarvänlig vägbelysningsutrustning som är reparerbar och täcks av garanti eller förlängd garanti.
- Fastställ minimikrav för den ansvariga personen som godkänner belysningsinstallationen.

För inspiration finns två exempel på GPP-fall för upphandling av gatubelysning som balanserar miljö, ekonomi och sociala aspekter genom att använda LCA, LCC och materialval; Rotterdam (Europeiska kommissionen, 2017) och Geestland (Europeiska kommissionen, 2020). Det finns fler exempel från GPP men de avser i huvudsak energieffektiviseringen av byte till LED-armaturer.

Ytterligare stöd för offentliga upphandlare att bättre kunna styra mot cirkulär ekonomi utforskas i Horizon Europe-projektet CircularPSP<sup>4</sup> som undersöker artificiell intelligens (AI) specialiserad inom CE, en offentlig tjänsteplattform som gör AI tillgänglig för personal och företag inom den lokala ekonomin samt en cirkulär förändringsram för att övergå från ett linjärt tankesätt.

### 4.3.2 Mål och strategier för cirkulär upphandling

Medan stort fokus har lagts på hur kravställning vid köp av nya produkter kan se ut för att öka cirkulariteten, är det som beskrivet i avsnitt 4.1 många andra åtgärder som värdekedjan kan behöva arbeta med för att uppnå mer cirkulär gatubelysning.

<sup>4</sup> <https://circularpsp.eu/>

Vi finner att begreppet ”cirkularitet” är för brett för att vara fullt användbart. För att effektivt adressera och implementera åtgärder som gynnar cirkulär ekonomi anser vi att det är nödvändigt att bryta ned begreppet cirkularitet i mindre beståndsdelar. I Figur 11 visas ett exempel på mindre mål och strategier för cirkulär upphandling. Genom att arbeta med den här typen av mål och strategier för anläggningarna som helhet i stället för nya produkter, öppnar det för fler åtgärder än att endast sätta ”cirkulära” krav på nya armaturer.

I och med att vi ännu inte vet vad som riskerar att göra armaturer utdaterade i förtid kan det finnas anledning att fokusera på att förbättra det vi vet kommer hända. Exempelvis, medan vi inte vet om många armaturer faktiskt kommer att behöva repareras, vet vi att alla så småningom kommer att behöva återvinnas. Det kan följaktligen vara relevant att exempelvis sätta mål på ökat innehåll av återvunna råvaror, design för återvinning, och information om innehåll och material. Flexibilitet med modulär design för förändringsanpassning är bra för att kunna möta nya funktioner, men här behöver hänsyn tas till att det faktiskt leder till minskad total materialåtgång. Återigen, med tanke på den långa livslängden på armaturer, finns det risk för att det i framtiden inte kommer vara intressant att framtidsanpassa en LED-armatur, exempelvis på grund av materialutmattnings eller introduktion av nya teknologier som inte är kompatibla med LED-armaturers utformning, så som sker nu med teknikskiftet från gammal teknik till LED.

Figur 11. Modellen Mål och strategier för cirkulär upphandling.



Källa: Modell från Vlaanderen-Circular.be, översatt av Upphandlingsmyndigheten<sup>5</sup>

## 4.4 Relevanta omvärldsfaktorer

I det här avsnittet beskrivs en handfull gällande eller kommande regleringar som kan påverka värdekedjan för offentligt förvaltad gatubelysning. De flesta härstammar från

<sup>5</sup> <https://www.upphandlingsmyndigheten.se/om-hallbar-upphandling/miljomassigt-hallbar-upphandling/upphandling-for-att-framja-cirkular-ekonomi/>



EU:s gröna giv och påverkar värdekedjan genom att ställa högre krav på information och prestation när det kommer till hållbarhetsfaktorer.

#### 4.4.1 Förordning om ekodesign för hållbara produkter (Ekodesignförordningen)

Ekodesignförordningen är ett förslag som Europeiska kommissionen har lagt fram för att ersätta det gällande ekodesigndirektivet (Europeiska kommissionen, 2022). Förslaget utvidgar det gällande ekodesigndirektivet till att omfatta de flesta produktgrupperna, ställa fler och striktare ekodesignkrav, samt introducera konceptet digitalt produktpass (DPP). Belysning omfattas redan av det befintliga ekodesigndirektivet men kan komma att påverkas av den kommande ekodesignförordningen genom uppdaterade, striktare och mer omfattande krav på exempelvis:

- Livslängd (*durability*)
- Återanvändningsbarhet
- Uppgraderbarhet
- Återvunnet material
- Miljöpåverkan

Förslaget är i dagsläget inte antaget och vilka områden som kommer påverka belysning och hur de kommer utformas återstår att se.

Förslaget inkluderar även introduktionen av det som kallas för digitalt produktpass, i vilket miljörelaterad hållbarhetsinformation om produkten ska finnas digitalt tillgängligt. Det är inte bestämt än om informationen ska gälla för den enskilda produkten, ett parti produkter, eller på modellnivå.

Ekodesignförordningen förväntas höja lägstanivån sett till miljörelaterad hållbarhet, öka omfattningen och kvaliteten av hållbarhetsinformation, samt öka tillgängligheten av hållbarhetsinformationen.

#### 4.4.2 Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)

CSRD är ett direktiv som antagits av EU för att ersätta det tidigare Non-Financial Reporting Directive (NFRD) genom att utvidga omfattningen av berörda företag, informationen de behöver rapportera på och hur rapporteringen ska ske. Informationen i hållbarhetsrapporten likställs nu med den finansiella rapporteringen (Direktiv 2022/2464).

På sikt kommer CSRD gälla för börsnoterade företag oavsett storlek, och företag som uppfyller åtminstone två av följande tre kriterier:

- Balansomslutning: 20 miljoner EUR
- Omsättning: 40 miljoner EUR
- Genomsnittligt antal anställda under räkenskapsåret: 250

Mycket kortfattat ska de direkt berörda bolagen utvärdera vilken påverkan deras värdekedja har på människor och natur, och rapportera på de områden som de har så kallad väsentlig påverkan på, utifrån följande hållbarhetsområden:

1. Klimatförändring
2. Föroreningar
3. Vatten och marina resurser

4. Biodiversitet och ekosystem
5. Resursanvändning och cirkulär ekonomi
6. Egna arbetare
7. Arbetare i värdekedjan
8. Berörda samhällen
9. Konsumenter och slutanvändare
10. Bolagsstyrning

I väsentlighetsbedömning ska företagen bedöma i) hur företagen påverkar omvärlden och ii) hur omvärlden påverkar företaget. Påverkan kan både vara negativ och positiv.

Även om endast vissa företag omfattas av förslaget förväntas många mindre aktörer påverkas indirekt genom att de berörda företagen kommer kräva viss information och prestation från de mindre bolagen.

CSRD kan påverka gatubelysningens värdekedja genom att synliggöra dess hållbarhetspåverkan på ett bättre sätt än i dag. Det kommer underlätta för offentliga aktörer att ställa krav på hållbarhetsprestation. Utifrån diskussionen i avsnitt 3.2 kan vi förvänta oss att påverkan på och av hållbarhetsområdena klimatförändring, biodiversitet och ekosystem, resursanvändning och cirkulär ekonomi, arbetare i värdekedjan, berörda samhällen, samt konsumenter och slutanvändare, kan bli aktuella att rapportera om.

Informationen från CSRD kan göra det lättare för företag att sätta ett pris på deras hållbarhetsarbete. När negativa externa effekter redovisas och ska adresseras kan en konsekvens vara att priserna på resurser, komponenter och/eller produkter ökar. Ur ett cirkulärt perspektiv är detta inte nödvändigtvis en negativ konsekvens eftersom det kan skapa ett incitament för att behålla värdet i produkterna under längre tid och exempelvis minska risken för överinstallation.

Dagens styrmedel gynnar ofta linjära affärsmodeller framför cirkulära affärsmodeller, och RISE förväntar sig att CSRD kommer bidra till att jämna ut marknadsvillkoren.

### 4.4.3 RoHS-direktivet

RoHS står för Restriction of the use of certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment och syftar till att minska riskerna för människors hälsa och för miljön genom att ersätta och begränsa farliga kemiska ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning (Kemikalieinspektionen, 2023). Direktivet ska även förbättra möjligheten till lönsam och hållbar materialåtervinning från avfall från sådan utrustning.

RoHS-direktivet har kommit med undantag för bland annat ämnen i produkter för särskilda användningsområden (Kemikalieinspektionen, 2024). Ett av dessa undantag har varit och är användningen av kvicksilver i diverse belysningsprodukter, som löpande behöver fasas ut. Utfasningen av kvicksilver har påskyndat installationstakten av LED eftersom denna ljuskälla är fri från ämnet. Ett kvarstående undantag är kvicksilver i högtrycksnatriumlampor för allmänna belysningsändamål, men detta förväntas fasas ut 2027. I och med att stora andelar av den installerade gatubelysningen använder högtrycksnatriumlampor förväntas utfasningen av kvicksilver bli utmanande eftersom lamporna måste ersättas med LED under relativt kort tid.

#### 4.4.4 Critical Raw Materials Act

EU-kommissionen har föreslagit en förordning, kallad Critical Raw Materials Act (CRM Act), för att säkerställa en säker och hållbar tillgång av kritiska råmaterial (Europeiska kommissionen, 2023a).

En av flera åtgärder i CRM Act syftar till att förbättra insamlingen och återvinningen av avfall med höga halter kritiskt råmaterial. 3 av de 30 material som EU klassificerar som kritiskt råmaterial är bauxit (se avsnitt 3.2.2), fosfor (se avsnitt 3.3) och koppar (Europeiska kommissionen, 2023b). Dessutom inkluderar de sällsynta jordartsmetaller som kan förekomma i LED-armaturer, såsom gallium och indium (Europeiska kommissionen, u.å).

En annan åtgärd är att diversifiera importen av råmaterial. En potentiell konsekvens av att styra marknaden är att kostnaderna kan komma att öka.

#### 4.4.5 Standarder

På sikt är det önskvärt att standardiserad design blir mer vanligt förekommande för att minska komplexiteten i armaturanläggningarna och minska beroenden av enskilda varumärken.

Tekniken för LED-armaturer utvecklas fortfarande relativt snabbt och förmodligen är det fördelaktigt att nå en något ökad mognadsgrad innan breda standarder av utformningen sätts. Detta för att inte låsa in marknaden i standardiserade designlösningar som inom kort kan behöva ändras för att följa utvecklingen på området. I den mån utvecklingstakten saktar ner och standarder börjar komma, kan offentliga aktörer styra efterfrågan på standardiserade komponenter genom kravställning.

## 5 Slutsats

Förstudien har bidragit till en förbättrad kunskapsbild om hinder och möjligheter för att åstadkomma mer cirkulär gatubelysning. Gatubelysningsarmaturer är relativt långlivade för att vara elektroniska produkter, och de åtgärder som diskuterats i projektet handlar i huvudsak om att säkerställa att produkterna är motståndskraftiga mot externa faktorer så att de kan användas så länge som de är designade att göra, samt att använda belysningen mer ändamålsenligt.

Projektets ursprungshypotes var att det fanns stor risk att många LED-armaturer kommer kasseras i förtid, framför allt på grund av att drivdonen går sönder. Projektet har inte kunnat bekräfta denna hypotes då felfrekvensen på befintliga LED-armaturer bedöms vara mycket låg och armaturerna har en livslängd som är förhållandevis lång för att vara elektroniska produkter. Projektet har undersökt andra aspekter av cirkularitet men funnit att begreppet cirkulär är för omfattande för att användas i sin helhet. Vi föreslår att begreppet bryts ner till mindre beståndsdelar för att enklare kunna ta steg i en mer hållbar riktning.

Det finns stor potential med att öka cirkulariteten av befintliga produkter genom att inkludera smartare styrning, så att belysningen endast lyser när det behövs. Genom att minska onödig belysning kan ljusföroreningar, miljöpåverkan och driftkostnader reduceras samtidigt som livslängden på armaturerna förlängs. Denna förändring kan implementeras utan omfattande designförändringar eller nya affärsmodeller.

En utmaning är att identifiera hur sektorn kan minska resursanvändningen, särskilt eftersom det är för tidigt att fastställa de vanligaste skälen till att armaturer byts ut innan de når sin tekniska livslängd. Modularitet och enkel reparation betraktas som lovande möjligheter för att säkerställa lång livslängd, men en noga genomtänkt design krävs för att undvika ökade reparationer, vilket kan vara kostsamt i termer av arbetskraft, maskinhyra och samhällsekonomiska konsekvenser i form av avstängda vägar.

Aktörerna kommer behöva skifta från de linjära affärsmodeller som dominerar i dag till cirkulära affärsmodeller för att värdekedjan ska kunna bli cirkulär. Aktörer har börjat testa olika varianter. Affärsmodellerna bör fokusera på att förbättra områden som omfattar scenarier som aktörerna är säkra på kommer inträffa för samtliga eller majoriteten av armaturerna, så att deras lösningar inte endast löser problem som sker på ett fåtal armaturer.

Det går att uppnå ökad cirkularitet från de offentliga aktörernas val för hur mycket belysning som ska finnas, hur ofta och hur starkt den ska lysa. Detta behöver även kompletteras med att ställa krav på materialanvändning över tid för armaturer.

Det krävs bättre förståelse för belysningens hållbarhetspåverkan och hur den kan hanteras. Nedan beskrivs kortfattat ett antal områden som vi har sett behov för mer forskning om för att öka kunskapsläget för hur cirkulär gatubelysning kan uppnås.

## 5.1 Områden för framtida forskning

### 5.1.1 Kartlägga vilka av de gamla armaturerna som kan nedmonteras

Det finns stora volymer installerade högtrycksnatriumarmaturer som inom en snar framtid inte längre kommer kunna användas när undantaget från RoHS tas bort. Beroende på hur gamla de anläggningarna är kan det vara så att alla inte behöver bytas ut till LED, utan att vissa kan nedmonteras helt för att syftet och förutsättningarna för belysning se annorlunda ut i dag jämfört med när anläggningen installerades (se exempelvis SKR, 2017). Att förebygga att avfall sker är det första steget i avfallstrappan och det är följaktligen viktigt att försöka minska antalet armaturer som installeras, förutsatt att den belysning som finns möter dagens behov.

Vi förväntar oss att detta görs i dag i varierande grad. En riktad studie om vilka av de gamla armaturerna som inte behöver bytas ut till LED skulle kunna bidra till offentliga aktörers arbete att utvärdera reinvesteringsbehov, antingen genom bättre eller mer lättillgänglig data, verktyg, eller vägledning.

### 5.1.2 Kartlägga var närvarostyrd belysning kan ha störst effekt

Närvarostyrd belysning är en lovande funktion som minskar de negativa effekterna av belysning genom att släcka eller kraftigt dimra ned belysningen när den inte används.

En studie skulle kunna undersöka var det finns upplysta miljöer som nyttjas minst eller har störst variation under dygnets mörka timmar eller dag på veckan, och därmed skulle kunna ha störst potential att nå stora klimatbesparingar med hjälp av närvarostyrd belysning. En gång- och cykelväg i till exempel ett industriområde som främst används för transport till och från arbetsplatser på dagtid kan ha fler onödiga belysningstimmar jämfört med en huvudgata i ett stadscentrum.

Genom att veta i vilka områden som närvarostyrd belysning har störst effekt kan offentliga aktörer bättre rikta medel mot dessa områden.

### 5.1.3 Studie för att skapa förståelse för slitage och livslängd av armaturhus och komponenter

För att öka möjligheten att på ett säkert sätt återbruka komponenter från armaturer behövs troligen skalbara och kostnadseffektiva metoder att kvalitetsbedöma komponenter från använda armaturer.

För bättre förståelse behövs det forskning om hur armaturhus och komponenter slits över tid och hur deras lämplighet för återbruk ska testas effektivt.

### 5.1.4 Studie om hur modulära armaturer bör designas så att nyttorna överväger nackdelarna

Det finns flera potentiella fördelar med modulärt uppbyggda armaturer, som att de lättare och billigare kan underhållas och repareras, samt att det öppnar upp för möjligheten att framtidsanpassa armaturerna. Det finns redan armaturproducenter som har utvecklat modulärt uppbyggda armaturer och som finns tillgängliga på marknaden.

Modularitet kommer däremot med potentiella nackdelar som kan vara kostnadsdrivande och/eller leda till ökade materialflöden för värdekedjan, som t.ex. ökad risk för handhavandefel, och att armaturerna kräver större volym och därmed mer material.

En studie skulle kunna undersöka hur armaturerna bör designas för att få ut så mycket av fördelarna som möjligt och samtidigt minska risken för nackdelarna.

### 5.1.5 Möjliga format för funktionsupphandling

I ett av de fall där vi vet om att kommuner betalar per ljuspunkt och år i stället för att köpa produkter, har ett kommunalt bolag köpt upp kommunens belysningsanläggning för att sedan få ersättning för att hålla den i drift. Vi bedömer att det finns behov att utforska fler sätt för offentliga aktörer att upphandla ljus som tjänst för att på ett bättre sätt kunna konkurrensutsätta marknaden.

Tre stora potentiella nyttor med funktionsupphandling är dels att leverantörerna delar på risken för att produkterna inte lever så länge som de är utlovade att göra, dels att leverantörerna får kontroll över produkterna under hela dess livstid så att förutsättningarna för återbruk och uppgradering ökar, och dels att offentliga aktörer kan upphandla teknikneutralt.

Frågor som behöver utredas är exempelvis:

- Vilka tidsramar är möjliga?
- Hur går det att säkerställa att det leder till bättre miljöprestanda?
- Hur ska avtalen och ansvarsfördelning se ut mellan värdekedjans olika aktörer?
- Hur bör ersättning utformas?

# Referenser

- Boverket (2019). Brottsförebyggande och trygghetsskapande perspektiv och åtgärder i samhällsbyggnadsprocessen. Rapportnummer 2019:20. ISBN: 978-91-7563-663-4. <https://www.boverket.se/contentassets/37fed9b575d846c1bcdd3bdfb2db47f9/brottsforebygga-nde-och-trygghetsskapande-perspektiv-och-atgarder.pdf>
- Boyer, R.H.W., m.fl. (2021) Three-dimensional product circularity. Journal of Industrial Ecology, 25(4) p.824-833. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.13109>
- Cao, M., Ting, X. & Daqiang, Y. (2023). Understanding light pollution: Recent advances on its health threats and regulation. Journal of Environmental Sciences, (127), 589-602.
- Direktiv 2022/2464. Europaparlamentet och rådets direktiv (EU) 2022/2464 av den 14 december 2022 om ändring av förordning (EU) nr 537/2014, direktiv 2004/109/EG, direktiv 2006/43/EG och direktiv 2013/34/EU vad gäller företagens hållbarhetsrapportering. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32022L2464>
- Ekvall, T., Björklund, A., Sandin, G., Jelse, K., Lagegren, J. & Rydberg, M. (2020). Modeling recycling in life cycle assessment. Swedish Life Cycle Center Report number 2020:05.
- Europeiska kommissionen. (2008). Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, rådet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén om offentlig upphandling för en bättre miljö. COM(2008) 400. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0400>
- Europeiska kommissionen. (2017). Purchasing energy efficient street lighting, GPP In practice – Issue no.68 February 2017.
- Europeiska kommissionen. (2018). EU green public procurement criteria for road lighting and traffic signlas. Commission staff working document (2018) 494. <https://circabc.europa.eu/ui/group/44278090-3fae-4515-bcc2-44fd57c1d0d1/library/8d5a296f-ffa6-4100-be85-e8fd1288f771/details>
- Europeiska kommissionen. (2019). Communication from the Commission to the European parliament, the European Council, the Council, the European Economic and social committee and the Committee of the regions – The European Green Deal. Com(2019) 640. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF)
- Europeiska kommissionen. (2020). Saving energy through the purchase of LED street lights, GPP In practice – Issue no.96 May 2020.
- Europeiska kommissionen, Joint Research Centre, Georgitzikis, K., Mancini, L., d'Elia, E. et al. (2021). Sustainability aspects of bauxite and aluminium – Climate change, environmental, socio-economic and circular economy considerations, Publications Office, 2021, <https://data.europa.eu/doi/10.2760/702356>
- Europeiska kommissionen. (2022). Proposal for Ecodesign for Sustainable Products Regulation. General publications. [https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation\\_en](https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-ecodesign-sustainable-products-regulation_en)
- Europeiska kommissionen. (2023a). European Critical Raw Materials Act. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en)
- Europeiska kommissionen (2023b). Bilagor till Förslag till Europaparlamentets och rådets förordning om inrättande av en ram för säkerställande av trygg och hållbar försörjning av kritiska råvaror och om ändring av förordningarna (EU) 168/2013, (EU) 2018/858, 2018/1724

och (EU) 2019/1020. [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:903d35cc-c4a2-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0018.02/DOC\\_2&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:903d35cc-c4a2-11ed-a05c-01aa75ed71a1.0018.02/DOC_2&format=PDF)

Europeiska kommissionen. (u.å.-a). Strategiska områden av EU-intresse – fördjupad analys. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests\\_sv](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy/depth-reviews-strategic-areas-europes-interests_sv)

Europeiska kommissionen. (u.å.-b). Green Public Procurement Criteria and Requirements. [https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/gpp-criteria-and-requirements\\_en](https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/gpp-criteria-and-requirements_en)

Europeiska parlamentet. (2020). E-waste in the EU: facts and figures (infographic). <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20201208STO93325/e-waste-in-the-eu-facts-and-figures-infographic>

Geissdoerfer, M., Pieroni, M., Pigosso, D. & Soufani, K. (2020). Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production* 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>

Gullberg, A. (2015). Här finns den lediga kapaciteten i storstadstrafiken. KTH Centre for Sustainable Communications. ISSN: 1654-479X

IEA. (2023). Lighting. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/lighting>

Jägerbrand, A.K. (2018). LED-belysningens effekter på djur och natur med rekommendationer: Fokus på nordiska förhållanden och känsliga arter och grupper. Calluna AB.

Kemikalieinspektionen. (2023). Kort om elektronikreglerna – RoHS. <https://www.kemi.se/lagar-och-regler/lagstiftningar-inom-kemikalieomradet/eu-gemensam-lagstiftning/elektrisk-och-elektronisk-utrustning---rohs/kort-om-elektronikreglerna---rohs>

Kemikalieinspektionen. (2024). Aktuella undantag till RoHS-direktiv. <https://www.kemi.se/lagar-och-regler/lagstiftningar-inom-kemikalieomradet/eu-gemensam-lagstiftning/elektrisk-och-elektronisk-utrustning---rohs/aktuella-undantag-till-rohs>

MSB. (2015). Kostnader för störningar i infrastrukturen – metodik och fallstudier på väg och järnväg. ISBN 978-91-7383-596-1. <https://rib.msb.se/filer/pdf/27940.pdf>

Next Generation Lighting Industry Alliance. (2017). LED luminaire reliability: Impact of color shift. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/lsrc\\_colorshift\\_apr2017.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/04/f34/lsrc_colorshift_apr2017.pdf)

Pedersen, E. (2015). Dimring längs gångvägar – så påverkas fotgängares gånghastighet, läsprestanda och upplevelse. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdataas/sokresultat/?registrationnumber=2013-003463>

Rehn, H. (2017). Belysningsel industri och vägbelysning – Underlagsrapport Belysningsutmaningen. <https://www.energimyndigheten.se/globalassets/belysningsutmaningen---portal/rapporter/belysningsel-industri-och-vagbelysning-scb-2017-underlagsrapport-belysningsutmaningen.pdf>

Sandgren, A. & Nilsson, J. (2021). Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export. Utredning av lämplig systemgräns för elmix samt beräkning av det nordiska elsystemets klimatpåverkan. IVL Svenska Miljöinstitutet. ISBN 978-91-7883-314-6. <https://www.ivl.se/download/18.556fc7e17c75c84933f392/1635759400558/FULLTEXT01.pdf>

Selvefors, A. & Nyström, T. (Eds.). (2023). Future Adaptive Design – How to create longer-lasting products for circular offerings. RISE. RISE report 2023:74. ISBN 978-91-89821-51-4. [https://www.ri.se/sites/default/files/2023-09/Future%20Adaptive%20Design\\_Guide\\_2023-1.pdf](https://www.ri.se/sites/default/files/2023-09/Future%20Adaptive%20Design_Guide_2023-1.pdf)



Skara kommun (2023). Skara Skyddsängel. <https://www.skara.se/kommun-och-politik/utveckling-och-samarbeten/projekt/skara-skyddsangel.html>

SKR (2017). Belysning där det behövs – Belysning längs statlig väg. [https://skr.se/download/18.4829a209177db4e31aa411b5/1615796679835/SKL\\_S5\\_Belysning-dar-det-behovs\\_webb.pdf](https://skr.se/download/18.4829a209177db4e31aa411b5/1615796679835/SKL_S5_Belysning-dar-det-behovs_webb.pdf)

SLU (2020) Ljuskällor – ett underskattat miljöproblem. <https://www.slu.se/forskning/kunskapsbank/miljoanalys/ljusfororeningar/>

Svensk metallåtervinning. (2023). Veckans skrotpriser. Hämtad 2024-01-23: <https://www.svenskmetallatervinning.se/skrotpriser>

Tillväxtanalys. (2018). Metaller och deras betydelse för produkters klimatavtryck. Underlag till regeringsuppdrag om spårning och märkning av metaller. Dnr: 2018/073. <https://www.tillvaxtanalys.se/download/18.62dd45451715a00666f1c3c1/1586366166371/Metal-ler%20och%20deras%20betydelse%20of%C3%B6r%20produkters%20klimatavtryck.pdf>

Trafikverket. (2012). Steg 1 och 2 – åtgärder för ökat cyklande – Effekter och nyttor. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1363680/FULLTEXT01.pdf>

Trafikverket. (2022a) Rapport Vägbelysningshandboken 2022. <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1721060/FULLTEXT02.pdf>

Trafikverket. (2023). Belysning. <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/vag/Utformning-av-vagar-och-gator/vagutrustning/belysning/>

Tridonic (2022a). Tridonic LED modules set the sustainability standard. Pressmeddelande. <https://www.tridonic.com/en/int/company/press/pr-2022-first-electronic-lighting-component-with-cradle-to-cradle-certified-in-bronze>

Tridonic (2022b). Gen4 LED drivers. Pressmeddelande. <https://www.tridonic.com/en/int/company/press/news/cradle-to-cradle-led-drivers>

TT bild: <https://www.arbetsbladet.se/2022-10-31/det-lyser-overallt--precis-som-vanligt>

Upphandlingsmyndigheten (2017). Upphandling av hållbar utomhusbelysning – Vägledning nr 3. [https://www.upphandlingsmyndigheten.se/globalassets/dokument/publikationer/uhm\\_vagledning\\_utomhusbelysning\\_ensidig.pdf](https://www.upphandlingsmyndigheten.se/globalassets/dokument/publikationer/uhm_vagledning_utomhusbelysning_ensidig.pdf)

U.S. Department of Energy (2022). 2022 Solid-State Lighting R&D Opportunities. <https://www.energy.gov/eere/ssl/articles/doe-publishes-2022-solid-state-lighting-rd-opportunities>

Warniez, A., Penas, O., Choley, J., & Hehenberger, P. (2016). Metrics Generation Process for Mechatronics. Journal of Robotics and Mechatronics, 28 (1), 50-60. [https://hal.science/hal-01331742/file/JRM\\_Metrics\\_Generation\\_Process\\_for\\_Mechatronics.pdf](https://hal.science/hal-01331742/file/JRM_Metrics_Generation_Process_for_Mechatronics.pdf)

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



|                                                                                                                                                                                                     |                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| RISE Research Institutes of Sweden AB<br>Box 857, 501 15 BORÅS<br>Telefon: 010-516 50 00<br>E-post: <a href="mailto:info@ri.se">info@ri.se</a> , Internet: <a href="http://www.ri.se">www.ri.se</a> | [<br>RISE Rapport : 2024:16<br>ISBN: 978-91-89896-61-1 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|