Trafikverkets väg mot målet: en klimatneutral infrastruktur 2040

Examensarbete inom kandidatprogrammet Affärsutveckling och entreprenörskap inom samhällsbyggnadsteknik och Samhällsbyggnadsteknik, högskoleingenjör

SUDENAZ TATAR KARAKAYA
IDA THOLIN

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2025
www.chalmers.se

Trafikverkets väg mot målet: en klimatneutral infrastruktur 2040

SUDENAZ TATAR KARAKAYA
IDA THOLIN

TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
Avdelning för miljösystemanalys
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2025

Trafikverkets väg mot målet: en klimatneutral infrastruktur 2040

SUDENAZ TATAR KARAKAYA
IDA THOLIN

© SUDENAZ TATAR KARAKAYA, 2025
© IDA THOLIN, 2025

Teknikens ekonomi och organisation
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Sverige
Telefon + 46 (0)31-772 1000

Göteborg, Sverige 2025

FÖRORD

Detta arbete har utförts av Sudenaz Tatar Karakaya och Ida Tholin under vårterminen 2025. Examensarbetet avser en kandidatexamen från programmen “Affärsutveckling och Entreprenörskap inom Samhällsbyggnadsteknik” och “Samhällsbyggnadsteknik, högskoleingenjör” vid Chalmers tekniska högskola belägen i Göteborg. Arbetet är skrivet inom Teknikens ekonomi och organisation och omfattar 15 högskolepoäng som utförts på halvfart under 20 veckor.

Vi vill tacka vår handledare och examinator Anna Nyström Claesson, universitetsadjunkt på Chalmers tekniska högskola, för feedback och vägledning under arbetets gång. Vi vill även tacka Trafikverket i stort, men även rikta ett särskilt tack till Martin Holmstedt och Lena Engberg, miljöspecialister på Trafikverket, som agerat handledare för detta arbete.

Slutligen riktas även ett tack till våra opponenter Jacob Mattsson och Moa Cesar som bidragit med meningsfulla insikter och detaljer för att förbättra arbetet.

Göteborg Juni 2025

Sudenaz Tatar Karakaya, Ida Tholin

SAMMANFATTNING

Ett av samhällets största utmaningar är klimatförändringar, där infrastrukturbranschen har en viktig roll i att minska växthusgasutsläppen. Trafikverket har som mål att bli klimatneutrala till 2040, vilket innebär att nå målet fem år tidigare än det nationella målet i Sveriges politiska ramverk. Cirkulär ekonomi och ett livscykelperspektiv kommer vara centrala strategier i studien och det krävs nya sätt att tänka för materialanvändning.

Infrastrukturprojekt använder stora mängder material i ett linjärt materialsystem, dvs. utvinning av råvara, användning och avfallshantering. För att förebygga detta behöver flödena ställas om till mer cirkulära alternativ där målet är att materialflöden för produkter och komponenter ska återanvändas eller återvinnas. Trafikverket behöver i en cirkulär ekonomi utveckla system för spårning och rapportering av materialflöden, enligt EU's avfallsdirektiv (Europeiska unionen, 2008) för att identifiera resurser som bidrar till Trafikverkets klimatmål.

Syftet med studien är att undersöka olika material och tekniker inom väginfrastrukturprojekt för att utvärdera livscykeltänkande (LCT) för att skapa cirkulära flöden.

Den viktigaste slutsatsen var behovet av samordning mellan aktörer och förändring i rutiner och arbetssätt för en lyckad cirkulär omställning. Studien bygger på intervjuer och tidigare studier om cirkulär ekonomi och infrastruktur. Studien är avgränsad till svensk infrastruktur.

Ämnesord: cirkulär ekonomi, hållbar infrastruktur, återbrukspotential och klimatpåverkan i väginfrastrukturens komponenter.

ABSTRACT

One of society's biggest challenges is climate change, where the infrastructure industry has an important role in reducing greenhouse gas emissions. The Swedish Transport Administration aims to become climate neutral by 2040, which means reaching the goal five years earlier than the national target in Sweden's policy framework. Circular economy and a life cycle perspective will be central strategies in the study and new ways of thinking about material use are required.

Infrastructure projects use large amounts of material in a linear material system, i.e. extraction of raw materials, use and waste management. To prevent this, flows need to be changed to more circular alternatives where the goal is that material flows for products and components should be reused or recycled. In a circular economy, the Swedish Transport Administration needs to develop systems for tracking and reporting material flows, according to the EU's Waste Directive (European Union, 2008) in order to identify resources that contribute to the Swedish Transport Administration's climate goals.

The purpose of the study is to investigate different materials and technologies within road infrastructure projects to evaluate life cycle thinking (LCT) to create circular flows.

The most important conclusion was the need for coordination between actors and change in routines and working methods for a successful circular transition. The study is based on interviews and previous studies on circular economy and infrastructure. The study is limited to Swedish infrastructure.

Keywords: circular economy, sustainable infrastructure, reuse potential, climate impact in road infrastructure components.

Innehållsförteckning

FÖRORD v
SAMMANFATTNING vi
ABSTRACT vii
1. Inledning 10
1.1 Syfte 10
1.2 Precisering av frågeställning 10
1.3 Avgränsning 10
2. The Green Deal, hållbar materialhantering och omställning 11
2.1 The Green Deal 11
2.1.1 Strategier i The Green Deal 11
2.1.2 Direktivet om avfallshierarkin 13
2.1.3 Direktivet om cirkulär ekonomi 13
2.1.4 Eurokoder 14
2.2 Livscykeltänkande och tillämpningar 14
2.2.1 Flödesschema som verktyg för att förstå cirkulär ekonomi 15
2.2.2 Re-strategier, och cirkulära flöden av material och avfall 16
2.3 Trafikverket, infrastruktur och cirkulära materialflöden 18
2.3.1 Trafikverkets uppdrag och organisation 18
2.3.2 Materialanvändning i väginfrastrukturprojekt 18
2.3.3 Miljöarbete på Trafikverket 20
2.3.4 Fyrstegsprincipen och styrmedel i klimatomställningen 21
2.3.5 Design for deconstruction (DfD), BIM och konsekvenser för byggbranschen 22
2.3.6 Effekter av The Green Deal på bygg och anläggningsbranschen 23
2.4 Mängddata 24
3. Metod 26
3.1 Datainsamling 26
3.1.1 Skriftliga dokument 26
3.1.2 Intervjuer 26
3.1.3 Beräkningsmodeller 27
3.2 Databearbetning 28
3.2.1 Transkribering av intervjuer 28
3.2.2 Beräkningar 28
4. Resultat 30
4.1 Informanternas perspektiv 30
4.1.1 Material 30
4.1.2 Komponenter 30
4.2 Informanternas perspektiv på styrning, upphandling, lager och logistik 31
4.2.1 Styrning 32

4.2.2 Upphandling 32
4.2.3 Lager och logistik 33
4.3 Beräkningsmodeller 33
4.3.1 Belysningsstolpar 34
4.3.2 Betongfundament för lyktstolpar 35
5. Analys 37
5.1 Material och tekniker i väginfrastruktur lämpade för cirkulära flöden 37
5.1.1 Material med hög cirkulär potential 37
5.1.2 Design för demontering 38
5.1.3 Digitala verktyg och materialspårning 38
5.1.4 Logistik och samordning 38
5.1.5 Tidsfaktorn som cirkulär resurs 39
5.2 Att genomföra livscykeltänkande (LCT) i praktiken 39
5.2.1 Tidig integrering utefter fyrstegsprincipen 39
5.2.2 Roller och ansvar för cirkularitet 40
5.2.3 Upphandlingens strategiska funktion 40
5.2.4 Mätbarhet, överblick och systematik 41
5.2.5 Kulturella normer, kompetens och organisatoriska inlåsningar 41
6. Diskussion 42
6.1 Styrkor och svagheter 42
6.1.1 Litteratur 42
6.1.2 Antaganden 42
6.1.3 Metodval 42
6.1.4 Tillförlitlighet i data 43
6.1.5 Generaliserbarhet 43
6.2 Bidrag till ämnesområdet 43
6.2.1 Kunskap som studien bidragit med som tidigare saknats 43
6.2.2 Resultat som motsäger eller styrker tidigare studier 43
7. Slutsatser 44
7.1 Förslag på fortsatta studier 45
8. Referenser 46
Appendix 56

1. Inledning

Europas gröna giv, EU:s Green Deal, innehåller klimatorienterade strategier för en omställning av europeisk industri som skall bidra till klimatneutralitet 2050. Strategierna riktar in sig mot olika områden t.ex. transporter, energi, material och produkter. I strategin för cirkulär ekonomi är Europas industrier materialhantering i fokus eftersom materialhantering ofta har stor miljöpåverkan. Omställningsramar beskrivs med nya direktiv och regelverk med krav på att medlemsländer och i cirkulär ekonomi direktivet förväntas verksamheter skapa spårbara materialflöden och redovisa återbruk av resurser.

I en linjär ekonomi, ofta kallad ett "slit-och-släng-samhälle", utvinns stora mängder naturresurser som omvandlas till produkter. När produkterna inte längre är önskvärda blir de avfall i naturen eller behöver hanteras av samhället (Naturskyddsföreningen, 2021). Livscykeltänkande är centralt i Cirkulär ekonomi för en ökad materialhantering och minska avfallet genom att identifiera sätt att behålla material i kretsloppet. Åtgärder som samtidigt minska klimatpåverkan och skapar långsiktig ekonomisk, social och ekologisk stabilitet. Detta förutsätter att materialhanteringsstrategier används redan i planeringsskedet för att förlänga livslängden på komponenter och effektivisera resursanvändningen.

I Trafikverkets myndighetsuppdrag ingår att ställa om till cirkulär materialhantering i väginfrastrukturprojekt med målet att nå klimatneutralitet till 2040. Klimatneutralitet innebär nettonollutsläpp av växthusgaser i bygg- och infrastruktursektorn genom att kraftigt minska utsläppen av växthusgaser för att bidra till Sveriges klimatmål. I EU’s cirkulära åtgärdsplan förväntas väginfrastruktur ställa om från linjära till cirkulära flöden. Väginfrastrukturprojekt använder stora mängder material som sällan återbrukas trots att möjligheterna är stora för ett ökat återbruk, materialåtervinning och slutna kretslopp. För att kunna skapa slutna materialsystem behöver Trafikverket analysera användningen av vanliga material i väginfrastruktur och förstå hur materialen kan hanteras mer cirkulärt.

1.1 Syfte

Syftet med studien är att undersöka olika material och tekniker inom väginfrastrukturprojekt för att utvärdera livscykeltänkande (LCT) för att skapa cirkulära flöden.

1.2 Precisering av frågeställning

- Vilka material och tekniker i väginfrastruktur lämpar sig för cirkulära flöden utifrån ett livscykelperspektiv?
- Vad krävs för att ett livscykeltänkande ska kunna implementeras i praktiken inom väginfrastrukturprojekt?

1.3 Avgränsning

Rapporten är avgränsad till väginfrastruktur och behandlar de mest förekommande materialen i vägprojekt dvs. stål, betong och aluminium. Övriga material (asfalt, schaktmassor och armering) kommer att hanteras översiktligt. Möjligheterna för ”Väginfrastruktur” att skapa slutna materialsystem beror på att konstruktionerna har lång livslängd och klimat- och miljöpåverkan från materialhanteringen är stor.

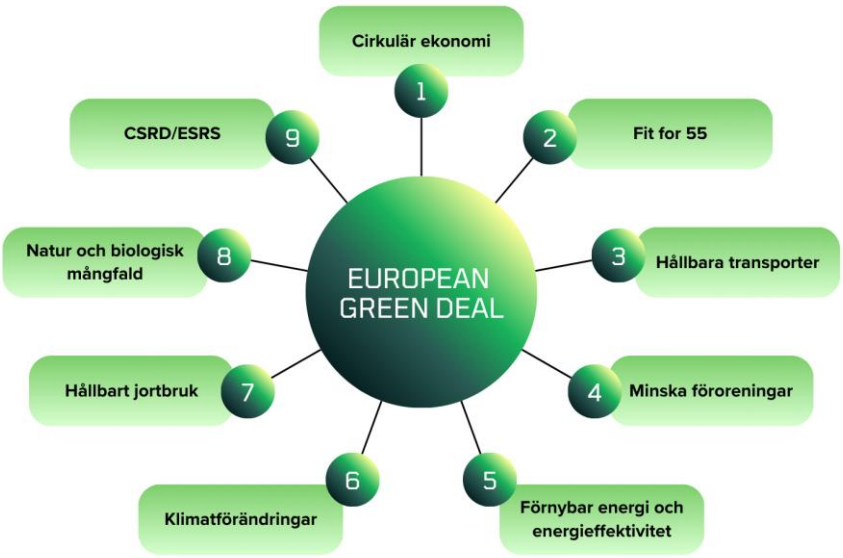
2. The Green Deal, hållbar materialhantering och omställning

2.1 The Green Deal

The Green Deal är en övergripande tillväxtstrategi med målet att göra Europa klimatneutralt till 2050. Strategins mål är att möjliggöra en hållbar ekonomisk omställning genom minskade utsläpp av växthusgaser, effektivare resursanvändning och stärkt skydd för ekosystem. Målet är att EU ska bli världens första klimatneutrala region (Europeiska unionen, 2020).

2.1.1 Strategier i The Green Deal

För att genomföra målen inom EU's Green Deal (figur 1) har ett antal strategier tagits fram som vägleder klimatomställningen inom hela unionen (Europeiska kommissionen, 2019). Målen omfattar områden som energi, industri, transporter, markanvändning och resurseffektivitet. Strategierna fungerar som ramverk för lagstiftning, styrmedel och uppföljning, vilket får direkt påverkan på planering, upphandling och genomförande. En central del i Green Deal är utvecklingen av en cirkulär ekonomi (Europeiska unionen, 2020) genom att effektivisera produktens livscykel från utvinning till avfall som behåller materialets värde och funktion genom återbruk eller återvinning. För väginfrastruktursektorn innebär skärpta krav på materialhantering (Europeiska unionen, 2018) att uppföljningen av produktlivscykels resursanvändning och miljöbelastning blir central (Zacharia, 2025)



Figur 1: strategier som The Green Deal bygger på

Fit for 55 är en viktig del av klimatlagstiftningen och bidrar med åtgärder för att minska växthusgasutsläppen till 2030 med minst 55% och bidra till klimatneutralitet 2050 (European Council, 2025). I strategin finns direktiv för *Emission trading system* (ETS) som är juridiskt bindande. I dagligt tal kallas ETS för handel med utsläppsrätter. Målet i ETS är att europeisk industri skall minska växthusgasutsläppen genom att i första hand energieffektivisera och i andra hand köpa och sälja utsläppsrätter. ETS omfattar bl.a transport-, sjöfart-, flyg-, energi- och byggindustrierna. För att stabilisera marknaden finns EU's moderniserings- och innovationsfond.

Strategin för hållbara transporter innebär att minska transportsektorns utsläpp med upp till 90% till 2050 (European Council, 2025). För att nå målet följer flera delmål som innebär att alla nya person-

bilar, stadsbussar och lätta transportbilar ska vara utsläppsfria från 2035 och att tunga fordon ska minska med 45% till 2030. *Euro-7* förordningen fokuserar på utsläppsminskningar från fordon av partiklar från bromsar, däck och batterier genom att styra transporterna mot utsläppssnåla fordon och järnväg. Målet förutsätter en utökning av antalet ladd- och tankstationer med biobränsle i hela EU. Målet omfattar också en ökad användning av hållbara bränslen inom flyg- och sjöfartsindustrin.

Att förhindra föroreningar där de uppstår är en prioritering i EU (European Council, 2025). Målet 2050 är att minska luft-, vatten- och markföroreningar till en föroreningsnivå som varken skadar människors hälsa eller naturens ekosystem. Verksamhetsutövaren är ansvarig för att åtgärda eventuella skador. Gränsvärden för luftföroreningar bidrar till att skapa en god luftkvalitet. Ramverket för skydd av vatten och mark har som mål att bevara och återställa jordar till 2030. Andra åtgärder är t.ex förbud mot vissa plasttyper, strikta kemikaliehantering av farliga kemikalier och effektiv avfallshantering, regler avseende utsläpp från industrer och föroreningar orsakade av transporter.

Energianvändning och energiproduktion står för ca 75% av EU's totala växthusgasutsläpp, vilket gör utsläppsminskningar nödvändiga (European Council, 2025). Förnybar energi och energieffektivitet är viktiga verktyg i arbetet. Målet är att minst 42,5% av energin ska komma från förnybara källor till 2030, men det finns en ambition att nå 45%. Energiförbrukningen ska minska med 11,7%, vilket både bidrar till lägre utsläpp och minskad energianvändning. EU satsar på grön vätgas och effektivare energisystem för att minska beroendet av fossil energi och import av gas från Ryssland och Vitryssland. Andra satsningar är att bygga ut förnybara energikällor som vind-, sol- och biokraft.

EU's råd för miljö och jordbruk har antagit flera strategier och lagar för att göra jordbruket mer hållbart (European Council, 2025). Genom *Nature restoration law* har EU infört bindande krav på att återställa jordbruksmarker och skogar. Lagen kräver att medlemsländerna återställer 30% av torv-marker till 2030. Den gemensamma jordbrukspolitiken för 2023-2027 styr om stöden till ett mer hållbart jordbruk där minst 40% av budgeten går till klimatåtgärder t.ex. skydd av våtmarker och grön gödsling. Minst 25% av EU's stöd går till lantbrukare ersättning för att göra miljöinsatser utöver lagkraven s.k. *eco-schemes.* Jordbruksstrategin *Farm to fork*-strategin har målet återställa ekosystemen och begränsa användningen av bekämpningsmedel för att skapa hållbara livsmedelssystem.

Välfungerande ekosystem innehåller biologisk mångfald, olika naturtyper och stor artvariation som behöver återställas och skyddas (Jordbruksverket, 2025; European Council, 2025). EU's *Fågels- och habitatdirektiven* innehåller för skydd av arter och deras livsmiljöer. (European Council, 2025). *Natura 2000* är ett nätverk av skyddade naturområden i EU (Naturvårdsverket, 2024a). I *Återställa land- och havsområden* skall EU's medlemsländer restaurera minst 20% av skadade ekosystemen i land -och havsområden till 2030 och samtliga ekosystem till 2050 (European Council, 2025). Bland åtgärderna för att minska förlusten av biodiversitet ingår bl.a att stärka pollinatörer, skydd för avskogning, återställa jordhälsa, förbättra vattenkvaliteten och grönare städer.

Uppföljningen av klimatomställning och hållbar utveckling rapporteras enligt *Corporate Sustainability Reporting Directive* (CSRD) och *European Sustainability Reporting Standards* (ESRS). I ESRS redovisar företag hur verksamheten bidrar till klimatmål, resurshållning och riskhantering (EFRAG, 2022). Rapporteringskraven innebär att hållbarhetsinformationen skall vara transparent, likvärdig och jämförbar och gäller för stora företag från 2025. Företag rapporterar enligt ESRS med indikatorer för klimatpåverkan, biologisk mångfald, cirkulär ekonomi och arbetsvillkor. Kraven omfattar ett strikt förhållningssätt till datainsamling, spårbarhet och transparens i leverantörskedjan.

Klimatstrategin innehåller *Biodiversitetsstrategin*, *Klimatanpassningsstrategin.* Målet i Biodiversitetsstrategin är att bevara naturvärden och återställa ekosystem. Strategin påverkar infrastrukturprojekts lokalisering och utformningen (European Commission, 2020) eftersom vägen behöver anpassas till viktiga naturvärden och spridningskorridorer för djur och växter mellan olika landskapsmiljöer och naturliga vattenflöden. I Miljöbedömningar utvärderas miljöpåverkan av infrastrukturprojekt och beredskap och anpassning av infrastruktur till extremväder genom att integrera klimatrisker i all planering och investering för att minska sårbarheten i kritisk väginfrastruktur.

2.1.2 Direktivet om avfallshierarkin

Centralt i The Green Deal är omställningen till bättre resurshantering av material och energi. Europas första avfallsdirektiv kom 2008 (Naturvårdsverket, 2025) och har sedan dess utvecklats från att förebygga avfall till att öka resurshanteringen i industrin och samhället. Modellen har en framträdande roll i både EU's avfallsdirektiv och i nationella styrdokument t.ex. Sveriges nationella avfallsplan 2024 (Naturvårdsverket, 2025). Översta nivån i avfallshierarkin (figur 2), *Förebygga*, beskriver aktiviteter som bidrar till att förebygga avfall genom att produkter behåller både funktion och materialvärdet (figur 2). Nivå två *återanvändning* innebär att produkter hanteras för att användas igen, t.ex. komponentvård, rengöring eller enklare reparationer (Naturvårdsverket, 2025). Tredje nivån, *materialåtervinning*, innebär att material återförs till produktionsflödet i ny form t.ex. smältning, krossning och biologisk behandling. Produkten behåller materialvärdet men har förlorat funktionen. Återvinning bör genomföras geografiskt nära avfallets uppkomst för att begränsa miljöpåverkan från transporter och minska risken för föroreningar (Naturvårdsverket, 2025). Längre ner i hierarkin finns *energiåtervinning*, dvs återvinning av avfallets energi ur material inte går att återbruka eller återvinna (Naturvårdsverket, 2025). Svensk energiåtervinningen bidrar till fjärrvärmesystemet bl.a genom import av hushållsavfall (Svensson, 2025) men bidrar också med koldioxidutsläpp från t.ex. plastförbränning. Det sista steget *Deponering* bör undvikas eftersom det innebär materialet försvinner ur kretsloppet och slutlagras i marken (Naturvårdsverket, 2025). I Sverige finns över 240 aktiva deponier som tar emot farligt avfall t.ex. impregnerat trä, kemiska ämnen och asbest. Trots deponiskatt och lagstiftning för återbruk deponeras fortfarande gruvavfall och byggrester

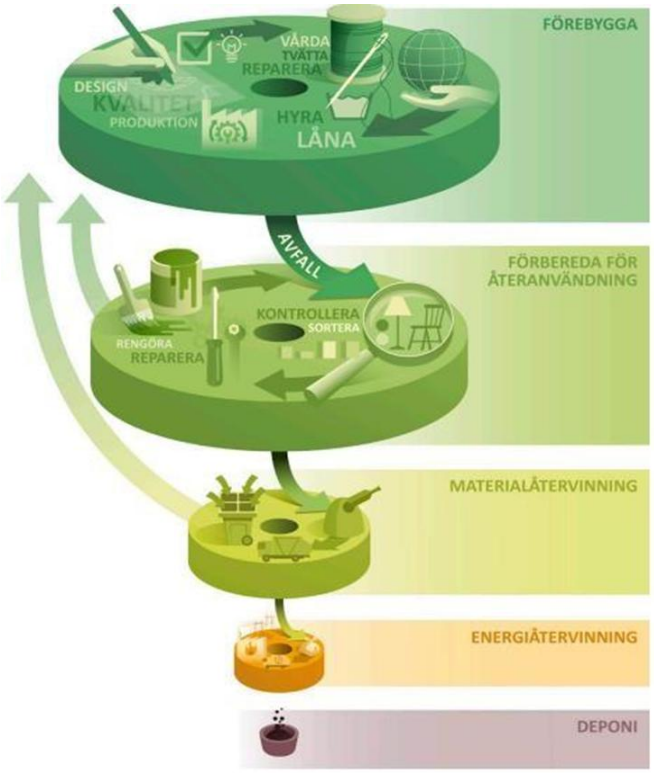
2.1.3 Direktivet om cirkulär ekonomi

I en linjär ekonomi uppstår enligt EU's handlingsplan 80% av produktens miljöbelastning i designfasen. I ramverket för Europas Green Deal beskrivs behovet av att behålla produkters material och funktion så länge som möjligt för att skapa en cirkulär ekonomi (Europeiska kommissionen, 2019). Direktivet för cirkulär ekonomi förespråkar resurseffektiva processer och att förlänga produktens livslängd för att minska konsumtionen av jungfrulig råvara och naturresursbehov. I handlingsplanen för cirkulär ekonomi kommer Europas ekonomiska system ställas om till ökat återbruk och hållbar materialhantering. Europeisk industri förväntas också ställa om med målet att "skapa ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa". (Europeiska kommissionen, 2020a)

I handlingsplanen för cirkulär ekonomi identifieras hållbar produktdesign, miljömärkning och offentlig upphandling som tre viktiga verktyg i omställningen. Det finns inom hållbar produktdesign ett existerande direktiv för *Eco design* som kommer att stärkas och utökas till att omfatta hela produktens livscykel från vagga till grav. I kartläggningen av materialflöden och resurshantering kommer LCA bli ett viktigt verktyg för uppföljning av materialhanteringen i värdekedjan. Detta innebär att byggnader och produkter redan i idéskedet designas för att enkelt tas isär utan att komponenternas funktion förändras, vilket möjliggör återvinning och återbruk (Xiao, 2017).

Andra verktyg är miljömärkningarna EU-blomman och Miljövarudeklarationer. EU-blomman används för hushållsprodukter, t.ex. tvättmedel och mat och miljövarudeklarationer används mellan företag och myndigheter i upphandlingar av t.ex. infrastruktur och offentliga tjänster (EU kommissionen, 2020). Upphandling innebär att en aktör köper in varor eller tjänster och konkurrerar med bästa projekt till lägsta kostnad (Upphandlingsmyndigheten, u.å a). I upphandlingen kan beställaren ställa krav t.ex. återvunnet material, reparerbarhet eller att leverantörer tar hand om funktionsdugliga produkter för att öka resursanvändning. Vidare diskuterar EU-kommissionen att definiera hållbarhetsprinciper genom att t.ex. öka mängden återvunnet material i produkter, möjliggöra återtillverkning, begränsa engångsprodukter, digitalisera produktinformation och modeller där producenter behåller ägandet under produktens livscykel. I handlingsplanen identifieras

produktgrupper av särskild vikt, t.ex. elektronik, informationsteknik, batterier, fordon, förpackningar, plast, textilier, byggnader och livsmedel (EU kommissionen, 2020).



Figur 2: EU:s avfallshierarki. Källa: Naturvårdsverket, 2024b.

2.1.4 Eurokoder

Eurokoder är en standard med ett gemensamt tekniskt regelverk som används i stora delar av Europa för att planera, dimensionera och kontrollera bärande konstruktioner som bostäder, broar, väganläggningar och andra typer av byggnadsverk. Målet är att det blir enklare att tänka på ett nytt sätt, hålla nere kostnaderna och se till att reglerna följs på ett tydligt och rättvist sätt (Boverket, 2024a). Standarderna ger tydliga riktlinjer för hur hållfasthet, stabilitet och säkerhet i användningen av material och komponenter. Eurokoderna säkerställer konstruktionens prestanda under hela den tekniska livslängden för belastningar och påfrestningar t.ex. kraftig vind, snöfall och tung trafik (European Commission, u.å.c). Eurokoderna bidrar också till och möjliggör samarbete mellan olika aktörer i internationella projekt och tekniska bedömningar blir enklare att jämföra.

Boverket ansvarar för att införa och anpassa Eurokoderna till ett svenskt arbetssätt (Boverket, 2024b). Regelverket EKS är ett komplement till Eurokoderna som gör att regelverket effektivt anpassas utifrån svenska förutsättningar. “Boverkets föreskrifter om tillämpning av Eurokoder” anger nationellt bestämda krav som justerar delar av regelverket till svenska klimat- och markförhållanden som snölaster, snabba temperaturväxlingar och vindförhållanden. Eurokoder används som tekniska standarder för att säkerställa kvaliteten på återbrukade komponenter genom att bedöma om de uppfyller befintliga säkerhetskrav (Boverket, 2024a). Förutsättningar för framtida återbruk och återvinning i nya projekt börjar redan i projekteringen med att välja material med dokumenterade egenskaper och tydlig spårbarhet (Boverket, 2023).

2.2 Livscykeltänkande och tillämpningar

Cirkulär ekonomi bygger på ett livscykeltänkande (LCT), ett kvalitativt perspektiv på

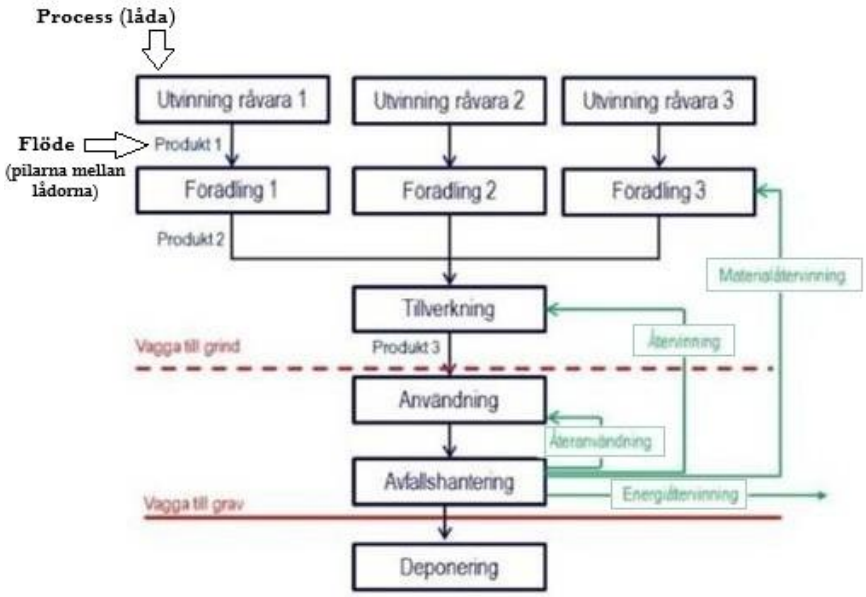
produktlivscykeln, dvs. att identifiera och beskriva materialens miljöpåverkan från råvaruutvinning till avfallshantering. Tankesättet tar ett helhetsperspektiv och ett kritiskt förhållningssätt till produkter och tjänsters miljöbelastning i olika delar av livscykeln en miljövinster i en del av livscykeln kan bli en miljöbelastning i en annan del av kedjan. En tillämpning av LCT är Livscykelanalyser (LCA) som kvantifierar miljöbelastningen som bidrar till ökad återanvändning och resurseffektivitet (Hauschild et al., 2018). Ett samhälle med en linjär ekonomi kallas för ett "slit-och-släng-samhälle" (Naturskyddsföreningen, 2021). Råvaruutvinningen använder stora mängder naturresurser som skapar avfall både i naturen och samhället. Den linjära ekonomin har öppna kretslopp till skillnad från den cirkulär ekonomis mål att sluta kretsloppen för att bevara värdet och funktionen i produkter för att undvika avfall. (Naturskyddsföreningen, 2021).

LCT beskrivs i European Green Deal som en viktig komponent för att skapa cirkulära materialflöden (Europeiska kommissionen, 2019) och bör integreras i planeringsprocessen för att bidra till hållbar resurshantering och på sikt bättre ekonomisk lönsamhet. Materialvalens dimensionering kan ge möjlighet att integrera ekologiska värden, utöver initiala kostnader eller tekniska krav. Det skulle också ge möjlighet för framtida miljömässiga och ekonomiska värden. Avsnittet kommer att ge en överblick för LCT och olika strategier för återbruk.

2.2.1 Flödesschema som verktyg för att förstå cirkulär ekonomi

Ett flödesschema är ett diagram som visar hur en produkts produktionsprocess ser ut och används ofta för att planera, dokumentera eller förbättra processer. Diagrammen har som syfte att vara tydliga och enkla att uppfatta, eftersom det kan vara en visualisering av oftast komplexa processer och flöden (Lucidchart, u.å). En process är en aktivitet som bearbetar materialet och ett flöde beskriver hur materialet har förändrats i de olika processerna till en produkt (figur 3). Det är vanligt att processer beskrivs med lådor och materialomvandlingen med pilar. Processer som sluter kretslopp är t.ex. återvinning eller återbruk. I ett slutet kretslopp flödar materialet tillbaka i processträdet och bidrar till att minimera avfall och maximera resursanvändningen (Endress & Hauser, u.å).

LCA beskrivs med systemgränserna Vagga-till-grav, Vagga-till-grind och Vagga-till-vagga (Zacharia, 2025). Systemgränserna definierar vilken del av en produkts livscykel som ingår i analysen. Vagga-till-grav beskriver miljöbedömningen för produkters hela livscykel, från råvaruutvinning till avfallshantering (figur 3). Vagga-till-grind beskriver miljöbedömning för råvaruutvinning t.o.m. tillverkningsprocessen (Zacharia, 2025). I ett Vagga-till-Vagga perspektiv ingår material- flödets återvinningsprocesser (Rockpanel, u.å). Cirkulär ekonomi använder ett vagga-till-vagga perspektiv dvs. materialhantering som förlänger livslängden hos material och produkter i omlopp.



Figur 3: En generell bild av ett flödesschema

2.2.2 Re-strategier, och cirkulära flöden av material och avfall

Slutna kretslopp för ett hållbart samhälle kräver cirkulära strategier för att ställa om produktionssystemen i EU. Flödesschemat (figur 3) beskriver olika återvinningsprocesser som också används i avfallshierarkin. RE-strategierna (tabell 1) är ett verktyg för att identifiera områden för tydligare materialhantering och slutna kretslopp dvs. bevarar material och komponenter i systemet så länge som möjligt (Endress & Hauser, u.å). RE-strategierna är starkt förankrade i the EU's strategier och handlingsplaner (Europeiska unionen, 2019 & Europeiska unionen, 2020).RE-strategiernas syfte är att bevara värdet i produkter, komponenter och material så länge som möjligt och förhindra avfall genom att återanvända, återvinna eller återtillverka.

Varje strategi representerar en åtgärd med varierande grad av resurseffektivitet (tabell 1). Antalet strategier i R-listan har vuxit över tid. Ursprungligen användes tre grundläggande principerna den kallade 3R-modellen *Reduce, Reuse och Recycle*, som vägledande i policyer och i utbildnings-sammanhang. Med ökad förståelse för den cirkulära ekonomis flöden har listan expanderat till 6R, 9R och upp till 11R i forskningslitteraturen för att inkludera fler nyanser av värdebevarande aktiviteter och resursoptimering. Tilläggen speglar ambitionen att bättre kunna rangordna åtgärder efter hur mycket funktionellt, tekniskt och ekonomiskt värde som bevaras (Reike et al., 2018).

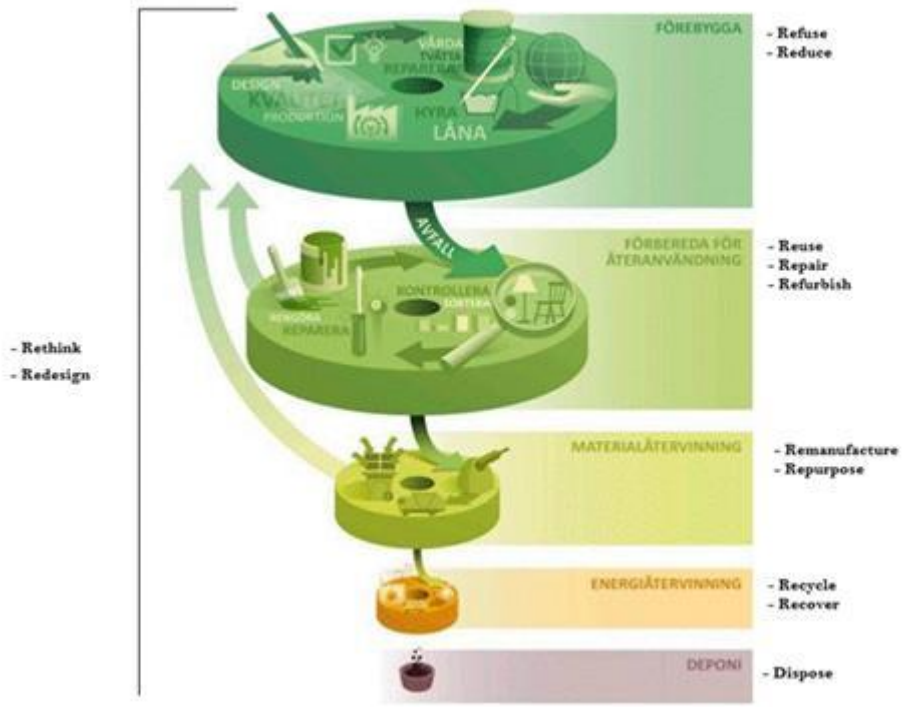
Förutom att fungera som praktiska riktlinjer kan RE-strategierna också användas för att identifiera förbättringsområden i produkt- och systemdesign. En kortare lista med färre RE-strategier kan förbise mellanled som är särskilt viktiga i komplexa system medan en längre lista kan förvirra användaren och göra det svårt att avgöra vilken strategi som bör användas. RE-strategier är användbara i olika situationer och antalet RE-strategierna bestäms baserat på den aktuella situationen. För många RE-strategier utan tydlig användning kan visa engagemang för hållbarhet och bra i marknadsföringen men skapar lite förändring i resurshanteringen vilket minskar cirkulariteten (Kirchherr et al., 2017).

Kombinationen av flödesschemat, avfallshierarkin och RE-strategierna skapar ett integrerat ramverk. Flödesschemat beskriver logiken bakom avfallshierarkin och RE-strategierna. Tillsammans bildar de ett helhetsverktyg för att styra, utvärdera och kommunicera hållbarheten i bygg- och infrastrukturprojekt. För att nå verklig cirkularitet krävs att perspektiven används parallellt och inte isolerat. Avfallshierarkin ger den principiella prioriteringen av åtgärder, från förebyggande till deponi, medan RE-strategierna fungerar som praktiska verktyg för att genomföra åtgärderna i praktiken. Modellen hjälper till att konkretisera vad som ska göras, i vilken ordning och hur resurser ska hållas kvar i kretsloppet så högt upp i värdekedjan som möjligt. Genom att RE-strategierna kopplas till varje

nivå i avfallshierarkin kan åtgärder som håller material och komponenter kvar i kretsloppet identifieras och vilka som leder till förlust av värde (figur 4).

Refuse	*Undvik att skapa avfall genom att avstå från onödiga produkter och material.*
Reduce	*Minska mängden material eller energi som används.*
Rethink (och Redesign)	*Ompröva användning och ta hänsyn till design för ökad resurseffektivitet.*
Reuse	*Minimera användning av material och energi vid tillverkning och användning.*
Repair	*Förläng produktlivslängd genom reparation.*
Refurbish	*Återställ produkter till funktionsdugligt skick.*
Remanufacture	*Bygg om delar av en produkt till ursprungligt skick.*
Repurpose	*Återanvänd produkter i ett nytt syfte.*
Recycle	*Material återvinns för att skapa nya produkter.*
Recover	*Utvinn energi från avfall genom exempelvis förbränning.*
Dispose	*Deponera avfall som inte kan hanteras på annat sätt.*

Tabell 1 (Reike et alt., 2018; Grow circular, u.å; Boreland et alt., 2019)



Figur 4: EU's avfallshierarki med RE-strategier kopplade till varje nivå (Naturvårdsverket, 2024b).

Ett konkret exempel på är en betongbro som ursprungligen byggts för biltrafik, men som senare omvandlas till gång- och cykelbro i stället för att rivas (figur 4). Processen är ett exempel på *Redesign*, där konstruktionen redan från början planeras för att kunna anpassas, återbrukas och förändras över tid. I planeringsskedet används strategierna *Refuse* och *Reduce*, där onödiga funktioner i designen undviks och brodimensioneringen optimeras med prefabricerade delar för att minska materialåtgången. Samtidigt används *Rethink* för att möjliggöra framtida ombyggnad, t.ex. genom att välja bärverk och material som enkelt kan demonteras och återmonteras. När bron ska tas ur sin ursprungliga användning tillämpas återanvändningsstrategier. *Reuse* möjliggör att bärande delar och kantbalkar återanvänds på nytt utan större skador. Mindre reparationer genomförs med *Repair*, medan *Refurbish* används för att exempelvis måla om och fräscha upp räcken. Om vissa delar kräver

uppgradering används *Remanufacture*, t.ex. för att återinstallera en gammal lagerkomponent som nu får förlängd livslängd i den nya gångbron.

Recycle innebär att produkten förlorat funktionen, men behåller råvaruvärdet, t.ex. komponenterna behöver bytas, krossad betong blir vägmaterial eller återvinna stål. Integrerade produkter som kablar med både metall och med plastisolering går att separera. Metallen materialåtervinns dvs. *Repurpose* och skickas plastisoleringen till energiåtervinning, dvs. *Recover*. Slutligen, om material som inte kan återanvändas, återvinnas eller förbrännas behöver materialet deponeras, dvs. *Dispose*. För att strukturera och prioritera RE-strategierna på ett mer tillämpningsbart sätt används ibland en indelning i tre huvudnivåer (Boreland et al., 2019):

- Smart resursanvändning: *Refuse, Reduce, Rethink.*
- Livslängdsförlängning: *Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture.*
- Material-och energiåtervinning: *Repurpose, Recycle, Recover.*

2.3 Trafikverket, infrastruktur och cirkulära materialflöden

Trafikverket har en central roll i Sveriges omställning till en cirkulär ekonomi inom infrastruktur-området både som offentlig beställare och strategisk samhällsaktör (Trafikverket, 2023). Myndigheten påverkar inte bara sina egna projekt utan också förutsättningarna för hela branschens utveckling genom krav, riktlinjer och upphandlingar. Hur uppdraget formuleras, tolkas och organiseras påverkar möjliga cirkulära flöden. Genom att tidigarelägga myndighetens klimatmål med fem år visar Trafikverket ambitionen att vara en ledande aktör i klimatomställningen i infrastruktursektorn och bli mer resurseffektivt. Målet är kopplat till Sveriges nationella klimatmål om nettonollutsläpp av växthusgaser till 2045, vilket fastställdes av riksdagen i samband med det klimatpolitiska ramverket och regleras genom klimatlagen (2017:720). Trafikverket har också i uppdrag att bidra till miljömålen “God bebyggd miljö” och “Giftfri miljö”, vilket ställer ytterligare krav på hållbar materialhantering.

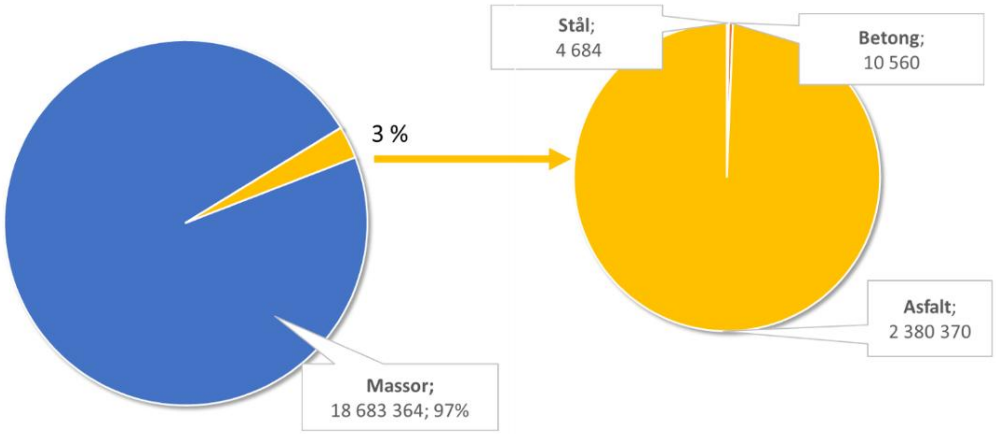
2.3.1 Trafikverkets uppdrag och organisation

Trafikverkets uppdrag är att skapa ett tillgängligt och hållbart transportsystem och att bidra till Sveriges klimatomställning med målet att bli klimatneutralt till 2045. Det är också att leverera funktionell väginfrastruktur och ta en aktiv roll i att driva utvecklingen mot mer hållbara materialflöden och minskade avfallsmängder genom hela väginfrastrukturprojektens livscykel. Trafikverket är en offentlig strategisk samhällsaktör som påverkar olika infrastrukturprojekt för land- (väg och tåg), luft-, och sjötransporter. Som beställare av infrastruktur kan Trafikverket också påverka utformningen av infrastrukturen och ställa miljökrav på genomförande i upphandlingar. Inom väginfrastruktur innebär det att projekt inte enbart styrs av tekniska och ekonomiska mål (KPMG, 2022). Även om Trafikverket inte omfattas av CSRD, behöver de säkerställa att nya standarder för hållbarhetsredovisning efterlevs och därigenom driva hela branschen mot ökad cirkularitet. I takt med att klimat- och resursfrågor blivit mer centrala har ansvaret också utökats till att omfatta omställningen till en cirkulär ekonomi, där resurser används effektivt och material hålls i omlopp, vilket kräver en genomgripande omställning av både materialanvändning och processer.

2.3.2 Materialanvändning i väginfrastrukturprojekt

Det finns stora möjligheter att förbättra cirkulariteten inom svensk infrastruktur, men det förutsätter utveckling av uppföljningssystem, styrning och praktiska verktyg. Trafikverket genomförde kartläggningar av materialflöden i väg- och järnvägsprojekt och identifierade stora volymer av betong, stål, aluminium, asfalt och schaktmassor (Trafikverket, 2023). I ett vägprojekt användes ca 66 000 ton

betong, 1 800 ton stål, över 100 000 ton asfalt och 400 000 ton schaktmassor (Trafikverket, 2023). Skillnaderna mellan materialgrupperna beskriver behovet av materialanpassade strategier för ökade cirkulära materialflöden (figur 5).



Figur 5: Sammanställning av total materialanvändning i projekt, fördelat på materialkategori.

Betong används t.ex. i fundament för belysningsstolpar och bro- och tunnelkonstruktioner och återvinns som krossad betong i fyllnadsmaterial (Trafikverket, 2023). Betong är resurskrävande, men svårt att ersätta i många infrastruktursammanhang (Pacheco-Torgal et al., 2013). Nya typer av betong t.ex. geopolymerbetong som innehåller industriavfall dvs. flygaska och masugnsslagg som minskar behovet av kalksten i cement och minskar samtidigt klimatpåverkan med 70%. Geopolymerbetong har också visat sig vara mer beständig mot frost, klorider och kemisk nedbrytning. Det pågår forskning om hur prefabricerade betongelement, t.ex. kantbalkar eller förspända balkar, kan återanvändas. För att möjliggöra demontering utan att skada betongen pågår studier för att ersätta cementbruk i torra skarvar, bultar eller andra mekaniska kopplingar för att hålla ihop delarna. Ingjutna lyftöglor bidrar till att lyfta betongelementen säkert i demontering och återanvändning. Tätningsfria fogar som tätas mekaniskt underlättar också demontering eftersom de inte behöver brytas upp.

I Trafikverkets verksamhet används stål och aluminium. Stål används i vägräcken, belysningsstolpar och bro- och tunnelbyggen (Trafikverket, 2024a). Stål har en återvinningsgrad på 70-90% och lämpar sig väl för demontering och återmontering (SGU, 2014) t.ex vägportaler och vägräcken. Demonterade komponenter kan CE-kontrolleras och återinstalleras i nya projekt (Trafikverket, 2024a). Aluminium är ett material som är bra att återvinna eftersom det kan återvinnas till 100% utan att tappa värde eller funktion. Återvunnen aluminium kommer från skrot och (SGU, u.å) i återvinningsprocessens energiförbrukning är 5% av nyproduktion av aluminium och har mycket lägre utsläpp av växthusgaser (Stena recycling, u.å). Varje år återvinns 60000 ton aluminium i Sverige. I transport- och byggnadssektorn är återvinningsgraden över 95% dvs. en tredjedel av aluminiumproduktion är återvunnen.

Asfalt består till ca 95% av stenmaterial, ballast och till ca 5% av bindemedlet bitumen. Asfalt är 100% återvinningsbart och i Sverige återvinns ca 100 000 - 200 000 ton varje år (Vägverket, 2004; Peab, u.å). Det var ett av det mest återvunna infrastrukturella materialen globalt (European Environment Agency, 2020) och det fanns två dominerande återvinningstekniker, varm- och kallåtervinning. I varmåtervinning fräses översta asfaltslagret bort och den gamla asfalten blandas med nytt bindemedel i ett asfaltverk (ca 140 - 160°C) och läggs ut som ny beläggning. Vid kallåtervinning sker återanvändning direkt på plats utan uppvärmning, vilket reducerar energibehovet men kräver ofta stabilisering med tillsatsmedel som cement, polymerer eller skumbitumen.

Schaktmassor är ett samlingsnamn på ett blandat material som kan bestå av krossat berg, byggmaterial, uppriven asfalt och jordmaterial bestående av t.ex. lera, mulljord och morän. Schaktmassor används för att jämna ut och stabilisera underlaget för en konstruktion. Schaktmassans material har olika ursprung, vilket innebär att massorna kan innehålla förorenande metaller t.ex.

kvicksilver, arsenik, bly och krom eller organiska föroreningar som t.ex. polyaromatiska kolväten. En ”ren” schaktmassa innehåller mycket lite av förorenande ämnen och klassas inte som avfall och massorna återbrukas ofta i nya projekt. Schaktmassor som klassas som avfall men har ett högt innehåll av organiskt material (t.ex. mull och lera) kan återvinnas på jordbruks- eller skogsmark (Naturvårdsverket 2010). Mindre rena schaktmassor betraktas som avfall och behöver klassificeras, eventuellt renas och sorteras innan de kan återvinnas i nya objekt (Arm, Lindberg och Helgesson, 2007). Möjliga återvinningsområden kan vara ballast eller fyllnadsmaterial i t.ex. bullervallar.

De återbrukade schaktmassorna var en liten del av de 60 - 200 miljoner ton schaktmassor som årligen hanterades i Sverige. Den största delen gick fortfarande till deponi (Naturvårdsverket, 2024c). I de flesta fall berodde det på att massorna saknade klassificering för ursprung och föroreningshalt. Det fanns initiativ för att öka återbruket, t.ex tillfälliga logistiknav där överskottsmassor samlas, testas och distribueras till andra projekt eller forskning för standardiserade kvalitetssäkringsprotokoll för tekniska egenskaper och föroreningskontroll (Johansson & Svensson, 2022).

2.3.3 Miljöarbete på Trafikverket

Trafikverket är en stor och komplex organisation, vilket innebär att förändringsarbetet behöver förankras brett och anpassas till olika delar av verksamheten. Tidigare studier (Trafikverket 2022) hade identifierat organisationens utmaningar som:

- Avsaknaden av en gemensam samordning och ansvarsfördelning.
- Otillräcklig uppföljning av cirkulära mål.
- Bristfällig dokumentation avseende materialens ursprung, kvalitet och tidigare användningsområden som försvårar uppföljning och framtida återbruksmöjligheter.
- Ett upphandlingssystem där det starka fokuset på pris och säkerhet försvårar integrering av återbruk och förlängd brukstid av komponenter.

Vid tiden för studien fanns en otydlig ansvarsfördelning och bristande samordning mellan beställare, entreprenörer och myndigheter som ansågs vara hinder för att omsätta cirkulära ambitioner i praktiken. Att ingen aktör hade ett direkt ansvar över att planera, samordna transporter, mellanlagra komponenter och flödet av material som skulle göra återbruk möjligt. Det fanns förslag på att införa tydliga roller, definiera logistikflöden redan i anbudsskedet och integrera återbrukskrav som ett bindande krav för att säkerställs en gemensam struktur för parterna att förhålla sig till. Det skulle kunna leda till att resursplaneringen i praktiken blev bättre, ansvaret blev tydligare och att återanvändningsgraden skulle höjas (Charef et al., 2021; Kadefors et al., 2021; Halling & Johansson, 2023).

Det saknades tydlig och regelbunden uppföljning av cirkulära mål i projekten eftersom det saknades gemensamma indikatorer för effektbedömning av olika insatser som identifiera framsteg och behov av ytterligare förbättringar för att stärka cirkulariteten. Ett närliggande problem var avsaknaden av dokumentation över materialen som gjorde det svårt att spåra ursprung, kvalitet och tidigare användingsområde. I praktiken kunde material som skulle kunna återbrukas avfall, vilket visade på ett behov av att förbättra dokumentationen för att resursoptimera och effektivisera återbruket. Trots att återbruk kunde vara både hållbart och kostnadseffektiva på lång sikt, styrdes upphandlingarna oftast av pris och säkerhet men konsekvensen att aspekterna återbruk och förlängd livslängd blev förbisedda.

Upphandlingens fokus på pris skapade hinder för bedömningen av anbud och var en outnyttjad resurs för förändring. I upphandlingen finns detaljkrav, funktionskrav och standarder för projekten som beskriver obligatoriska moment i detaljkraven, funktionskraven beskriver moment som bör ingå och standarder som förtydligar för parterna vad tjänsten innehåller. I Trafikverkets rutinbeskrivning för hantering av övergripande krav inom anläggningsstyrning skall ett kravdokument formuleras med utgångspunkt från Trafikverkets förväntningar på anläggningen t.ex. (TDOK 2015:0261).

- Bidrag till samhällsekonomisk nytta och hållbar transportförsörjning för medborgarna
- Omfatta både befintliga och blivande infrastrukturanläggningars egenskaper med krav och råd
- Dokumentet skall användas för interna krav och som utgångspunkt för prövning och dispenser.

Trafikverket skulle kunna vara mer noga med hur funktionskraven kraven formulerades eftersom de kunde uppfattas som frivilliga. I utvärderingsprocessens poängbedömning av anbudets förmåga att möta önskemål och krav behöver funktionskraven bli lika viktiga som detaljkraven. Det skapar utrymme för att upphandlingen kan skifta fokus från pris till detalj- och funktionskrav med inslag av återbruk, återvinning och dokumentation (Upphandlingsmyndigheten, u.å.b).

2.3.4 Fyrstegsprincipen och styrmedel i klimatomställningen

Fyrstegsprincipen är ett etablerat ramverk i svensk transportplanering och används av Trafikverket för att systematiskt pröva åtgärder för hållbara lösningar och minskad miljöpåverkan. Forskning visar att fyrstegsprincipen är en viktig brygga mellan strategisk planering, praktisk tillämpning och cirkulära principer inom transportsektorn (Trivector Traffic, 2021). Den kan stödja övergången till mer hållbara infrastrukturlösningar, särskilt om den integreras med LCA och RE-strategier. För att fyrstegsprincipen ska få genomslag i praktiken krävs både politiskt stöd och samverkan mellan berörda aktörer, eftersom de första mest resurseffektiva stegen ofta förbises i beslutsprocessen.

Fyrstegsprincipen stämmer väl överens med målsättningarna för EU's gröna giv och handlingsplan för cirkulär ekonomi (Europeiska unionen, 2019; Europeiska unionen, 2020). Genom att uppmuntra till tidiga åtgärder kan klimatpåverkan och materialåtgång minskas i planeringsstadiet (Boverket, 2024d). Fyrstegsprincipen prioriterar åtgärder som minimerar behovet av investeringar och maximerar användningen av befintliga resurser. Vidare skapar principen förutsättningar för återbruk av t.ex bärkonstruktioner och belysningsstolpar, uppdatering av befintlig infrastruktur och minskar behovet av jungfruligt material. Principen består av fyra steg som rangordnar möjliga insatser från minst till mest resurskrävande (Trafikverket, 2021):

- Tänk om - påverka behov och beteenden. Kan transportbehovet minskas eller ersättas, exempelvis genom digitalisering eller ökat distansarbete.
- Optimera - förbättra utnyttjandet av befintlig infrastruktur, exempelvis genom effektivare trafikstyrning, förbättrat underhåll eller användning av smart teknik.
- Förbättra - genomföra mindre ombyggnader och förbättringar av befintlig infrastruktur, exempelvis nya cykelbanor eller förbättrade korsningar.
- Bygga nytt - investera i ny infrastruktur. Detta är det sista steget och ska endast väljas om tidigare steg inte räcker.

Trafikverkets styrmedel omfattar både formella krav, operativa verktyg och interna processer som tillsammans styr klimatomställningen i infrastrukturprojekt. Det förutsätter styrningen som utvecklar och anpassar planering, uppföljningssystem, praktiska verktyg och som bidrar till ökad samverkan inom organisationen. Det ställer också krav på tydlig ledning, internt lärande och långsiktiga styrmedel som kan förankra nya arbetssätt i organisationen på alla nivåer.

Ett tydligt utvecklingsområde är behovet av formella krav för uppföljning av cirkulära projekt på samma sätt som uppföljningen av klimatpåverkan. Det finns förslag på att införa fler indikatorer för att systematiskt mäta och följa upp t.ex. användningen mängden återvunnet material i ett projekt eller mängden nytt material i en investering. Klimatkalkyl fungerar som ett operativt verktyg som Trafikverket använder för att identifiera och jämföra metoderna och materialval av olika alternativ (Trafikverket, 2024b). En integrering av klimatkalkylen tidigt i projekten och använda det som ett strategiskt verktyg för att följa upp klimatpåverkan skulle innebära större kontroll av materialval och återbruk som skulle stödja cirkulära processer. I större projekt är verktyget ett krav där entreprenörer redovisar klimatdata, cirkulära material med lång livslängd, lägre resursåtgång eller återbruk.

Små designbeslut kan ha stor påverkan i praktiken t.ex. att använda en bult i stället för lim för att fästa kantbalkar och lyftpunkter för betongkomponenter som ökar sannolikheten att komponenterna återanvänds istället för att kasseras (Trafikverket, 2023). Designbesluten påverkar demonteringen och avfallshanteringens resurshantering dvs. om komponenter krossas och bränns eller om de fortsatt kan bli en del av materialflödet. Därför är det viktigt att integrera åtgärderna i praktiken.

I Trafikverkets organisation sker ofta arbetet i enskilda projekt eller sektorer. Det försvårar samordning, uppföljning och kommunikationen mellan avdelningarna (Trafikverket, 2023). I projektgenomgörandet uppstår oklarheter om vem som kan fatta beslut om att integrera cirkularitet i verksamheten. Det saknas också tydliga kriterier för bedömning av vägkomponenters återanvändbarhet. Förbättrade interna processer skulle innebära nya roller, utvecklat samarbete mellan avdelningarna och logistiska åtgärder i värdekedjan.

2.3.5 Design for deconstruction (DfD), BIM och konsekvenser för byggbranschen

För att hantera materialflöden, tillgodose återbruk och effektivisera resursanvändningen krävs verktyg som kopplar samman information, logistik och teknik genom hela livscykeln. Digitala lösningar spelar en avgörande roll för att praktiskt kunna genomföra cirkulära strategier inom väginfrastruktur (Ellen MacArthur Foundation, 2020). Digitala verktyg är mer än dokumentationsförvaring utan en aktiv och nödvändig del av det cirkulära arbetet, både på strategisk och praktisk nivå. Systemen behöver användas tidigt i planerings- och projekteringsfasen för att öka möjligheterna till ett effektiviserat återbruk, minskade resursförluster och bättre förutsättningar för att mäta cirkularitet (GIH, 2021).

Ett av de viktigaste systemen är BIM (Building Information Modeling), som i infrastruktursammanhang ofta kallas *virtual design and construction* . Det är ett verktyg där digital information som konstruktion, mått och design lagras för komponenter inom ett projekt genom hela dess livscykel. Genom informationen skapas en 3D-modell, vilket ger möjlighet att jämföra olika alternativ, skapa bättre samordning, spara tid och pengar *(*Meng et al., 2023). *Design for deconstruction* (DfD) och *”End-of-life management”* är viktiga metoder kopplade till cirkulär ekonomi som både utgår från RE-strategierna- DfD utgår ifrån RE-strategierna *Redesign* och *Reuse* (tabell 1). End-of-life management har samma idé, men med större fokus på *Reduce, Reuse, Recycle* och *Recover*, t.ex återvinning av sällsynta metaller (Sihvonena & Ritolaa, 2015).

I kombination med BIM kan olika konstruktionslösningars möjligheter för återbruk utvärderas vilket underlättar den cirkulära planeringsprocessen (Kanter, 2018). Genom att kontinuerligt tillföra digital information för tillstånd, slitage och genomförda åtgärder skapas en så kallad *digital* tvilling som möjliggör spårbarhet, planerat underhåll och framtida återbruk. I flera pilotprojekt har digitala tvillingar använts för att simulera klimatpåverkan, identifiera återanvändbara delar och förutse när komponenter behöver underhållas, vilket visar teknikens potential för att stödja både cirkulär planering och hållbar förvaltning (Meng et al., 2023; Mousavi et al., 2024).

Ytterligare ett innovativt alternativ är användningen av *material intelligence system* som används i den nederländska plattformen Madaster. Plattformen kombinerar information från en BIM-modell med information från databaser och innehåller bl.a teknisk livslängd, miljöegenskaper och återbruksmöjligheter. Informationen möjliggör beräkning av ett materials cirkularitetsindex, dvs. ett mått på materialets cirkularitet. I designfasen ger verktyget vägledning att välja material som både minskar klimatavtryck och underlättar framtida återbruk (Madaster, 2025).

A*rtificiell intelligens* (AI) har börjat användas i demonteringsprocesser. Genom bildanalys och sensorer kan AI-baserade system identifiera materialtyp, föroreningar eller skador i t.ex. betong. Automatiseringen minskar behovet av manuell sortering i rivningen och ökar precision i återbruket (Neelamegam, 2025). Verktyget skapar avfallsförebyggande åtgärder genom att bevara produkter och material högre upp i avfallshierarkin. AI kan också kopplas till DfD eftersom demontering underlättas

och till BIM eftersom identifierade materialdata kan länkas med digitala modeller för att underlätta återbruk och spårbarhet.

Samtidigt testas en *blockchain*-teknik som ett sätt att skapa säkra och spårbara materialkedjor. Blockchain kan liknas vid en distribuerad digital loggbok där varje händelse i en komponents livscykel dokumenteras i så kallade block. Blocken innehåller information som bekräftas av nätverket och länkas samman i en kedja. Eftersom varje block bygger på det tidigare är det mycket svårt att ändra tidigare registrerad information utan att det märks. I flera europeiska pilotprojekt används tekniken för att spåra material från ursprung till återbruk, vilket ger ett tillförlitligt digitalt spår. Det är särskilt användbart för bärande komponenter där historik och kvalitet är avgörande för komponentens fortsatta funktion (Fernandez-Carmen et al., 2024).

3D-skanning och *drönarteknik* har fått en allt större betydelse i investeringen av infrastruktur. Två vanliga tekniker är *LIDAR* och *fotogrammetri*. LIDAR bygger på att laserpulser skjuts mot en yta och mäter hur lång tid det tar för ljuset att studsa tillbaka, vilket gör att exakta avstånd och former kan tas fram som sedan omvandlas till 3D-modeller. Fotogrammetri innebär istället att fotografier tas från många olika vinklar för att skapa en digital modell genom bildanalys. Tillsammans gör dessa metoder det möjligt att dokumentera byggnader som broar och kantbalkar i detalj, vilket underlättar bedömning av deras skick och potential för återbruk utan att behöva demontera dem (Konstantakis et al., 2024).

2.3.6 Effekter av The Green Deal på bygg och anläggningsbranschen

EU's gröna giv och handlingsplan för cirkulär ekonomi har en tydlig påverkan på bygg- och anläggningsbranschen i Sverige. Målen handlar om att minska klimatpåverkan, bevara resurser och bidra till återbruk genom lagstiftning och styrmedel. Flera länder har etablerat konkreta styrmedel, såsom återvinningsplaner i Danmark och digitala materialbanker i Nederländerna, vilket understryker behovet av strukturer som integrerar cirkulära flöden både i tekniska system och organisatoriska processer. Genom att skapa tydliga strukturer har Danmark infört krav på återvinningsplaner i rivning av byggnader större än 250 m² (State of Green, 2024). Planerna måste redovisas innan rivningsstart och innehåller uppgifter om vilka material som kan återanvändas eller återvinnas och hur detta ska ske. Denna typ av lagstiftning skapar inte bara transparens och förutsägbarhet, utan tvingar också fram en mer aktiv roll för samordning och planering i återbrukskedjan redan i ett tidigt skede.

Ett område som snabbt växer i betydelse är utvecklingen av materialbanker, dvs. digitala system för att samla in, registrera och göra material tillgängligt för framtida återanvändning (Buildwie & Embuild, 2022). I Nederländerna har plattformen Insert etablerat sig som en webbaserad marknadsplats där komponenter kan läggas upp med information om tillstånd, tekniska specifikationer och geografisk placering. På så sätt kan andra aktörer enkelt hitta och återanvända materialet i kommande projekt. Plattformen bidrar också till att minska mängden avfall genom att synliggöra resurser som annars riskerar att kasseras i onödan. Ett annat växande koncept inom europeisk cirkulär väginfrastruktur är modellen med cirkulära hubbar, ibland kallade *urban mining hubs*. En cirkulär hub är en fysisk eller digital samlingspunkt där byggnadsmaterial som blivit över tas emot, dokumenteras och mellanlagras. Därefter kan materialet skickas vidare till nya projekt. Studien från Nederländerna visar att sådana hubbar fungerar bäst med god tillgänglighet, bra logistiklösningar och placering nära materialens uppkomst eller användning (Tsui et al., 2023).

För Trafikverket innebär utvecklingen inom EU, där Danmark och Nederländerna är tydliga exempel, en signal om att cirkulära flöden bör integreras redan i planeringsfasen i framtida projekt för att möta ambitionerna för EU's gröna giv. Andra länder visar att tydliga krav på samordnade logistiklösningar, återbruk och tillgång till materialdata digitalt är väsentligt för att möjliggöra integrering av cirkulära strategier i praktiken. För att också lyckas med detta behöver Trafikverket vidta åtgärder för att utveckla motsvarande system och processer som i sin tur i större skala stödjer cirkularitet.

2.4 Mängddata

För att kunna genomföra kvantitativa uppskattningar av material i väginfrastruktur har information om vägnätets struktur, belysningsanläggningars utbredning och stolphöjder använts. Trafikverkets regelverk för vägutformning anger att vägbelysning endast ska placeras där det är nödvändigt utifrån säkerhets- och funktionsskäl. Detta innebär att belysning inte är placerad utefter hela vägnätet.

Belysningsstolpars höjd varierar beroende på vägtyp, där större vägar generellt har högre stolpar än mindre lokala vägar. Det statliga vägnätet kan delas in i flera kategorier med olika väglängd och utformning enligt nedan:

Vägkategori (Trafikverket, 2016)	**Väglängd** (Trafikverket, 2016)	**Typisk stolphöjd** (Trafikverket, 2024c)
EU vägar och riksvägar	15 600 km	10 - 12 m
Primära länsvägar	10 800 km	8 - 12 m
Övriga länsvägar	72 100 km	6 - 8 m

Tabell 2: Visar hur det statliga vägnätet delas in i vägkategorier, tillsammans med deras respektive väglängd och deras typiska stolphöjd.

Utöver vägtyper och höjdintervall är också antalet belysningsstolpar och hur många av dessa som ägs av Trafikverket centrala för beräkningar. Trafikverket äger bara en del av belysningsstolparna längs statlig väg, medan övriga ofta ägs och drivs av kommuner:

Faktor	**Statligt vägnät**	**Trafikverket**
Väglängd (Trafikverket, 2014)	98 500 km	98 500 km
Andel med belysningsstolpar (Trafikverket, 2020)	9%	3%
Antal belysningsarmaturer (Trafikverket, 2020)	520 000 stycken	210 000 stycken

Tabell 3: Visar belysningsstolparnas utbredning på det statliga vägnätet. För varje faktor anges först total uppskattning för hela vägnätet och därefter den andel som Trafikverket själva ansvarar för.

Materialparametrarna för de tre olika stolparna med relevans för beräkningarna:

Stolpe	**Material**	**Vikt/stolpe**	**Densitet**	**Volym/stolpe**
Konisk standardstolpe (Moramast, u.å.a)	Stål (Varmförzinkat)	144 kg	7850 kg/m³	0,018 m³
Morastolpe (Moramast u.å.b)	Aluminium	113,5 kg	2700 kg/m³	0,04 m³
Belysningsstolpe (Formenta, u.å.a)	Glasfiber	66,5 kg	1900 kg/m³	0,035 m³

Tabell 4: Visar olika varianter av belysningsstolpar med olika egenskaper.

Utgångspunkt för val av fundament genomfördes för att passa belysningsstolparnas och Trafikverkets krav. Cetong och Moramast är exempel på Trafikverkets leverantör (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025):

Stolpe	Konicitet	Instickningsdjup	Diameter	Fundament	Diameter Fundament	Vikt/fundament
Konisk standardstolpe (Moramast, u.å.a)	11 mm/m	650 mm	179 mm	ST3169 (Moramast u.å.c)	187 mm	500 kg
Morastolpe (Moramast, u.å.b)	40 mm/m	690 mm	105 mm	8AL-140/1500 (Moramast u.å.d)	105 mm (muff, inre) 140 mm (muff, yttre)	370 kg
Belysningstolpe (Formenta, u.å.a)	24 mm/m	800 mm	160 mm	178/1500 brun (Cetong, u.å.)	179 mm	500 kg

Tabell 5: Visar parametrar som låg till grund för fundamentval till varje stolpe.

3. Metod

Följande kapitel redogör för datainsamlingen av information, databearbetning av informationen. Metoden beskriver studiens upplägg och den bidrar med en tydlighet för valen och antaganden i studien. Metoderna bidrog med primära och sekundära data för att besvara syftet. Nedan presenteras de olika processerna inom datainsamling och databearbetning.

3.1 Datainsamling

Ämnesområdena cirkulär ekonomi och hållbar infrastruktur med fokus på materialflöden, återbrukspotential och klimatpåverkan i väginfrastrukturens komponenter bestod av en kombination av kvalitativa och kvantitativa data och innehåller både primära och sekundära data. Metoden för datainsamling bestod av intervjuer och olika typer av skriftlig information.

3.1.1 Skriftliga dokument

I uppstarten av studien rekommenderade Trafikverket olika rapporter från deras informationsportal DiVA (Trafikverket, u.å). Utöver Trafikverkets rapportserie användes också studier, myndighetsrapporter, forskningsprojekt och branschspecifika vägledningar och handböcker. De branschspecifika vägledningarna bidrog men information om policy och normer och handböckerna innehöll kvantitativa data och standarder.

Sökmotorerna Google, Google Scholar, Scopus, EBSCO och Civil Engineering Database var viktiga i litteratursökningen av rapporter och forskning. Nyckelorden för de olika ämnesområdena var:

- Cirkulär ekonomi: circularity, sustainability, LCA, LCC och recycling.
- Hållbar infrastruktur, fokus materialflöden: steel, iron, concrete, aluminium och sustainability.
- Återbrukspotential: recycling, circularity, sustainability, steel, iron, concrete och aluminium.
- Klimatpåverkan i väginfrastrukturens komponenter: road construction, transport infrastructure och environmental regulations.

Nyckelord användes i alla sökmotorer i olika kombinationer för att öka möjligheten att identifiera många källor av relevans för studien. Källorna valdes utifrån hur de bidrog med inspiration och information.

3.1.2 Intervjuer

Intervjuerna förbereddes genom att läsa in oss på fokusområdet, dvs. cirkulär materialhantering, LCT och infrastruktur. Inläsningen bidrog till att formulera ämnesspecifika frågor. Material av särskilt intresse var stål, betong och aluminium (tabell 6). Informanterna var föreslagna av Trafikverket och var alla tjänstemän på Trafikverket med olika ämnesspecialiteter. Informanterna kontaktades via mail för att boka en intervju: Intervjun genomfördes digitalt på Skype och informanterna blev informerade om att intervjun skulle spelas in och om hur data skulle användas: Alla informanter gav tillåtelse att informationen från intervjun användes i arbetet. Inför intervjuerna ville informanterna ha tillgång till intervjufrågorna för att kunna förbereda sig.

Utöver Trafikverket kontaktades också personer från företag som hade befattningen miljöchef, experter och strateger. De kontaktade företagen var Veidekke, Sweco, Infrakraft, Svevia och Sluta Gräv. Utav de kontaktade företagen återkopplade bara Sluta Gräv. Företaget arbetar med markskruvar som kan ersätta betongfundament för belysningsstolpar. Intervjun genomfördes på samma sätt som för Trafikverket, men frågorna var mer specifika för ämnesområdet än de övriga intervjuerna. Mötet var digitalt via Zoom och även här frågade vi om tillåtelse att spela in intervjun.

Informant	Befattning	Företag/organisation	Intervjudatum	Tid
Richard Alm	VD	Sluta Gräv AB	2025-03-28	47 minuter
Karl Magnus Krona	Byggnadsverk (senior specialist, Investering)	Trafikverket	2025-04-10	50 minuter
Thomas Brutar	Byggnadsverk (specialist, Investering)	Trafikverket	2025-04-10	24 minuter
Pär Tidebro	Senior elspecialist (Investering)	Trafikverket	2025-04-11	1 timme och 34 minuter
Anders Wiberg	Byggnadsverk (senior specialist, Investering)	Trafikverket	2025-04-11	45 minuter
Robert Hällmark	Byggnadsverk (senior specialist, Underhåll)	Trafikverket	2025-04-15	1 timme och 7 minuter
Patrik Söderman	Kulturmiljö (miljöspecialist, Investering)	Trafikverket	2025-04-16	56 minuter
Åsa Dolk	Projektledare, klimat- och hållbarhetskoordinator	Trafikverket	2025-04-24	30 minuter

Tabell 6: Tabell över informanterna med tillhörande befattning och företag/organisation, samt intervjuns längd och datum som intervjuerna utfördes.

Intervjumallen (appendix A) innehöll totalt 15 frågor där 12 frågor var ämnesspecifika och 3 var gemensamma. De gemensamma frågorna hade för avsikt att ta ett helhetsperspektiv på Cirkularitet och omställning. Frågorna var:

- "Hur tror du att utvecklingen kring klimatneutralitet till 2040 kommer påverka väginfrastrukturs utformning och materialval?",
- "Har du några egna exempel eller tankar kring hur Trafikverket kan bli bättre på att främja cirkulärt byggande inom projekt?"
- "Hur cirkulära på en skala 1 - 10 skulle du säga att Trafikverket är?"

Exempel på ämnesbaserade frågor var t.ex.

- "Vilka material i byggnadsverk ser du som lättast att återanvända eller återvinna?"
- "Vilka material i broar ser du som lättast att återanvända eller återvinna

3.1.3 Beräkningsmodeller

En del av den insamlade datan användes som underlag för att skapa en beräkningsmodell för att uppskatta mängden material i bruk för belysningsstolpar. Data är hämtad från publika myndighetsrapporter, tekniska handböcker och Trafikverkets officiella informationskällor. Information om antalet belysningsstolpar (tabell 3) längs det statliga vägnätet hämtades från rapporten *Övertagande av kommunal belysning på statlig väg* (Trafikverket, 2020), som återfinns via Trafikverkets publikationsdatabas i DiVA.

I studien ingick att undersöka belysningsstolpar med en höjd på 10 meter. I "*Vägbelysningshandboken – Teknisk Handbok"* (Trafikverket, 2024), framgick vilka stolphöjder som förekom på olika vägkategorier. I handboken framgick också antal kilometer väg för de olika vägkategorierna (tabell 2).

Information om varmförzinkat stål fanns i handboken *"Handbok i varmförzinkning"* (Hirn, 2019) framtagen av Nordic Galvanizers. Trafikverkets kravdokument TRV INFRA-00159 kompletterade informationen om varmförzinkat stål är ett standardmaterial i belysningsstolpar. Datainsamling av aluminium för belysningsstolpar användes information från Hydros hemsida och för glasfiber produktkatalogen *"Belysningsstolpar - Lightnings columns"* (Formenta, u.å). Kraven för lyktstolpar och betongfundament ska enligt rapporten *"Stolpar för belysning inom vägområdet"* följa standarden SS-EN 14991:2007.

Baserad på den insamlade informationen användes tre liknande stolpar, en för varje material: stål, aluminium och glasfiber. Valen av stolpar och fundament baserades på produktdata som diskuterades under intervjun med Tidebro (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025). Vikt och mått för stolparna användes för att uppskatta volym och för att kunna identifiera tre fundament anpassade för respektive stolptyp. För att beräkna använt material användes antaganden och uppskattningar under beräkningsgångarna. Antagandena var:

- 100% av EU- och riksvägar utgörs av belysningsstolpar med en höjd på 10 meter.
- 50% av primära länsvägar utgörs av belysningsstolpar med en höjd på 10 meter.
- Armering utgör 1% av fundamentets volym.
- Densiteten för betong motsvarar 2400 kg/m³.
- Fördelningen av stolpar följer samma mönster som fördelningen av belysningssträckor på olika vägtyper.
- Att informationen om de huvudsakliga materialen för belysningsstolpar var 95% av belysningsstolparna i stål, 4% i aluminium och 1% i glasfiber.
- För att uppskatta mängden material antogs stolparna vara 10 meter, hade infästningstick och konisk form. Undantaget var aluminium som hade oktagonisk form, men fanns producerad med studiens de tre material.

3.2 Databearbetning

Nedan redogörs för datainsamlingens bearbetning, hantering och strukturering med intentionen att öka tillförlitligheten till underlaget som grund för vidare undersökning.

3.2.1 Transkribering av intervjuer

Intervjuerna transkriberades med hjälp av AI-verktygen *Turbo Scribe* och *Gladia*. Turbo Scribe var begränsat till att transkribera 3 filer per dag och 30 minuter åt gången så det blev nödvändigt att välja ett annat verktyg. Gladia-verktyget hade liknande egenskaper som Turbo Scribe men kunde transkribera ljudfiler på över 60 min. Gladia var inte heller begränsad till ett visst antal filer per dag. AI kan göra fel och göra feltolkningar och av den anledningen korrekturlästes och korrigerades transkriberingarna. Det var oftast stavfel eller meningsbyggnadsfel som behövde korrigeras.

3.2.2 Beräkningar

Beräkningsmodellen användes för att uppskatta material i bruk. Andel av varje vägkategori i det statliga vägnätet beräknades enligt (a):

$$a = \frac{b}{c}$$

b anger vägkategorins sträcka och *c* anger den totala sträckan statlig väg i Sverige. Beräkningar av det totala antalet belysningsstolpar längs varje vägkategori som ägs av Trafikverket (d) var

$$d = a \times e$$

Där *e* anger de totala antalet stolpar som Trafikverket äger. Därefter beräknades antalet stolpar som var 10 m för varje vägkategori, (f):

$$f = d \times g$$

Där *g* anger andelen 10 m inom varje enskild vägkategori. Det totala antalet belysningsstolpar på 10 m längs med statlig väg beräknades genom att addera antalet belysningsstolpar för varje vägtyp. Utifrån det totala antalet 10-metersstolpar beräknades antalet som var tillverkade i respektive material (h). Varje stolpe antas tillverkad av bara ett materialslag, antingen aluminium, stål eller glasfiber:

$$h = i \times j$$

där *i* anger det totala antalet 10 m belysningsstolpar längs statliga vägar och *j* anger andelen av 10 metersstolparna tillverkade i ett visst material, antingen stål, aluminium eller glasfiber. Volymen för respektive stolpe (k) beräknas:

$$k = \frac{l}{m}$$

Där *l* beskriver stolpens vikt och *m* står för stolpens densitet. Slutligen beräknades den sammanlagda vikten, (n), och volymen, (o), för respektive material:

$$n = h \times l$$

$$o = h \times k$$

Volymen för varje fundament (p) och volymen av fundamentets armering (s) beräknades enligt:

$$p = \frac{q}{r}$$

$$s = p \times t$$

Där *q* anger fundamentets totala vikt och *r* betongens densitet, medan *t* anger andelen av armeringens volym. Med dessa resultat beräknas sammanlagd vikten för fundamenten (u):

$$u = h_1 \times q_1 + h_2 \times q_2 + h_3 \times q_3$$

Där h_n anger antal stolpar för varje material och q_n anger fundamentets totala vikt för varje material. Den totala vikten för armering (v) och för betong (w) för alla fundament beräknades enligt:

$$v = u \times t$$

$$w = u - v$$

Fundamentets totala volym (x) beräknades:

$$x = h_1 \times p_1 + h_2 \times p_2 + h_3 \times q$$

Där p_n anger volymen per fundament kopplat till varje material. Till sist beräknades armeringens totala volym i samtliga fundament (y) och den totala mängden betong i samtliga fundament:

$$y = x \times t$$

$$z = x - y$$

4. Resultat

Kapitlet beskriver resultatet av intervjustudien och genomförda beräkningar av material i bruk Sammanställningen ger en nulägesbeskrivning av Trafikverkets cirkulära materialhantering och identifierar utmaningar och förbättringsområden

4.1 Informanternas perspektiv

I avsnittet diskuterar informanternas resurshantering av material i väginfrastruktur användes vid tiden för studien. I intervjuerna diskuterades främst materialflöden och komponenter med fokus på återvinning av betongkonstruktioner och belysningsstolpar.

4.1.1 Material

Trafikverket hade under några år arbetat med aktiva materialhantering i anläggningarna som innebar standardisering och modulärt byggande för att förenkla materialhanteringen. Det skapade också ett gemensamt arbetssätt som underlättade komponentåterbruk, minskade materialvariationen i olika projekt, förbättrade väganläggningarnas livslängd och minskade risken för reparationsfel. Den centrala standardiseringen av materialinköp, i stället för materialinköp till varje enskilt projekt, förenklade underhåll och återbruk när materialet kunde spåras och lätt bytas ut. I flera intervjuer uppfattades oklassificerat material vara svårt att återbruka eftersom det saknade märkning, inte uppfyllde tekniska krav eller inte var i tillräckligt bra skick för fortsatt användning. Ett beslutsunderlag av oklassificerat material var svårt att utvärdera och jämföra t.ex. kostnader och utsläpp med nya material. Det var vanligt att miljövinsterna blev nedprioriterades i relation till de ekonomiska aspekterna (Hällmark, personlig kommunikation, 15 april 2025).

Det var viktigt att undvika passiv materialhantering där material och komponenter blev bortglömda och deponerade t.ex. 1960-talets stora mängder orörda och övervuxna rivningsmassor i Stockholms utkanter. Det fanns en tydlig risk för passiv materialhantering när betongbroar skulle rivas vilket skulle skapa stora avfallsmängder. Betongbroar var vanligen platsgjutna konstruktioner med en teknisk livslängd på 120 år. (Brutar, personlig kommunikation, 10 april 2025). Utmaningarna för återbruk av brokonstruktioner i betong var att komponenterna ofta varit utsatta för påverkan från väder och vind. Äldre stål- och betongkonstruktioners bärighet och beständighet var ofta påverkade av korrosion från vägsalter, mikrosprickor i betongen eller korroderande armering vilket kunde ge svårbedömda skador t.ex. pågående korrosionsprocesser i armeringen som påverkade framtida beständighet (Hällmark, personlig kommunikation, 15 april 2025). Det innebar att den vanligaste återvinningsprocessen var att krossa betongen och återanvända den som fyllnadsmaterial i väg- och markkonstruktioner eller som vägavgränsare (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025).

Betong uppfattades vara det mest förekommande materialet på deponier. Betongkonstruktionerna saknade ofta tydliga fogar för att kunna separera och demontera betongen till rimligt tunga element. Den ingjutna armeringen bidrog till att försvåra demonteringen (Hällmark, Brutar, Tidebro, personlig kommunikation, 2025) och därmed återanvändningen (Hällmark, Brutar, personlig kommunikation, 2025). Armeringens separationsprocess var tekniskt komplicerad, resurskrävande eftersom armeringen återvanns genom att smälta det ur betongen (Wiberg, personlig kommunikation, 2025).

4.1.2 Komponenter

Metallkomponenter uppfattades i intervjuerna att vara relativt lätta att återanvända. Informanterna beskrev att Trafikverkets vanligaste återvinningsstrategier var återanvändning, materialåtervinning och deponering. Materialåtervinning var den vanligare återvinningsmetoden för metallkomponenterna eftersom deras tekniska livslängd ofta var passerad och materialet var för påverkat av t.ex. rost eller att

armaturerna saknade CE-märkning. Komponenter som kontinuerligt återanvändes men i begränsad omfattning var komponenter av stål och aluminium, t.ex. stålbalkar i en bros bärande konstruktionsdelar ansågs ha bra förutsättningar att återbrukas (Hällmark, personlig kommunikation, 15 april 2025) och aluminiumarmaturer i belysningsstolpar (Brutar, personlig kommunikation, 10 april 2025). Det var möjligt att demontera stålbalkar från väg- och järnvägsbroar och återanvända i nya sammanhang, t.ex. i gång- eller cykelbroar. En stålbalk som länge varit belastad med tung trafik kunde innehålla utmattningssprickor men skulle kunna användas i konstruktioner med lättare statisk belastning.

Återbruk av aluminiumarmaturer i belysningsstolparna var vanligare eftersom armaturen hade en teknisk livslängd på 30 år. Hela armaturen kunde fortsatt användas genom att byta ut enskilda delar. Centrala standardiserade inköp av standardkomponenter exempelvis belysningsstolpar och armaturer, skulle bidra till att göra anläggningarna mer tekniskt lika. Det skulle också förenkla både underhåll och återbruk, eftersom samma komponenter kunde användas i flera projekt utan större anpassningar. Åtgärderna hade gemensamt bidragit till möjligheter att minska klimatavtryck och ett mer hållbart byggande som kunde förebygga deponering. Komponenter som deponerades bestod ofta av blandmaterial som var svåra att separera och urskilja, t.ex. gamla armaturer med integrerade delar eller komponenter med oklart skick och okänd sammansättning.

Utmaningen med belysningsstolpar var att de var robusta tekniska konstruktioner som skulle klara stora påfrestningar och bestod av en stor mängd stålkomponenter som var monterade på ett markfundament av betong (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025). Återvinningen av belysningsstolpar berodde ofta på stolparnas skick, dvs. påverkan från den yttre miljön, t.ex. klimat, temperatur, vägsalt och djururin. Stolparnas nedre delar (upp till 1 m från marknivån) var mest utsatta för korrosion från vägsalt och djururin och skyddades därför av rotlack (Moramast, u.å). Lacken innehöll lösningsmedel och miljöfarliga ämnen som försvårade återvinningen. Det pågick arbete för att ersätta rotlacken med ett giftfriare alternativ. I underhållsarbetet av belysningsstolparna kunde demonteringen av komponenter ibland skapa sprickor i markfundament som påverkade fundamentets hållfasthet och vidare möjlighet för återbruk (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025).

I tillfälliga konstruktioner och projekt kunde en markskruv vara ett alternativ till betongfundament. En markskruv kunde skruvas ner i marken och demonterades genom att skruvas upp (Alm, personlig kommunikation, 28 mars 2025). Markskruven kunde uppfattades vara både cirkulär och effektiv eftersom komponenten kunde användas i enklare installationer i infrastruktur t.ex. trafikskyltar, tillfälliga avspärrningar och byggstaket eftersom den inte lämnade permanenta spår i marken. Ett annat användningsområde var avspärrningstak längs nygrävda schakt med pågående arbete. När arbetet var klart kunde markskruven enkelt tas bort. De flesta skruvarna kunde återanvändas och installationen bidrog med betydligt mindre avfall och utsläpp i jämförelse med traditionell grundläggning. Markskruven var troligen mindre lämplig som fundament i belysningsstolpar eftersom det var svårt att dra fram tillräckligt mycket el till stolpen.

4.2 Informanternas perspektiv på styrning, upphandling, lager och logistik

Avsnittet presenterar informanternas perspektiv om hur Trafikverket kan utveckla sitt arbete med hjälp av styrning, upphandling, lager och logistik. Utgångspunkten är behovet av tydliga rutiner för materialhantering, styrning och upphandling. En utveckling av områdena skulle bidra till Trafikverkets långsiktiga hållbarhetsarbete, resurseffektivitet och minskad klimatpåverkan inom väginfrastrukturen.

4.2.1 Styrning

Det fanns en enighet bland informanterna att Trafikverket hade möjligheter att bidra med mer cirkulär och klimatvänlig infrastruktur men som förutsatte både resurser och engagemang (Dolk, personlig kommunikation, 24 april 2025). En ökad resurshantering skulle också minska miljöpåverkan. Trafikverket kunde göra skillnad och hade en ledande roll i en cirkulär omställning. Trafikverkets krav att i första hand använda återvunnet material (Dolk, personlig kommunikation, 24 april 2025) innebar också ett behov att samordna olika teknikområden och en aktiv materialhantering.

En aktiv materialhantering förutsatte genomtänkta beslut som bidrar till förbättrad kvalitet och hållbarhet i projekten (Wiberg, personlig kommunikation, 2025) och uppfattades av informanterna vara viktig för hela byggprocessen. Det vanliga var att rutinmässigt välja nytt material också i situationer när återvunnet material skulle fungera lika bra. Viktningen av olika materials klimatpåverkan eller återbruksmöjligheter och kostnad ledde ofta till konflikter inom projekt. Det berodde ofta på att det saknades rutiner och metoder för att utvärdera, jämföra och prioritera olika faktorer. Beslutsunderlag baserade på beräkningsmodeller med eventuellt stöd av AI skulle kunna underlätta beslutssituationen. Det skulle också bidra till att öka transparensen i organisationen genom dokumentationen av cirkulära materialval som prioriterade klimatsmarta och resurseffektiva lösningar.

Projekteringstiden påverkades ofta av tillståndsprocesser som kunde dra ut på tiden p.g.a. bygglov, miljöprövningar och överklaganden. Konsekvensen var att det saknades projekteringstid för viktiga beslut och förberedelser i byggprocessen t.ex. genomtänkta processer för att utvärdera klimatsmarta materialval, planera effektivare konstruktioner med genomtänkt design och samordna olika teknikområden. Projekteringstiden påverkade också Infrastrukturens lokalisering t.ex. vägdragningar som följde landskapet och minskade behovet av schaktning, betongfyllning för att undvika konstruktioner och tekniskt komplexa lösningar som broar, stödmurar eller tunnlar. Ett annat område var närvarostyrd belysning dvs energieffektiv plats- och behovsanpassad belysning (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025). Planeringsunderlaget baserades på GIS- kartor med aktuella belysningsklasser för olika vägtyper och miljöer där belysningen skulle skifta mellan 100% full belysning för ett passerande fordon till 20% dimrad belysning när fordonet passerat.

En aktiv materialhantering i byggfasen skulle innebära hållbar byggteknik, t.ex. längre härdningstider för miljömärkt och klimatförbättrad betong. Miljömärkt cement har delvis ersatt kalksten med slagg och flygaska som halverar koldioxidutsläpp (Brutar, personlig kommunikation, 10 april 2025). Aktiv materialhanteringen i drifts- och underhållsfasen skulle innebära att komponenterna kunde återbrukas och användas i flera projekt utan större anpassningar. Regelbundna inspektioner, löpande åtgärder, skyddsbehandlingar och tidiga reparationer skulle förlänga livslängden på komponenter och konstruktioner. Det vanliga var att konstruktionen underhölls först när det fanns större skador (Hällmark, personlig kommunikation, 15 april 2025). Löpande åtgärder var t.ex. förbättrat rostskydd på stålkonstruktioner, tidig reparation av mikrosprickor i betong och utbyte av slitdelar i belysningsstolpar istället för att kassera hela konstruktionen.

4.2.2 Upphandling

Standarders funktion i upphandlingen var att förtydliga förväntningarna på anläggningen och vara ett komplement till funktionskraven. Svensk byggtjänst har utvecklat standarder för AMA Anläggning, ett branschgemensamt referensverk med tekniska beskrivningar inom anläggningsprojekt. Trafikverket vidareutvecklade AMA till TRVAMA anpassat till infrastrukturanläggningar. I rutinbeskrivning för hantering av övergripande krav inom anläggningsstyrning (TDOK 2015:0261) rekommenderas kraven att formuleras som funktionskrav dvs. bör-krav. Dokumentet innehåller standardrubriker där en av rubrikerna var ”Miljö och Hälsa”. Bland Trafikverkets olika TRVAMA med miljörelevans fanns t.ex.

- Krav på EPDer och klimatkrav på bitumenbundna lager, armering och betong (TDOK 2023:0125).

- Riktlinjer för materialval och redovisningskrav av klimatåtgärder för Trafikverkets reduktionskrav. Krav på klimatdeklarationer på tekniskt godkända material. EPD för armeringsstål, stålprodukter, väg- och broräcken, fabriksblandad betong, asfaltmassa. Därutöver finns krav på drivmedel och nettonollutsläpp för arbetsmaskiner (TDOK 2015:0480).
- Beskrivning av beslutsprocesser och kvalitetsgranskning av återbruk av materialet och komponenter för järnväg (TDOK 2017:0610).
- Hantering och planering av buller i samhällsplanering (TDOK 2017:0686).

I Trafikverkets dokumentsystem fanns också annullerade dokument som beskrev beräkningar för anläggningars livscykelkostnad (TDOK 2016:0279). Genom att delta i revideringsarbeten för AMA kan Trafikverket påverka den framtida TRVAMA för att bidra till att skapa standarder för återbruk och cirkulär ekonomi. Parallellt pågår olika aktiviteter för komponenter, t.ex. SIS-CEN/TS 1090-201:2024, en teknisk specifikation som reglerar återanvändning av stålkomponenter i statiska konstruktioner med långsamt varierande laster. Liknande aktiviteter fanns i Boliden och LKAB i samarbete med tekniska kommittén på SIS (Statens Institutionsstyrelse) för att ta fram standarder för grönt stål. Grönt stål har betydligt lägre koldioxidutsläpp än traditionell ståltillverkning och skulle minska klimatpåverkan från armeringen och bidra till cirkulärt byggande (BE Group, u.å).

Den vanligaste processen för materialval var ett rutinmässigt beteende utan kontroll om det fanns material för återbruk. Rutiner i den aktiva planeringen skulle innebära kvalitetssäkring för återbruk och utveckla processer för att tillvarata materialtillgångar i samband med kontraktsavslut och samtidigt göra materialet tillgängligt inför nya projekt. Det fanns behov av att tydligare integrera klimatkrav i Trafikverkets upphandlingar för att skapa ett systematiskt cirkulärt byggande. Det skulle också behövas rutiner för att etablera standardiserade metoder för bedömning av kvalitet, säkerhet och spårbarhet för återbruk. Trafikverkets möjlighet att driva omställningen genom standarder för återbruk och cirkulär ekonomi skulle ge stöd för en aktiv materialhantering.

4.2.3 Lager och logistik

Lagerhållningen präglades av passiv materialhantering. Material och komponenter som hade kunnat återbrukas blev under lång tid liggande i lager. Det berodde ofta på att det var oklart om vem som hade ansvar för material, dokumentation och vidare hantering. Lagren fanns hos Trafikverket, kommunerna och entreprenörerna. Vid tiden för studien saknade Trafikverket fungerande lagerhållning för material, komponenter och massor (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025), entreprenörernas lager hade ofta platsbrist och kommunerna hade ofta begränsat intresse att ta emot eller lagra materialen. Det otydliga ansvaret innebar att material i brukbart skick riskerade att hamna på någon deponi. En utveckling av materiallogistik, strukturerad lagerhållning och systemen som tydligt beskrev komponenthanteringen uppfattades vara viktiga komponenter för en aktiv materialhantering.

Det uppstod ofta problem med hanteringen av demonterat material och komponenter i entreprenörsbyten (Tidebro, personlig kommunikation, 11 april 2025) som var extra tydliga för kontraktsbyten för brobyggen. Ett brobygge hanterade stora mängder material och skapade också stora mängder avfall som oftast hamnade på en deponi. Kunskap om materialens skick och möjlighet att återbrukas gick ofta förlorat i överlämningarna eftersom det saknades dokumentation om materialen. Rutinerna för en aktiv materialhantering för att minimera avfall borde innehålla kvalitetssäkring för återbruk och processer för lagring för att sluta materialflödet. Kontrakten för övergången borde innehålla krav på avgående och tillträdande entreprenörer. Avgående entreprenör skulle ha ansvar för inventering, digital registrering och märkning av material och komponenter för återbruk. Tillträdande entreprenör skulle ha ansvar för transport och lagring i depåer (Poncelet & Engelborghs, 2023).

4.3 Beräkningsmodeller

Beräkningsmodellerna uppskattar material i bruk för belysningsstolpar och fundament. En uppskattning av mängden material kan användas som underlag för beslut om behovet av nya

råmaterial och också synliggöra material som finns i bruk dvs. resurserna i urbana lager tydligare. Informationen behövs för att förstå utrymmet för återanvändning och återvinning.

4.3.1 Belysningsstolpar

Sverige har tre typer av vägar och belysningsstolpen 10 m finns utplacerad längs EU-vägar, riksvägar och primära länsvägar. Fördelningen och antalet stolpar finns i tabell 7. Belysningsstolparna utmed kategorin Övriga länsvägar är lägre, 6-8 m.

Vägkategori	**Andel, statligt vägnät**	**Antal stolpar**	**Antal 10 m stolpar**
EU väg + Riksväg	15,84%	33 265 stycken	33 265 stycken
Primär länsväg	10,96%	23 016 stycken	11 508 stycken
Övrig länsväg	73,2%	153 720 stycken	0 stycken
Sammanlagt	**100%**	**210 000 stycken**	**44 723 stycken**

Tabell 7: Tabellen visar vägkategori, antal stolpar, antal 10 m stolpar längs med statlig väg och respektive vägkategori.

I det svenska statliga vägnätet finns totalt 210000 stycken belysningsstolpar (tabell 7)(Trafikverket, 2020). Antalet stolpar i svenska vägnätet multiplicerades med andelen vägsträcka för de olika vägkategorierna (tabell 8). Totalt finns 44 723 stycken 10 m belysningsstolpar.

Material	**Höjd**	**Antal stolpar**
Stål	10 m	42 484 stycken
Aluminium	10 m	1 788 stycken
Glasfiber	10 m	447 stycken

Tabell 8: Översikt material i belysningsstolpar, höjd och antal.

Det vanligaste materialet i en 10 m belysningsstolpe var av stål (tabell 9). Den uppskattade sammanlagda mängden material i bruk för belysningsstolpar 10 m var 6963 ton med största bidrag från belysningsstolparna i stål. Den sammanlagda volymen var 992 m^3. Aluminium väger mer än glasfiber, men glasfiber har större volym.

Material	**Sammanlagd vikt**	**Sammanlagd volym**
Stål (Varmförzinkat)	6 117 696 kg	764 m^3
Aluminium	815 838 kg	71,52 m^3
Glasfiber	29 725 kg	156,45 m^3

Tabell 9: Tabellen visar sammanlagd vikt och volym för respektive material.

4.3.2 Betongfundament för lyktstolpar

Den beräknade volymen för de armerade fundament (tabell 10) visar att andelen armering är liten. Volymen för ett fundament beräknades genom att dividera fundamentets vikt med densiteten. Därefter multiplicerades volymen med andelen armering i fundamentet.

Fundament	**Volym betong (m³/fundament)**	**Volym armering (m³/fundament)**
ST3169 (Moramast)	0,208 m³	0,00208 m³
8AL-140/1500 (Moramast)	0,154 m³	0,00154 m³
178/1500 Brun (Cetong)	0,208 m³	0,00208 m³

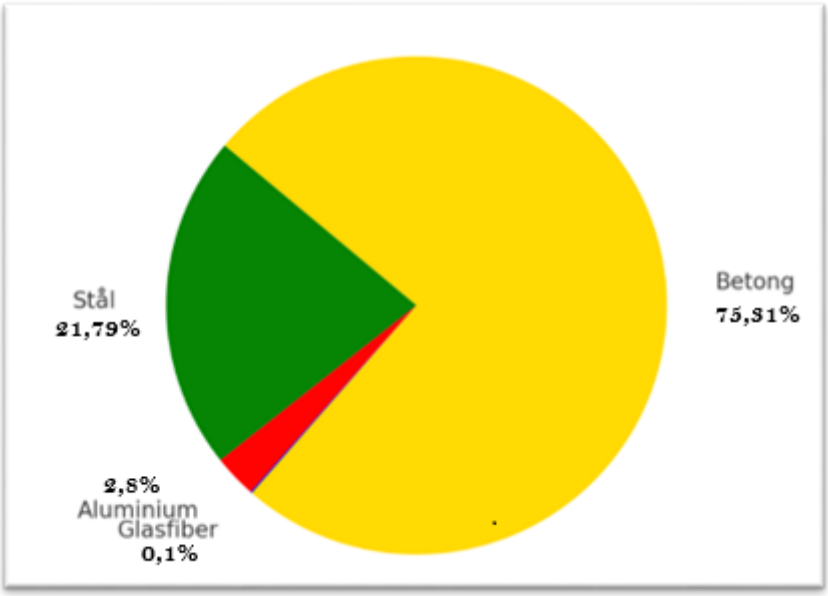
Tabell 10: Tabellen visar vikt och volym per fundament samt volym för armeringen i ett fundament.

Betongens volym var differensen när armeringens volym subtraherats. Volymen för armering subtraherades från fundamentets totala vikt, vilket gav volymen av betong i respektive fundament (tabell 10). Den totala vikten av betongfundamenten är summan av materialens betongfundament.

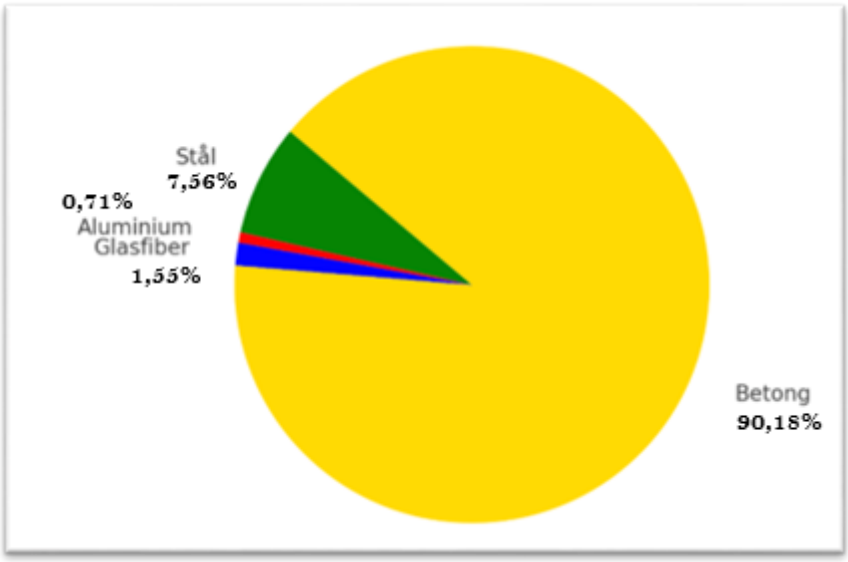
Material	**Vikt**	**Volym**
Stål	6 338 966 kg	764 m³
Aluminium	815 838 kg	71,52 m³
Glasfiber	29 725 kg	156,45 m³
Betong	21 905 797 kg	9119,1276 m³

Tabell 11: Tabellen visar en sammanställning av de undersökta materialen med dess totala vikt och volym för samtliga lyktstolpar med fundament ägda av Trafikverket.

Den totala vikten betong beräknades genom att multiplicera mängden betong med antalet belysningsstolpar. Totalt finns 21 906 ton betongfundament.



Figur 6: Fördelningen av vikt per material för belysningsstolpar med dess fundament.



Figur 7: Fördelningen av volym per material för belysningsstolpar med dess fundament.

5. Analys

Kapitlet analyserar studiens resultat med fokus på att identifiera hinder och möjligheter för att genomgöra LCT och cirkulära flöden inom väginfrastruktur. Analysen beskriver också hur tekniska, organisatoriska och beteendefaktorer påverkar Trafikverkets möjligheter till ökad cirkularitet.

5.1 Material och tekniker i väginfrastruktur lämpade för cirkulära flöden

Följande avsnitt presenterar fem olika teman som beskriver förutsättningarna för cirkulära flöden. Inledningsvis analyseras materialens cirkulära egenskaper och hur de kan återbrukas. Därefter analyseras design för demontering och digitala verktygs bidrag till materialens spårbarhet. Avslutningsvis analyseras relationen mellan logistik, samordning och tidsfaktor.

5.1.1 Material med hög cirkulär potential

Cirkulära flöden inom väginfrastruktur förutsätter en aktiv materialhanteringen, dvs. att produkter och material återanvänds eller återvinnas utan förlust av värde eller teknisk funktion. Att ett material kan återvinnas är oftast inte nog. Det måste vara möjligt att återbruka på ett praktiskt, effektivt och kontrollerbart sätt. Centrala materialflöden i Trafikverkets väginfrastruktur var stål, betong, aluminium och schaktmassor. Det kommer att behövas systemförändringar i materialhanteringen hos Trafikverket för att genomföra cirkularitet i praktiken.

Stål har cirkulära egenskaper och kan återvinnas upprepade gånger utan att förlora teknisk funktion. I konstruktioner som lyktstolpar var återbruk särskilt möjligt eftersom komponenterna ofta var standardiserade, demonterbara och synligt åtkomliga. Trots detta återanvändes mycket få komponenter vilket signalerade att det inte var det tekniska som brast utan de styrande strukturerna. Trafikverket kommer att behöva utveckla och införa tydliga rutiner för att märka, registrera och bedöma komponenter redan i planeringsfasen för att återbruk ska bli norm och oberoende av enskilda initiativ. Först när processerna systematiskt etablerats i praktiken, blivit norm och i hela livscykeln, dvs. från planering till demontering, skulle återbruket av stål bidra till en mer resurseffektiv väginfrastruktur.

Betong var ett material med hög klimatpåverkan och lång teknisk livslängd. Det var vanligt att betongen i intakta konstruktioner krossades och användes som fyllnadsmassor, trots att vissa delar som fortfarande var funktionsdugliga t.ex. fundament. Livslängdsförlängande alternativ nedprioriterades vilket stod i direkt motsats till avfallshiearkin och fyrstegsprincipens första steg, att ifrågasätta behovet av nya åtgärder (Naturvårdsverket, 2024b). Trafikverket behöver utveckla och införa bedömningskriterier för rutinmässig återanvändning av befintliga betongelement istället för att ersätta dem.

Aluminium var tekniskt återvinningsbart och med låg vikt, vilket gjorde materialet ett attraktivt konstruktionsmaterial. Återbruket av aluminium har varit begränsat inom väginfrastruktur pga bristande spårbarhet och osäkerhet kring materialets tidigare användning. För att öka återbruket av aluminium behöver Trafikverket utveckla system för spårning och dokumentation av komponenters ursprung och skick. Kunskapen skapar förutsättningar för cirkulära beslut i både upphandling och projekt (Trafikverket, 2023).

Schaktmassor representerar ett tydligt systemproblem (Trafikverket, 2023). Trots att massorna ofta var tekniskt användbara dvs kunde betraktas som en produkt, betraktades schaktmassorna som avfall och restprodukt. Återbruket förhindrades sällan av massans egenskaper utan av bristen på planering, logistik och tydligt ansvar både inom och mellan projekt. Trafikverket behöver utveckla samordnade processer för inventering, kvalitetssäkring och omlokalisering av massor.

5.1.2 Design för demontering

För större konstruktioner som broar var permanenta sammanfogningstekniker dvs. svetsning, limning eller ingjutning nödvändiga för att skapa stabilitet. Det innebar i praktiken det var omöjligt att återbruka material och komponenter eller att skapa en cirkulär resurshantering. I mindre konstruktioner skulle alternativa tekniker var möjliga exempelvis vägtrummor med sammanskruvade plåtar i moduler eller jordarmerade stödmurar med prefabricerade fasadpaneler eller bultade kopplingar. Tekniska alternativ för demonterbarhet användes främst i projekt där målet från start var återbruk exempelvis torra skarvar, bultade förband och modulära byggsystem. Om återbruk var ett efterhandsbeslut i rivningsprocessen saknades förutsättningarna för återbruk och de möjliga cirkulära handlingsalternativen var materialåtervinning eller deponi.

Design för demonterbarhet var inte bara en teknisk fråga, utan en strategi för att bygga in framtida flexibilitet och hållbarhet i väginfrastrukturen där cirkulära principer borde integreras tidigt i projekten. RE-strategier som *Rethink, Redesign, Reuse* och *Refurbish* skulle kunna användas i designfasen för att skapa system och utforma komponenter med demontering i åtanke som möjliggjorde återbruk, effektivare underhåll och skapade anpassningar under livscykeln. Om demonterbarhet integrerades som en del av designprocessen skulle Trafikverket skapa förutsättningar för långsiktigt återbruk och etablera ett hållbart väginfrastruktursystem.

5.1.3 Digitala verktyg och materialspårning

Omställningen från linjär till cirkulär ekonomi förutsätter spårning av material, planering av återbruk i tidiga skeden och stöd för resurseffektiva beslut. Det kunde skapa förutsättningar för byggsektorn att minska klimatpåverkan genom att förebygga avfall och öka användningen av befintliga resurser. Digitala verktyg som BIM, digitala tvillingar och materialpass har pekats ut som viktiga för cirkulär ekonomi och för att genomföra livscykeltänkande i projekten. Uppfattningen var också att digitala verktyg var en outnyttjad resurs som sällan användes för att planera återbruk utan fokuserade på materialåtgång i projekteringsfasen.

En ökad användning av digitala verktyg från designfasen och genom hela livscykeln kunde möjliggöra en uppföljning av materialflöden över tid (Trafikverket, 2023a; Capelleveen, 2023). En effektiv användning av digitala verktygen som stöd för en cirkulär omställning behöver livscykeldata, materialegenskaper och att status integreras i systemen. Digitala verktyg användes men det saknades krav, styrning och tydliga ansvar. Trafikverket behöver utveckla och införa tydligare krav i upphandlingar, tydligare ansvarsfördelning i projekt och följa upp hur verktygen kommer till användning genom hela livscykeln.

5.1.4 Logistik och samordning

Vid tiden för studien var materialhanteringen passiv och hade ett linjärt flöde dvs från vagga till grav. Lager var ett ställe som samlade materialresurser men var i praktiken en deponi eftersom det saknades beslut om nya användningsområden för materialen. Det största hindret för återbruk var inte tekniskt utan samordningen av material och komponenter (Trafikverket, 2023). Återbruk krävde en aktiva materialhanteringssystem som förutsatte samordning och framförhållning (Boverket, 2024c). Materialbanker skulle vara digitala sökbara lager av fysiska lager. Återbruk mellan projekt kunde skapas genom att matchas material och komponenter i cirkulära flöden. Det förutsatte att materialen fanns inventerade och att logistiken mellan projekt och lager fungerade. Digitaliserade lokala till nationella materialbanker skulle kunna underlätta materialmatchningsprocessen mellan projekt vilket var viktigt om processen blev komplex t.ex. tillgängligt materialet fanns långt från projektplatsen eller lagret närmast projektplatsen hade slut på materialet eller komponenterna.

För att skapa återbruk var aktörerna viktiga med det saknades definierade ansvarsområden och roller för att samordna materialflödena. Det fanns initiativ från enskilda aktörer till återbruk men Trafikverket skulle behöva ta en tydligare och mer aktiv roll i förändringsprocessen. En första åtgärd skulle vara en inventering och dokumentation av befintliga lager. En start skulle vara Trafikverkets egna lager men i förlängningen också entreprenörers och kommuners lager. Parallellt med inventeringen skulle det finnas en utveckling av materialbankerna. Verktyg som kan bidra i förändrings-processen skulle vara att utveckla upphandlingar till att innehålla både krav på standarder men också samordning och koordinering av aktiviteter mellan aktörer i materialflödet t.ex. logistik och kontraktsövergångar. I färdplanen bör finnas åtgärder som kan testas i pilotprojekt och som med tiden kan skalas upp och integreras i ordinarie verksamhet.

5.1.5 Tidsfaktorn som cirkulär resurs

Tidsplaneringen påverkar hur väl cirkulära alternativ kan matchas mellan projekt. Samordnade byggprocesser hade större chans att identifiera komponenter som kunde demonteras, lagras, transporteras och återanvändas där de behövdes. En god tidsplanering gav också utrymme till att omförhandla om bygglovsprocesser, upphandlingsrutiner och projekteringstider för att skapa utrymme för cirkulära val.

Tid var ofta underskattat i cirkulärt byggande. Tid var en utmaning men också en resurs som kunde bli avgörande för ett fungerande LCT. Många hanteringsalternativ för återbruk t.ex. behålla betong-fundament, demontering av komponenter eller noggrann kontroll av materialkvalitet krävde mer tid än traditionella rivnings- och ersättning processer. I tidspressade projekt uppfattades en aktiv material-hantering vara långsam och en nackdel som bidrog till att cirkulära alternativ valdes bort.

Om tid betraktades som en strategisk resurs skapade det förutsättningar för bättre beslut med längre livslängd. För en aktiv materialhantering skulle det innebära att låta betong härda långsamt och avsätta tid för att inventera befintliga material och komponenter. Det kunde också innebära att planera demontering med omsorg vilket skulle ge både klimatnytta och sparade kostnader på sikt. Tid skapade förutsättningar för genomtänkta beslut som att jämföra cirkulära alternativ i upphandlingar eller att justera projekteringen för att möjliggöra återbruk i projektets livscykel.

5.2 Att genomföra livscykeltänkande (LCT) i praktiken

Målet med cirkulära materialflöden kräver mer än teknisk kompetens, det förutsätter en långsiktig projektstruktur. I omställningen organisatoriska rutiner mot cirkulära mål innebär att livscykeltänkande behöver integreras varje skede av väginfrastrukturens planering, genomförande och uppföljning och översättas i praktisk handling.

5.2.1 Tidig integrering utefter fyrstegsprincipen

För att livscykelperspektivet ska få verkligt genomslag i ett infrastrukturprojekt krävs att det integreras från projektets början dvs. i behovsanalysen och designprocessen. Detta ligger i linje med fyrstegsprincipens inledande steg, att ifrågasätta behovet och i möjligaste mån undvika investeringar genom att utnyttja befintliga resurser mer effektivt. Ett tidigt cirkulärt mål och angreppssätt gav möjligheten att styra hela projektets utformning, snarare än att försöka kompensera för redan låsta val i efterhand.

Om fyrstegsprincipen skall vara ett konkret styrinstrument för cirkulär materialhantering bör LCT betraktas som ett ramverk för processen och LCA som ett verktyg för beslutsfattande. Ett tidigt cirkulärt angreppssätt ger möjligheten att styra hela projektets utformning, snarare än att försöka kompensera för val i efterhand som redan är låsta. Om LCA kommer in sent i beslutsprocessen blir

LCAn dokumenterande snarare än ett styrverktyg för materialval, metoder eller logistik som bidrar till återbruk. Det minskar också möjligheterna att möta klimat- och resursmål.

För att bevaka, stödja och genomföra beslut behövs nya och tydliga stödfunktioner som t.ex. LCA-specialist och återbrukskoordinator. I detta fall fungerar fyrstegsprincipen som ett ramverk i och med kravet på prövning av effektiviseringar och bevarande innan ett beslut om nyinvestering. I upphandlingen bör funktionskraven vara tydliga och vägledande för att skapa återbruksincitament, vilket flera informanter upplyste om. För att kunna gå från nuläge till önskat läge behöver arbetssätten standardiseras med rutiner för tidiga projektgenomgångar av t.ex demonteringsplaner och resursinventeringar. Parallellt bör LCA-uppföljningar genomföras och uppföljning av materialbanker.

5.2.2 Roller och ansvar för cirkularitet

Trafikverket var i ett läge när det saknas en gemensam samordning och ansvarsfördelning för cirkularitet. Miljöarbetet var spritt mellan olika roller och uppföljning av mål genomfördes i begränsad omfattning. Det var också oklart var ansvaret för genomförandet låg mellan beställare, entreprenörer och myndigheter och som uppfattades vara en av orsakerna till att återbruk inte fick fäste i praktiken. Organisatoriska hinder kan vara de mest kritiska hindren för cirkulära flöden. En otydlig ansvarsfördelning kan ofta bidra till att arbetet hamna utanför befintliga roller och processer eller drivs av enskilda personer utan tydligt stöd från organisationen. I bästa fall leder det till att återbruksinsatser blir slumpmässiga tillfälligheter, istället för en integrerad del av det systematiska arbetet och en del av lärandet mellan projekt som bidrar till effektiviseringar och långsiktig utveckling (Charef et al., 2021).

För att åstadkomma ett mer hållbart genomförande behöver cirkularitetsfrågor får en tydlig plats och profil inom projektets organisation t.ex med etablerade roller som återbrukskoordinator eller materialinventerare som har uppgiften att skapa kontinuitet i arbetet. Funktionerna behöver ha definierade uppgifter i projektets beslutsstruktur och vara en aktiv del av planering, genomförande, uppföljning och beslutsfattande. Exempel på sådana uppgifter var att ansvara för att material får digitala materialpass, dokumentera erfarenheter från projekt med materialbanker och utforma detalj- och funktionskrav i upphandlingar och kontrakt. Att skapa förutsättningar för att cirkulära ambitioner omsätts i praktisk handling bidrar samtidigt till lärande i organisationen, spridning av kunskap och erfarenhet. Rollerna skall komplettera befintliga funktioner genom att knyta ihop miljöspecialisternas strategiska arbete med projektledares helhetsansvar och upphandlarens kontraktstyrning. Rollerna kan ha olika fokus t.ex. klimatfrågor eller återbruk men bör gemensamt arbeta för att återbruk blir ett sätt att möta klimatmålen vilket stärker kopplingen mellan mål och genomförande.

5.2.3 Upphandlingens strategiska funktion

Jungfruliga material uppfattades ofta som säkrare, mer tillförlitliga och enklare att dokumentera än återbrukade material oavsett materialens tekniska egenskaper. För att bryta en linjär materialhantering behöver slentrianmässiga val som styrs av vana förändras t.ex. genom att upphandlingsprocessen utvecklades och försköts från prisfokusering till ett fokus på livscykelns materialflöden och ett viktigt verktyg som kan driva förändring. Ett sätt kan vara att låta funktionskraven vara grunden för utvärdering av anbuden snarare än detaljkrav för specifika material kan påverka valet av cirkulära alternativ. Anbud med tydliga idéer om hållbar, cirkulär och aktiv materialhantering skulle få konkurrensfördelar i anbudsprocessen. Det skulle skapa förutsättningar för entreprenörer att konkurrera med hållbara anbud och inte bara med lägsta pris (Halling & Johansson, 2023) och det skulle påverka hela branschens anbudsbeskrivningar.

AMA standarder bli viktiga eftersom AMA beskriver de tekniska kraven i upphandlingen och påverkar därför direkt vilka material och metoder som accepteras. Vid tiden för studien fanns utvecklade standarder som innehöll krav på klimatdeklarationer, EPD för stålprodukter och armeringsstål, väg- och broräcken, fabriksblandad betong, asfaltmassa och drivmedel för arbetsfordon men saknade standarder som skulle stödja cirkulära aktiviteter. Det saknades vägledningar och exempeltexter och

som legitimerade materialpass och återbruk vilket bidrog till att entreprenörer och konsulter fortsatt valde standardlösningar som ett säkrare alternativ. Trafikverket var medförvaltare av AMA anläggning och hade därför unika möjligheter att driva förändringar i systemet genom att skapa vägledningar och exempel som prioriterade cirkulära lösningar. Om Trafikverket beslutade att driva cirkulära formuleringar i AMA för att sätta nya normer för anläggningssektorn skulle det vara ett strategiskt beslut. Förslag på sådana kompletteringar till AMA skulle vara standarder för materialinventering och kriterier för återbruk t.ex märkning, tekniska krav och skick av material och komponenter.

5.2.4 Mätbarhet, överblick och systematik

Ett tekniskt system som infrastruktur förutsätter kontroll över resurser baserat på tillförlitlig och relevant information t.ex. tillgång till volym, placering och skick av komponenter. Många projekt saknar data om hur mycket som återanvänts, förlängda livslängder eller klimatpåverkan. Detta gör att cirkulära insatser ofta förblir osynliga, undervärderade, svåra eller till och med obefintliga (Trafikverket, 2023).

Bristen på information beror troligen mer på att det saknas information om vilka mätningar som skall genomföras än brist på intresse. Uppföljningen underlättas av definierade indikatorer för cirkularitet som kan mätas över tid. Indikatorernas mätpunkter skapar trender som antingen bekräftar att åtgärderna fungerar eller kan användas som beslutsunderlag för förändringar. Ur ett livscykelperspektiv behöver indikatorerna vara fördelade över livscykeln, ha en strukturerad insamling, analyseras och kommuniceras med hjälp av t.ex. BIM-modeller, materialpass eller digitala tvillingar för att få genomslag i projektstyrningen.

5.2.5 Kulturella normer, kompetens och organisatoriska inlåsningar

Cirkulära initiativ stoppas ofta av vanetänkande trots att andra alternativ kan vara möjliga. Vanetänkande förstärks av otydliga roller och en organisationskultur där återbruk saknar naturlig integrering. LCT kräver mer än teknik- och styrsystem, det förutsätter också ett kulturellt och organisatoriskt skifte. Många ser återbruk som riskfyllt, resurskrävande och osäkert. Motståndet grundar sig sällan i fakta, utan i invanda arbetssätt, bristande erfarenhet och en organisationskultur som favoriserar linjärt kostnadseffektivt tänkande. Resultatet blir en form av organisatorisk lösning, där möjliga förändringar inte genomförs trots att de är både tekniskt och ekonomiskt möjliga.

För att bryta mönstret behövs ett medvetet förändringsarbete. Kompetenshöjning inom cirkulär ekonomi, tydligt ledarskap och synliggörande av lyckade exempel kan bidra till att utmana normer. Förtroende för sekundära material byggs genom dokumentation, spårbarhet och återkommande användning, men framförallt genom projekt som visar att det fungerar i praktiken (Naturvårdsverket, 2024b). När ledning, beställare och konsulter tillsammans efterfrågar cirkulära lösningar skapas förutsättningar för nya arbetssätt.

6. Diskussion

6.1 Styrkor och svagheter

Studien har styrkor både när det gäller metod och innehåll som stärker resultatets relevans, men också vissa svagheter som bör beaktas. En tydlig styrka var att arbetet kombinerar kvalitativa intervjuer med kvantitativa beräkningar, vilket gav en helhetsförståelse av både tekniska och obligatoriska utmaningar inom cirkulär materialhantering. En annan styrka var att studiens område var konkret och aktuellt i dagens samhälle, vilket gav en praktisk nytta.

Samtidigt fanns svagheter, främst kopplat till förenklingar i beräkningsmodellen och ett begränsat antal intervjuer där de flesta respondenterna tillhörde samma organisation. Det fanns därmed en risk att vissa perspektiv saknades, speciellt från externa aktörer som arbetat med återbruk. Studien var dessutom avgränsad nationellt och enbart till väginfrastruktur och dess komponenter, vilket kan ha påverkat möjligheten att generalisera till andra länder eller branscher.

6.1.1 Litteratur

Studien baserades på ett brett urval av källor som innehöll myndighetsrapporter, branschdokument och vetenskapliga artiklar. En styrka var att källorna var aktuella, tillförlitliga och relaterade till svenska förhållanden, vilket stärkte arbetets relevans. Litteraturgrunden hade kunnat stärkas ytterligare med fler internationella studier och vetenskapliga publikationer för att sätta studien i ett bredare och mer teoretiskt sammanhang. Myndighetsrapporter och vetenskapliga artiklar var de källor som gav mest betydelsefull information eftersom de kombinerade praktisk förankring med teoretiskt stöd på ett konkret sätt. Det var dessvärre begränsad litteratur som hade tydligt fokus på cirkulär ekonomi i samband med infrastruktur. Det innebar att informanternas erfarenheter från intervjuer oftare användes som referens. Källornas information jämfördes kontinuerligt med flera oberoende källor i syfte att minska risken för partiskhet i t.ex branschdokument.

6.1.2 Antaganden

För att genomföra beräkningar av uppskattat material i bruk använde studien ett antal antaganden, exempelvis materialfördelning, genomsnittlig stolphöjd och fördelningen av armering i fundament. Antaganden har möjliggjort praktiskt genomförbara beräkningar, men innebar också en osäkerhet i resultatens precision. Om verkliga förhållanden avvek från antaganden skulle det kunna påverka tillförlitligheten, särskilt om resultatet tillämpades i andra infrastruktursystem. En styrka var att antagandena grundades på etablerade källor och rimliga genomsnittsvärden, vilket gjorde resultaten till en hållbar uppskattning i brist på detaljerad data.

6.1.3 Metodval

Att kombinera kvalitativa intervjuer med kvantitativa modeller var en effektiv strategi. Intervjuerna gav en djupare förståelse för praktiska hinder och möjligheter inom återbruk, medan beräkningar möjliggjorde en mer tydlig bild av det nuvarande läget. Metodvalet gav därmed en djup och bred utgångspunkt som ökade tillförlitligheten i slutsatserna. En svaghet var att majoriteten av informanterna representerade Trafikverket, vilket begränsade mångfald och risken för ett ensidigt perspektiv. En metod som bara bestod av kvantitativa analyser hade troligtvis inte bidragit på samma sätt, dvs. varit begränsad avseende förståelsen för kulturella och organisatoriska hinder med konsekvensen att helhetsbilden blivit skev.

6.1.4 Tillförlitlighet i data

Data i studien var till större delen offentliga och tekniskt pålitliga källor, som Trafikverkets publikationer och produktdatablad. Transkribering och efterföljande manuella granskningar av intervjuer bidrog till en hög datakvalitet. Samtidigt kan det finnas en viss osäkerhet i kvalitativa data eftersom de bygger på subjektiva bedömningar. Informationen i intervjuerna har vi haft förtroende för men behållit ett kritiskt i förhållningssätt. Genom att jämföra och väga utsagor mot andra källor för att skapa balans mellan individuella åsikter och framväxande mönster.

6.1.5 Generaliserbarhet

Studien belyser generella utmaningar och hanteringsalternativ som kan vara relevanta också i ett bredare sammanhang. Resultatens generaliserbarhet var främst begränsad till svenska förhållanden och aktörer inom svensk infrastruktur. Studiens slutsatser var relevanta under svenska förhållanden, vilket var en styrka. Metoden var generell och kunde användas i flera sammanhang genom att anpassa specifika antaganden och parametrar. Avgränsningen till Sverige innebär att slutsatserna inte går att generalisera till andra kulturella och organisatoriska länder och kan uppfattas som en svaghet. Det innebar också att slutsatserna inte var direkt användbara internationellt eftersom de tekniska aspekterna var olika eftersom olika länder kommit olika långt i den tekniska utvecklingen. Skillnaderna i organisation och styrning hade troligtvis stärkt de jämförande aspekterna.

6.2 Bidrag till ämnesområdet

Arbetet har bidragit till ämnesområdet cirkulär ekonomi inom väginfrastruktur genom att visa både var möjligheterna för återbruk finns och vilka hinder som försvårar återbruket. Kombinationen av konkreta materialberäkningar och intervjuer synliggjorde studien hur tekniska resurser ofta fanns, men att logistik, ansvarsfördelning och rutiner behövde utvecklas. Arbetet kopplade ihop teori med praktik och lyfter viktiga förbättringsområden.

6.2.1 Kunskap som studien bidragit med som tidigare saknats

Studien gav ytterligare kunskap om materialflöden i väginfrastruktur, särskilt för mängden material i belysningsstolpar och fundament. Den visade också på konkreta hinder som bristande lagerhållning, otydliga rutiner och svag dokumentation. Faktorer har tidigare fått mindre uppmärksamhet i forskningen. Cirkulär ekonomi har i tidigare litteratur mest beskrivits i samband med bygg- och fastighetssektorn, medan litteratur specifikt om väginfrastruktur och komponenter, som t.ex. belysningsstolpar inte behandlats på liknande sätt. Därmed bidrar arbetet med utökad kunskap om just väginfrastruktur och de specifikt utvalda komponenterna som analyseras i studien. Källmaterialet saknade ofta information om hindren som identifierats, vilket tyder på att studien fyller en kunskapslucka.

6.2.2 Resultat som motsäger eller styrker tidigare studier

Resultatet bekräftar att stål och aluminium var lämpliga för återbruk vilket tidigare forskning också visat. Det finns en bild av att det största hindret och utmaningen var tekniken men resultaten motbevisar och indikerar att det oftare var de organisatoriska hindren som spelade roll och var den avgörande faktorn. Med rätt styrning, samordning och struktur kan återbruk öka utan stora tekniska förändringar.

7. Slutsatser

Hanteringen av material och tekniker i väginfrastrukturprojekt präglas fortfarande av linjära flöden, trots att både teknik och kunskap fanns för att möjliggöra cirkulära lösningar. Studiens analys visade att återbruk främst begränsades av organisatoriska och strukturella faktorer snarare än av tekniska förutsättningar. Genom att kartlägga nuläge, utmaningar och möjliga åtgärder har studien belyst vad som krävs för en övergång mot ett livscykelbaserat arbetssätt i praktiken.

Sammanfattningsvis visar studien att en övergång till cirkulära materialflöden i första hand var en fråga om planering, organisation, styrning och kultur. Med rätt förutsättningar kan cirkularitet bli en självklar del av hur väginfrastrukturprojekt planeras och genomförs. Andra slutsatser var:

- Material som stål, aluminium och i vissa fall också betong, särskilt fundament och prefabricerade element, visar hög potential för återbruk om de konstrueras och demonteras med detta syfte. Schaktmassor var också en viktig resurs men återanvänds i låg grad, vilket delvis beror på att det klassas som avfall.
- Designfasen var avgörande. Komponenter måste planeras för att kunna demonteras, spåras och återanvändas. När återbruk inte var ett uttalat mål från början tappas den möjligheten. RE-strategier bör implementeras redan vid projekteringsstadiet.
- Logistik och ansvarsfördelning var centrala hinder. Återbruk uteblev ofta för att ingen aktör tog ansvar att samordna materialflöden eller skapa fungerande lager. I flera fall saknas också lager helt, vilket gjorde att fullt användbara material deponerades. Det blev tydligt att material samlades utan att återföras till kretsloppet.
- Tid bör betraktas som en möjliggörare. Cirkulär hantering kräver mer tid än dagens effektivitetsstyrda system som ofta saknar utrymmet. Om projekteringen tillåts ta längre tid, kan bättre beslut fattas, vilket på sikt leder till lägre kostnader.
- Digitala verktyg som BIM och materialpass användes inte med full effektivitet. För att fungera måste systemet innehålla spårbar information om materialens status, plats, mängd och historik. Utan innehåll blir systemen ineffektiva.
- Organisatoriskt ansvar för cirkularitet var otydligt. Nya roller som återbrukskoordinator eller materialinventerare behövs för att systematisera arbetet, sprida kunskap mellan projekt och säkra kontinuitet.
- Upphandlingen hade en strategisk funktion. Trafikverket kan införa krav och poängsättning på cirkulära lösningar. Funktionskrav och incitament krävs för att återbruk ska upplevas som det trygga valet.
- Attityder och vana påverkade kraftigt. Återbruk uppfattades som riskabelt, delvis på grund av bristande erfarenhet. Kompetenshöjning, synliggörande av goda exempel och pilotprojekt kan bryta mönstren.
- Samverkan mellan aktörer var avgörande. Ingen enskild aktör kan genomföra hela omställningen ensam. Byggherrar, konsulter, entreprenörer och leverantörer måste samordna sina insatser för att möjliggöra cirkulära flöden.
- Cirkularitet krävde bättre mätbarhet. För att LCT ska kunna styra beslut måste indikatorer som återbruk, livslängd och klimatpåverkan integreras i uppföljningen som styrande faktorer.
- Omställningen krävde långsiktiga mål. Tillfälliga insatser eller projektbaserade lösningar var otillräckliga. Det krävs strukturella förändringar i regelverk, upphandling och organisation för att skapa en cirkulär omställning.

7.1 Förslag på fortsatta studier

Utifrån studiens resultat föreslås följande inriktningar för vidare forskning:

- Undersök hur livscykelanalyser kan integreras i upphandlingsprocesser för att stödja cirkulära materialval.
- Analysera hur digitala verktyg, exempelvis BIM eller materialpass, kan stödja spårbarhet och återbruk inom väginfrastruktur.
- Studera hur olika styrmedel som lagstiftning, ekonomiska incitament och uppföljningskrav påverkar möjligheterna att införa livscykeltänkande i offentliga projekt.
- Utforska hur samverkan mellan myndigheter, entreprenörer och andra aktörer kan organiseras för att skapa ett gemensamt ansvar och därmed effektivare materialflöden.
- Analysera hur regelverken för klassificering av avfall kan förändras för att möjliggöra återbruk av exempelvis schaktmassor.
- Studera hur införandet av roller som återbrukskoordinator eller materialansvarig påverkar projektets förmåga att arbeta cirkulärt.

8. Referenser

Arm, M., Lindberg J., & Helgesson, H. (2007). *Sammanställning av material och användningsområden - Underlag i Naturvårdsverkets regeringsuppdrag "Återvinning av avfall i anläggningsarbeten"* Varia 572. Statens geologiska Institut (SIG).

urn:nbn:se:swedgeo:diva-631

BE group .(u.å). *Vad är grönt stål?*

https://www.begroup.se/gront-stal

Borland, H., Lindgreen, A., Ambrosini, V., & Vanhamme, J. (2019). Creating theory for business strategies for sustainability and climate change: Transitional and transformational strategies and ecocentric dynamic capabilities. In A. Lindgreen, F. Maon, J. Vanhamme, & R. J. Angell (Eds.), *The sustainable marketer* (pp. 61–81). Edward Elgar Publishing.

Boverket. (2023). *Standardiserade egenskaper och egenskaper att bedöma.*

https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/vagledning/barverksdelar/bedomning-skick/egenskaper/

Boverket. (2024a). *Eurokoder i Boverkets byggregler.*

https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/barformaga-stadga-bestandighet/allmanna-krav/eurokoder/

Boverket. (2024b). *Om Boverkets konstruktionsregler, EKS.*

https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/regler-om-byggande/boverkets-konstruktionsregler/om-eks/

Boverket. (2024c). *Cirkulär ekonomi i byggsektorn i dag.*
https://www.boverket.se/sv/byggande/cirkular-ekonomi/byggsektorn-idag/

Boverket. (2024d). *Uppdrag att främja en cirkulär ekonomi i bygg- och fastighetssektorn*.

https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2024/uppdrag-att-framja-en-cirkular-ekonomi-i-bygg--och-fastighetssektorn.pdf

Buildwie & Embuild. Brussels. (2022). *Digital traiding platform for reclaimed construction materials.* European Regional Development Fund *https://vb.nweurope.eu/media/20549/ddc_analysis-of-digital-trading-platforms-for-reused-materials_summary-and-platform-list.pdf*

CETONG. (u.å) *Kompletta fundament.*

https://cetong.se/produkter/77-787-73/

Charef, R., Morel, J.-C., & Rakhshan, K. (2021). *Barriers to implementing the circular economy in the construction industry: A critical review. Sustainability, 13(23), 12989.* https://doi.org/10.3390/su132312989

Chartwell School. (u.å). *Design for deconstruction manual.* U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-11/documents/designfordeconstrmanual.pdf

EFRAG. (2022). *ESRS Exposure Drafts*. European Financial Reporting Advisory Group. https://www.efrag.org/en/sustainability-reporting/esrs/sector-agnostic/public-consultation-on-the-first-set-of-draft-esrs

Ellen MacArthur Foundation. (2020). *Circular economy growth potential by sector: Automotive, transport and logistics*. https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/2da12adc8a7d8230/original/Automotive-transport-and-logistics-Circular-economy-growth-potential-by-sector.pdf

ElKhatib, Lelian; Al Aridi, Fadi; ElKordi, Adel; and Khatib, Jamal. (2022). "MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF GEOPOLYMER CONCRETE ,". *BAU Journal - Science and Technology*: Vol. 3: Iss. 2, Article 8. https://doi.org/10.54729/SUIQ7034

Endress + Hausser. (u.å). *Omfamna hållbara metoder i den cirkulära ekonomin.* https://www.se.endress.com/sv/hallbarhets-losningar-industriella-marknader/omfamna-hallbara-metoder-cirkular-ekonomi

European Commission. (u.å.a). *Mobility strategy.* https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/mobility-strategy_en

European Commission. (u.å.b). *Energy efficiency directive.* https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

European Commission. (u.å.c). *About EN Eurocodes.* https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/en-eurocodes/about-en-eurocodes

European Commission. (2020). *Biodiversity strategy for 2030 - Bringing nature back to our lives* (COM (2020) 380 final). https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en

European Council. (2025). *European Green Deal.* https://www.consilium.europa.eu/en/policies/european-green-deal/

European Environment Agency. (2020). *Cutting greenhouse gas emissions through circular economy actions in the buildings sector.*

https://www.eea.europa.eu/publications/cutting-greenhouse-gas-emissions-through

Europeiska unionen. (2008). *Europaparlamentet och rådets direktiv 2008/98/EG om avfall och om upphävande av vissa direktiv.* (L 312/3).

https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj

Europeiska unionen. (2018). *Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/851 om ändring av direktiv 2008/98/EG om avfall*. (L150/109).

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX:32018L0851

Europeiska unionen. (2019). *Den europeiska gröna given* (COM(2019) 640 final).

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A52019DC0640

Europeiska unionen. (2020). *En ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin – För ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa* (COM(2020) 98 final).

EUR-Lex - 52020DC0098 - EN - EUR-Lexhttps://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0098

Europeiska unionen. (2021a). *55 %-paketet (”Fit for 55”): nå EU:s klimatmål 2030 för klimatneutralitet* (COM(2021)550 final).

EUR-Lex - 52021DC0550 - EN - EUR-Lex

Europeiska unionen. (2021b). *Att bygga upp ett klimatresilient Europa - den nya EU strategin för klimatanpassning.* (COM(2021) 82 final.

EUR-Lex - 52021DC0082 - EN - EUR-Lex

Fernandez-Carames, T. M., Blanco-Novoa, O., & Froiz-Miguez, I. (2024). *Towards an autonomous Industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management.* arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.00709

Formenta. (u.å.a). *Belysningsstolpe svart 7-10 m.*

https://www.formenta.se/belysningsstolpar/belysningsstolpe-svart-7-10m?utm_source

Formenta. (u.å.b). *Belysningsstolpar.*

formenta-catalogue-lighting-columns.pdf

Geels, F. W. (2011). *The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms*. Environmental Innovation and Societal Transitions.

https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002

GIH. (2021). *Advancing the circular economy through infrastructure.*

https://cdn.gihub.org/umbraco/media/4265/gi-hub-paper_advancing-circular-economy-through-infrastructure_2021.pdf

Grow Circular. (u.å). *9R framework.*

https://grow-circular.eu/knowledge-base/9r-framework/

Gorgolewski, M. (2008). *Designing with reused building components: Some challenges.* Building Research & Information.

https://doi.org/10.1080/09613210701559499

Halling, A., & Johansson, F. (2023). *The Power of Procurment: How Requirements of Reuse can Accelerate Circular Construction in Seden [Forskning vid Chalmers, rapport]. Chalmers tekniska högskola.*

6-Halling-Alicia-and-Johansson-Frida.pdf

Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (Eds.). (2018). *Life cycle assessment: Theory and practice*. Springer.

Life Cycle Assessment: Theory and Practice | SpringerLink

Haupt, M., & Zschokke, M. (2017). *How can LCA support the circular economy?*

https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/128565/2/s11367-017-1267-1.pdf

Hirn, A. (2019). *Handbok i varmförzinkning.* Nordic Galvanizers.

NG_Handbok-1.pdf

HYBRIT. (2024). *Fossil-free steel production ready for industrialisation*. HYBRIT Development Initiative.

https://www.hybritdevelopment.se/wp-content/uploads/2024/08/hybrit-broschure-fossil-free-steel-production-ready-for-industrialisation.pdf

Jordbruksverket. (2025). *Det här är biologisk mångfald.*

https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/biologisk-mangfald/vad-ar-biologisk-mangfald

Kadefors, A., Lingegård, S., Uppenberg, S., Alkan Olsson, J., & Ahlström, J. (2021). *Sustainable Public Procurment in Large Infrastructure Projects - Policy Implementation for Carbon Emission Reductions.*

https://www.mdpi.com/2071-1050/13/20/11182

Kanters, J. (2018). *Design for deconstrucion in the Design Process: State of the Art* Research Gate.
https://doi.org/10.3390/buildings8110150

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions.*
https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Konstantakis, M., Trichopoulos, G., Aliprantis, J., Gavogiannis, N., Karagianni, A., Parthenios, P., Serraos, K., & Caridakis, G. (2024*). An improved approach for generating digital twins of cultural spaces through the integration of photogrammetry and laser scanning technologies. Digital, 4(1).*
https://doi.org/10.3390/digital4010011

Lilja, F. (2024). *Hantering av deponier i Sverige* (Examensarbete). Lunds universitet, LTH, Institutionen för teknik och samhälle, Miljö- och energisystem.
https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordOId=9145485&fileOId=9145509

Lucidchart. (u.å). *Vad är ett flödesschema?*
https://www.lucidchart.com/pages/sv/vad-ar-ett-flodesschema-handledning

Madaster. (2025). *Circularity.*
https://docs.madaster.com/us/en/platform-pages/building/circularity.html

Meng, X., Das, S., & Meng, J. (2023). *Integration of digital twin and circular economy in the construction industry. Sustainability, 15(17), Article 13186.*
https://doi.org/10.3390/su151713186

Moramast. (u.åa). *Konisk standardtolpe.*
https://moramast.se/stolpe/7781823/

Moramast. (u.å.b). *Morastolpe.*
https://moramast.se/stolpe/7771256/

Moramat. (u.å.c). *Instickningsfundament för konsik stolpe.*
https://moramast.se/fundament/7778578/

Moramast. (u.å.d). *Instickningsfundament för Morastolpen.*
https://moramast.se/fundament/7778752/

Mousavi, Y., Gharineiat, Z., Karimi, A. A., McDougall, K., Rossi, A., & Gonizzi Barsanti, S. (2024). *Digital Twin Technology in Built Environment: A Review of Applications, Capabilities and Challenges. Smart Cities, 7(5), Article 2594-2615.*

https://doi.org/10.3390/smartcities7050101

Naturskyddsföreningen. (2021) *Vad menas med cirkulär ekonomi?*

https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-menas-med-cirkular-ekonomi/

Naturvårdsverket. (2010). *Återvinning av avfall i anläggningsbranchen – Handbok* (Handbok 2010:1, utg. 1).

https://www.naturvardsverket.se/publikationer/0100/atervinning-av-avfall-i-anlaggningsarbeten---handbok-20101/

Naturvårdsverket. (2024a). *Natura 2000-områden*.

https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/skyddad-natur/olika-former-av-naturskydd/natura-2000-omraden/

Naturvårdsverket. (2024b). *Ett cirkulärt Sverige tänker efter - före!*

https://www.naturvardsverket.se/4adba1/globalassets/media/publikationer-pdf/7100/978-91-620-7170-7.pdf

Naturvårdsverket. (2024c). *Rätt massor på rätt plats ger stor miljönytta*.

https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/ratt-massor-pa-ratt-plats-ger-stor-miljo nytta

Naturvårdsverket. (2025a). *Nationell strategi för cirkulär ekonomi*.

https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/nationell-strategi-for-cirkular-ekonomi/

Naturvårdsverket. (2025b). *Avfall i ett cirkulärt samhälle.*
https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/avfall-i-ett-cirkulart-samhalle/

Naturvårdsverket. (2025c). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*.

https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behover-ta/

Neelamegam, P. (2025). *Building a sustainable future: AI in construction and demolition waste.*

https://mycnr.com/guest-column/building-a-sustainable-future-ai-in-construction-and-demolition-waste/

Norditek. (u.å). *Återvinning av betong.*

https://norditek.se/atervinna-betong/

Pacheco-Torgal, F., Tam, V.W.Y., Ding, Y., & Miraldo, S. (Eds.). (2013). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. Woodhead Publishing.

Peab. (u.å). *Vad är asfalt?*
https://peabasfalt.se/Asfaltprodukter/vad-ar-asfalt/

Poncelet, F., Engelborghs, T. (2023). *Reuse in practise: From deconstruction to implementation.* Interreg North-West Europe FCRBE
https://opalis.eu/sites/default/files/2023-10/en_id23_contractors_web.pdf

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: Measuring innovation in the product chain*. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
https://www.pbl.nl/en/publications/circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains

Rahla, K. M., Mateus, R., & Bragança, L. (2021). *Selection criteria for building materials and components in line with the circular economy principles in the built environment: A review of current trends. Environmental Development.*
https://www.mdpi.com/2412-3811/6/4/49

Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). *The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302756

Rehman, N., Mahmood, A., Ibtasam, M., Murtaza, S. A., Iqbal, N., & Molnár, E. (2021). *The Psychology of Resistance to Change*. Frontiers in Psychology.
https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2021.678952/full

Rockpanel. (u.å). *Hållbarhetsordlista: förklaring av vanliga begrepp och uttryck.*
https://www.rockpanel.com/se/Produktfordelar/hallbarhet/hallbarhetsordlista-forklaring-av-vanliga-begrepp-och-uttryck/

SGU. (u.å.). *Stål och metalindustriavfall*
https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/stal--och-metallindustriavfall/

State of Green. (2024). *Denmark aims to increase the recycling of construction materials.*
https://stateofgreen.com/en/news/new-danish-law-to-increase-repurpose-rates-of-construction-materials/

Stena Recycling. (u.å.). *Aluminiumåtervinning minskar energiförbrukningen med 95%.*

https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/insikter-inspiration/guider-artiklar/re-creating-the-future-aluminium-recycling/

Svensson, K. (2025). *Energiåtervinning.* Avfall Sverige.

https://www.avfallsverige.se/fakta-statistik/avfallsbehandling/energiatervinning

Sveriges geologiska undersökning, SGU. (2014). *Redovisning av regeringsuppdrag – Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar.*

https://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/utvinnings-och-atervinningspotential-metaller-mineral-2014.pdf

Trafikverket. (u.å). Informationsportal.

https://bransch.trafikverket.se/

Trafikverket. (2014). *Undersökningen av trafikarbetet på statligt vägnät.*

Rapport_04v08_Metodbeskrivning_TA_140331

Trafikkverket. (2016). *Sveriges vägnät.*

Sveriges vägnät - Trafikverket

Trafikverket. (2020). *Pilotprojekt- Övertagande av kommunal belysning på statlig väg.*

https://skr.se/download/18.4829a209177db4e31aa4107a/1615796440644/%C3%96vertagande%20av%20kommunal%20belysning%20p%C3%A5%20statlig%20v%C3%A4g%202020-02-25.pdf

Trafikverket. (2021). *Fyrstegsprincipen*.

https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/Planerings--och-analysmetoder/fyrstegsprincipen

Trafikverket. (2022). *Cirkulärt byggande – hinder och möjligheter.* [Rapport 2022:186].
https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2%3A1726571/FULLTEXT01.pdf

Trafikverket. (2023a). *Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi.* [Slutrapport MICE].
https://fudinfo.trafikverket.se/fudinfoexternwebb/Publikationer/Publikationer_007601_007700/Publikation_007660/Slutrapport_MICE.pdf

Trafikverket. (2024a). *PM Nollutsläpp för inrikes transporter 2045 – Resonemang om klimatmålet och tolkningen i basprognos 2024*.

https://bransch.trafikverket.se/contentassets/a505c287326d4bfca66fcb8c0fe2288e/2024/pm-nollutslapp-for-inrikes-transporter-2045.pdf

Trafikverket. (2024b). *Klimatkalkyl - Beräkning av infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv.*

Klimatkalkyl - Beräkning av infrastrukturens klimatpåverkan och energianvändning i ett livscykelperspektiv, modellversion 8.0

Trafikverket. (2024c). *Vägbelysningshandbok.*

https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1920886/FULLTEXT01.pdf

Trivector Traffic. (2021). *Fullt genomslag för fyrstegsprincipen – slutrapport med rekommendationer.* Trivector Traffic.

https://www.trivectortraffic.se/wp-content/uploads/2021/04/2021_38-trafikverket-fullt-genomslag-for-fyrstegsprincipen-slutrapport-v1-0.pdf

Tsui, T., Furlan, C., Wandl, A., & van Timmeren, A. (2023). *Spatial parameters for circular construction hubs: Location criteria for a circular built environment.*

https://doi.org/10.1007/s43615-023-00285-y

Upphandlingsmyndigheten. (u.å.a). *Riva och återvinna.*

https://www.upphandlingsmyndigheten.se/branscher/bygg-och-anlaggning/upphandlingar-under-ett-byggnadsverks-liv/riva-och-atervinna/

Upphandlingsmyndigheten. (u.å.b). *Upphandling för att främja cirkulär ekonomi.*

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

Van Capelleveen, G., Vegter, D., Olthaar, M., & van Hillegersberg, J. (2023). *The anatomy of a passport for the circular economy: a conceptual definition, vision and structured literature review*. *Resources, Conservation & Recycling Advances, 17*. 200131.

https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200131

Wang, L. Webster, M. D. & Hajjar, J.F. (2015). *Behaviour of deconstructable steel - concrete shear connection in composite beams.*

https://coe.northeastern.edu/research/dfd/Wang%2C%20Webster%2C%20Hajjar%20%20-%20Design%20for%20Deconstruction%20-%202015%20SEI%20SC%20Presentation.pdf

Westergren, P. (2004). *Handbok för återvinning av asfalt.* Vägverket.

https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1542336/FULLTEXT01.pdf

Xiao, J. (2017). *Recycled Aggregate Concrete Structures.* Springer.

https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-53987-3.pdf

Zacharia, M. (2025). *Snabb guide till miljövarudeklarationer EPD.* *https://oneclicklca.com/sv/resources/articles/guide-to-epds*

Appendix

1. Vilka material/komponenter är lättast att återvinna

2. Har du erfarenhet av att återanvända/återvinna väg komponenter i projekt?

3. Går det att tänka på återbruk redan när man planerar ett nytt vägprojekt, så att det blir lättare att återanvända delar i framtiden?

4. Tror du att man kan bygga delar av vägprojekt på ett sätt som gör det lätt att plocka isär och använda igen senare?

5. Arbetar ni idag med livscykelanalyser? Om ja, vad brukar vara de största miljöpåverkande delarna i livscykeln?

6. Hur påverkar materialval livscykelkostnaden och miljöpåverkan? Något annat som påverkar?

7. Kan bra underhåll minska behovet av att bygga nytt, och därmed minska klimatpåverkan?

8. Vilka typer av underhållsåtgärder anser du mest effektiva för att förlänga livslängden på befintliga komponenter?

9. Hur ser du på möjligheterna att använda återbrukade material vid nybyggnation eller reparation?

10. Finns det säkerhetskrav eller tekniska regler som gör återbruk mer komplicerat?

11. Hur påverkar Trafikverkets tekniska regelverk möjligheterna att bygga cirkulärt? Hur ni jobbar? Återbrukar?

12. Hur kan krav och arbetssätt anpassas för att göra det lättare att välja återbrukade material och mer hållbara lösningar?

13. Hur tror du att utvecklingen kring klimatneutralitet till 2040 kommer påverka väginfrastrukturs utformning och materialval? Tror du detta mål kommer nås?

14. Har du några egna exempel eller tankar kring hur Trafikverket kan bli bättre på att främja cirkulärt byggande inom projekt?

15. Hur cirkulärt skulle du säga att Trafikverket är idag?

INSTITUTIONEN FÖR TEKNIKENS EKONOMI OCH ORGANISATION
AVDELNINGEN FÖR MILJÖSYSTEMANALYS
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2025

www.chalmers.se