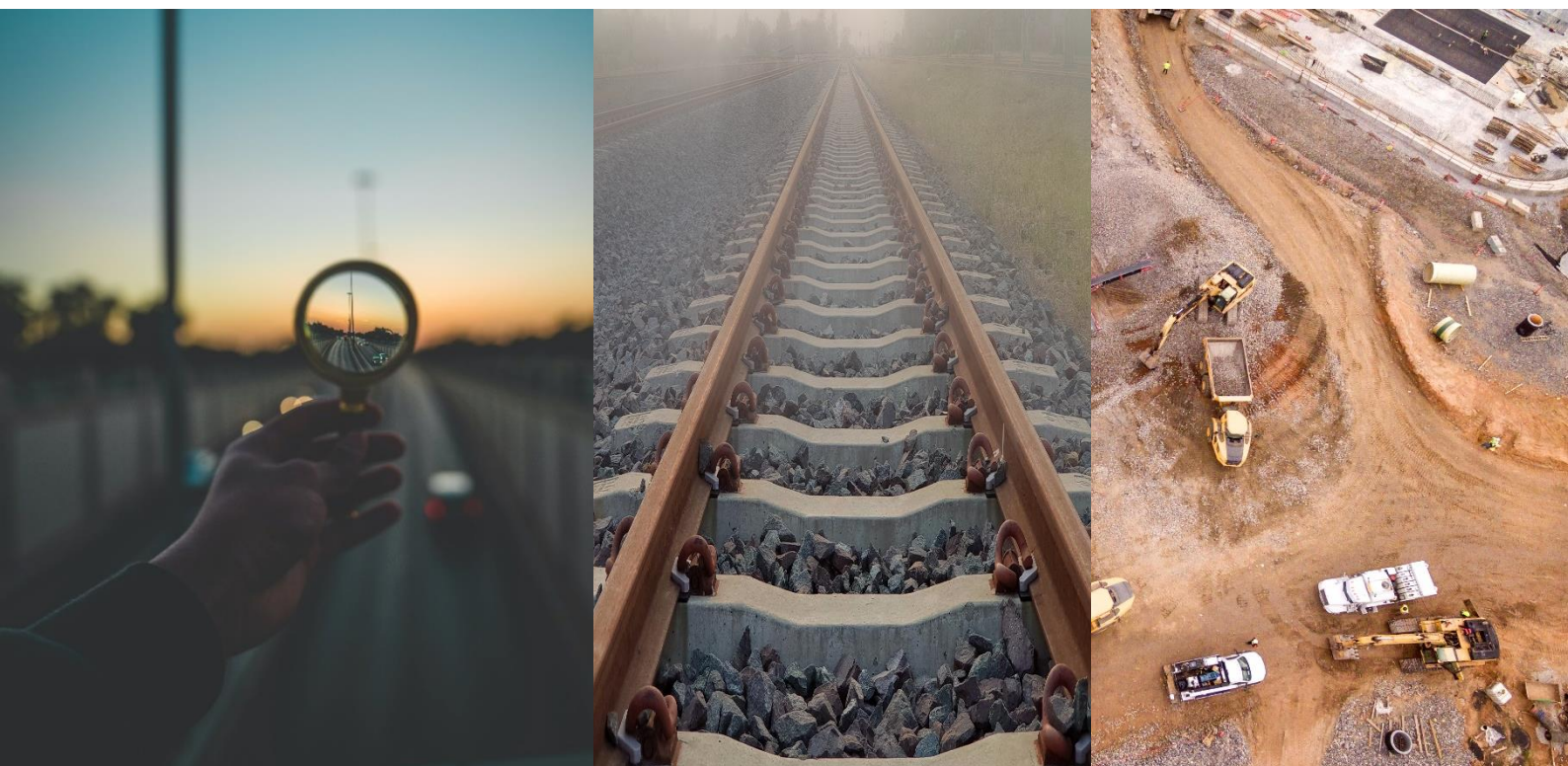


Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi



Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi

Datum: 2023-11-24

Författare: Annica Carlsson, Linköpings Universitet, Fredrik Dunér och Kristina Lundberg, Ecoloop

Uppdragsgivare: Trafikverket

FÖRORD

Denna rapport utgör slutrapporten i projektet MICE - Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi. Projektet är ett samverkansprojekt mellan Ecoloop och Linköpings universitet.

Projektet finansierats av Trafikverket genom FoU portföljen Planering. Trafikverkets handläggare för projektet har varit Maria Hansson i samverkan med Susanna Toller och John Norberg.

Stockholm, november 2023

Kristina Lundberg
Projektledare

SAMMANFATTNING

Genom omställning av ekonomin ska Europa bli den första klimatneutrala kontinenten i världen. Den övergripande målet är att det inte ska finnas några nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 och att den ekonomiska tillväxten ska ha frikopplats från resursförbrukningen. Detta mål ska delvis nås genom en ökad cirkulering av material. Ambitionen om att nå en ökad cirkularitet av material och på så sätt reducera växthusgasutsläppen avspeglas även i svenska regeringens nationella strategi och handlingsplan för cirkulär ekonomi. Strategin fastslår att den cirkulära ekonomin ska vara ett verktyg för att minska samhällets resursanvändning och därmed begränsa klimat- och miljöpåverkan. Bygg- och fastighetssektorn inklusive bygg- och rivningsavfall är ett av totalt sex prioriterade områden.

Den här rapporten presenterar resultat från forskningsprojektet Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi – MICE. Syftet med projektet var att presentera kunskap och underlag om nuläge, förutsättningar och uppföljning gällande materialåtervinning och cirkulär ekonomi kopplat till Trafikverkets samlade verksamhet. Frågeställningarna som låg till grund för arbetet syftade att undersöka hinder och möjligheter för cirkulering av byggmaterial, hur dagens flöden och förråd av byggmaterial i kan beskrivas och kvantifieras, och vilka indikatorer som löpande skulle kunna stödja Trafikverket i arbetet med att uppnå ökad cirkulering av byggmaterial. Projektets analys avgränsades till materialen stål, betong, asfalt och massor.

Materialflödesanalysen som genomfördes beräknade inflöde, lager och utflödet av material från väg- och järnvägsinfrastrukturen. Fokus i analysen var att identifiera vilken data som fanns tillgängliga och att identifiera en metod. Metoden för att beräkna inflöde, lager och utflöde byggdes upp så att resultatet även kan presenteras med en geografisk fördelning per materialkategori, till exempel på kommun eller regionnivå. Resultaten visar att det går att beräkna övergripande inflöde, lager, utflöde av material för Trafikverket men det krävs anpassning av olika datakällor, och bristen på enhetliga identifierade egenskaper i geodata har komplicerat sammanställningen. Studien kan demonstrera svårigheten att sammanställa nuläget för Trafikverkets totala materialanvändning och materialåtervinning på grund av projektbaserade data och bristande kopplingar mellan olika datakällor.

Förslagen på indikatorer för att stödja Trafikverkets arbete med cirkulering av byggmaterial har även de sorterats utifrån inflöde, upplagring, eller utflödet av material från infrastrukturanläggningen. Målsättningen var att visa på vilken typ av information som olika indikatorer skulle kunna ge till Trafikverket i arbetet med cirkulering av byggmaterial, samt en översiktlig beskrivning av dataunderlag som bedöms vara tillgängliga för att beräkna dessa indikatorer. Med hjälp av indikatorerna kan Trafikverket få en ökad kunskap om de flöden av material som omsätts och de materialförråd som förvaltas. Dataunderlag saknas i stor utsträckning idag men projektet har identifierat att dataunderlagen skulle kunna förbättras genom förändrade krav vid upphandling gällande återvinning och återanvändning.

Slutligen ges tre huvudrekommendationer för att accelerera arbetet med cirkulärt byggande kopplat till Trafikverkets verksamhet: 1) Att Trafikverket tar fram en strategi och målbild för cirkulär byggande, i vilken klimatvinster tydliggörs och kvantifieras 2) Att Trafikverket ökar kontrollen och spårbarheten hos material på en övergripande nivå och/eller regionalnivå. 3) Att Trafikverket utvecklar incitament och policy för samordning av projektet, vilket möjliggör en uppskalning av lösningar för mer cirkulära flöden av material.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING.....	6
1.1	Syfte och avgränsningar.....	7
2	ATT KARTLÄGGA OCH FÖLJA FLÖDEN OCH FÖRRÅD AV MATERAIL	7
2.1	Indikatorer för cirkularitet.....	9
3	METOD	10
4	RESULTAT	12
4.1	Materialflödesanalys	12
4.2	Indikatorer för cirkularitet.....	24
4.3	Hinder och möjligheter för cirkulärt byggande.....	27
5	DISKUSSION	30
5.1	Tillgängliga analysunderlag ett hinder för materialflödesanalys.....	30
5.2	Utmaningar och möjligheter för fortsatt arbetet med indikatorer.....	33
6	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER.....	36
7	REFERENSER.....	39
8	BILAGOR.....	44

1 INLEDNING

En central utmaning för samhället är att våra behov i framtiden ska tillgodoses baserat på förnyelsebara och återvunna naturresurser. Råvaruutvinningen i världen har tredubblats under de senaste 50 åren och OECD förutspår en fördubbling av uttaget till 2060 (OECD, 2019). Med detta följer en rad utmaningar i form av tillgång på råvaror, genererade avfallsmängder och utsläpp av växthusgaser.

Inom EU pågår mycket arbete i strävan efter att nå en ökad cirkularitet av material. Europas agenda för hållbar tillväxt - The European Green Deal eller den Gröna given, lanserades av EU kommissionen 2019. Genom omställning av ekonomin ska Europa bli den första klimatneutrala kontinenten i världen. Den övergripande målet är att det inte ska finnas några nettoutsläpp av växthusgaser år 2050 och att den ekonomiska tillväxten ska ha frikopplats från resursförbrukningen.

Handlingsplanen för cirkulär ekonomi utgör en hörnsten i den Gröna given. I fokus för handlingsplanen är resursintensiva sektorer och värdekedjor. Byggnader lyfts här fram mot bakgrund av bygg- och fastighetssektorns totala resursbehov, utsläppen av växthusgaser från materialutvinning och tillverkning av byggprodukter, men också till följd av utmaningar som finns i avfallsgenereringen från sektorn. För ökad materialeffektivitet och minskad klimatpåverkan i byggsektorn listar handlingsplanen bland annat den nu pågående revideringen av Byggproduktförordningen (EU (COM (2022), överväganden om innehåll av återvunnet material för vissa byggprodukter, framtagande av digitala loggböcker för byggnader och att integrera livscykelanalys i offentlig upphandling.

Den svenska regeringen beslutade 2020 om en nationell strategi för cirkulär ekonomi (Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige) och därefter även en handlingsplan. Visionen i strategin är "Ett samhälle där resurser används effektivt i giffria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material". Man betonar också att den cirkulära ekonomin är "ett verktyg för att minska samhällets resursanvändning och den miljöpåverkan som följer av denna". Bygg- och fastighetssektorn inklusive bygg- och rivningsavfall är en av totalt sex prioriterade områdena i strategin.

Trafikverket, Boverket och Svenska Kraftnät fick alla under 2022 i uppdrag att se över omställningen till ett cirkulärt byggande. Trafikverket redovisade sitt uppdrag i december 2022 (Trafikverket, 2022) och i rapporten konstateras bland annat att Trafikverkets arbete med att infrastrukturen ska vara klimatneutral senast 2040, samt långsiktiga mål för en giffri miljö och utfasning av särskilt farliga ämnen kan bidra i omställningsarbetet. Men samtidigt understryks att det finns behov av ett helhetsperspektiv där materialflöden hanteras cirkulärt i projekt, mellan projekt och på systemnivå och där affärsmodeller för detta finns på plats. Boverkets uppdrag som även omfattar framtagande av indikatorer för att följa utvecklingen av en cirkulär ekonomi i byggsektorn ska redovisas under 2024.

Utöver initiativ på nationell och EU-nivå finns det också exempel på kommunala och regionala handlingsplaner för cirkulärt byggande. Information om materialanvändning är dock ofta begränsad vilket gör det svårt att både rapportera och att prioritera åtgärderna för mer cirkulärt byggande. Stockholm, Göteborg och Malmö har tillsammans med Delegationen för cirkulär ekonomi arbetat med *Storstadsöverenskommelse för cirkulärt byggande 2030* (Göteborg Stad, 2021). I rapporten från projektet konstateras att upphandling är ett viktigt område att arbeta vidare med. Men rapporten betonar också behovet av ett ökat fokus på material och materialvolym och att materialflödesanalys (MFA) av i bygg- och anläggningssektorn i de tre storstadsregionerna här skulle kunna vara en väg framåt. Ett annat förslag är att undersöka möjligheten att komplettera storstädernas och Trafikverkets gemensamma miljökrav för entreprenader (Trafikverket, u.å.) med cirkulära krav.

Ett stort antal aktörer i Bygg- och anläggningssektorn, däribland Trafikverket, har inom ramen för *Fossilfritt Sverige* tagit fram en färdplan för en klimatneutral värdekedja i bygg- och anläggningssektorn 2045 (Fossilfritt Sverige, 2018). Planen utgår från en nulägesbeskrivning som bland annat uttrycker att "Bygg- och anläggningssektorn har potential att minimera avfallet och förflytta sig mot cirkulära flöden genom effektivare resursanvändning, ökad återanvändning och återvinning av material". För genomförandet av färdplanen lyfts bland annat arbete för en förändrad råvarusammansättning, planering för cirkulära flöden och en effektivare resursanvändning.

Men trots höga målsättningar saknas det idag en samlad bild av hur den nuvarande materialhantering i bygg- och anläggningssektorn ser ut och vilken utsträckning som material cirkuleras. Det här gäller även för det redan byggda fastighetsbeståndet och infrastrukturen.

Den svenska statliga väg- och järnvägsnätet består samlat av 98 500 kilometer väg och 14 200 spårkilometer järnväg med tillhörande tunnlar, broar med mera (Trafikverket, 2023). Denna omfattning gör Trafikverket till en intressant aktör som bygger, äger, förvaltar och genererar stora utflöden av material vilka skulle kunna utgöra en resursbas både för den egna och andras verksamheter. Men för att kunna följa och utvärdera om hinder för cirkulärt byggande kan överbryggas behövs kunskap både om nuläget och hur förändringar av materialflöden ska kunna utvärderas kontinuerligt.

1.1 Syfte och avgränsningar

Syftet med den här rapporten är att presentera kunskap och underlag om nuläge, förutsättningar och uppföljning gällande materialåtervinning och cirkulär ekonomi kopplat till Trafikverkets samlade verksamhet. Rapporten utgör redovisningen av FoU-projektet *Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi* – MICE.

Följande frågeställningar har varit centrala för projektet:

- Vilka hinder och möjligheter kan identifieras i planeringsprocesser i Trafikverkets arbete för ökad cirkulering av byggmaterial?
- Hur kan dagens flöden och förråd av byggmaterial i Trafikverkets verksamhet beskrivas och kvantifieras baserat på befintlig kunskap och redan tillgängliga dataunderlag?
- Vilka indikatorer baserat på befintliga datakällor skulle löpande kunna stödja Trafikverket i arbetet med att uppnå ökad cirkulering av byggmaterial?"

Projektet har avgränsats till fyra huvudsakliga materialgrupper; asfalt, stål, betong och massor. Dessa materialgrupper har valts ut eftersom de står för en hög andel av klimatpåverkan från anläggningsprojekt. Exempelvis beräknas asfalt, betong och stål stå för 80 procent av klimatpåverkan från materialtillverkning till svenska vägar och järnvägar (Liljenström m.fl., 2019). Ordvalet "material" utgör i sammanhanget en förenkling, dvs den unika sammansättningen för asfalt, stål eller betong har här inte tagits hänsyn till.

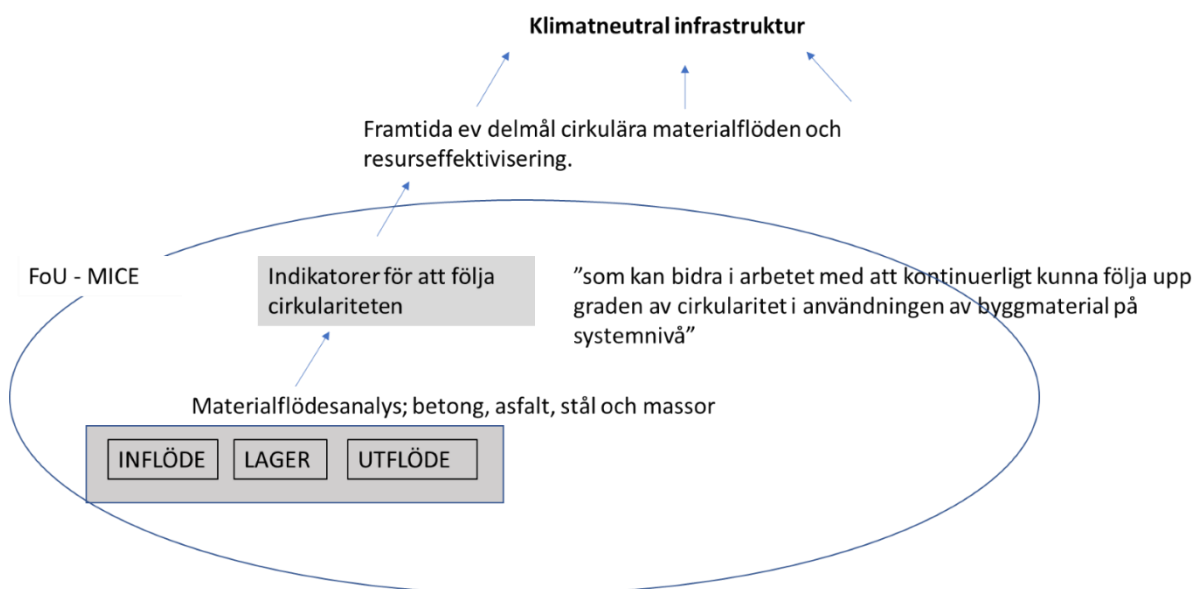
2 ATT KARTLÄGGA OCH FÖLJA FLÖDEN OCH FÖRRÅD AV MATERAIL

Enligt *The Circularity Gap Report* (2021) kan en mer cirkulär ekonomi minska de globala växthusgaserna med 39 % och minska användningen av jungfruliga material med 28%. Sverige har dock en lång väg att gå inom detta område och de allra flesta resurser som används för att tillgodose våra behov och önskemål kommer från jungfruliga källor.

För att kunna styra utvecklingen åt en mer cirkulär ekonomi och minska växthusgasutsläppen från byggsektorn behövs effektiva styrmedel och åtgärder. För detta behövs även utökade dataunderlag över hur mycket material som används, hur mycket som är inbyggt i lager eller förråd, och hur mycket material som frigörs, eller kan frigöras ur lager och förråd. Idag saknas den här information i stor utsträckning. Genom ökad kunskap om ett systems materialflöden på sektors- och organisationsnivå skapas därmed bättre förutsättningar för att styra mer effektivt mot en mer cirkulär användning av material, i enlighet med den Gröna Given och Agenda 2030 målen.

En ökad kunskap om materialflödet och graden av cirkularitet inom Trafikverket syftar ytterst till att kunna mäta och följa upp målet om en klimatneutral infrastruktur 2040. Eftersom det finns en stark koppling mellan omsättningen av material och klimatpåverkan blir en resurseffektiv materialanvändning centralt i Trafikverkets arbete att nå en klimatneutral infrastruktur. Frågeställningarna i MICE fokuserar på flöden och förråd för vissa klimatintensiva materialgrupper och hur cirkulariteten av dessa materialgrupper kan följas på systemnivå. Dessutom ingick en studie om hinder och möjligheter för ökad cirkulering av byggmaterial i Trafikverkets verksamhet.

Materialflödesanalys har visat sig vara ett användbart verktyg för att analysera cirkularitet i ett systemperspektiv (men också som grund för utveckling och utvärdering av indikatorer för cirkularitet (Brunner och Rechberger, 2004; Gradel, 2019; Ledere m.fl., 2020). En materialflödesanalys inom Trafikverket med inflöde – lager/förråd – utflöde av material såsom betong, asfalt, stål och schaktmassor ger viktig information och dataunderlag och kan till exempel visa hur mycket stål som finns inlagrat i en viss region och hur mycket av detta som skulle kunna användas framöver för att täcka ett framtida uppskattat materialbehov av stål. Med detta som grund går det att göra analyser hur långt stålet som längst bör transporteras. Motsvarande gäller även andra materialslag. Med stöd i data från materialflödesanalyser kan indikatorer användas för att följa och stödja Trafikverkets arbete med cirkulering av byggmaterial. Genom indikatorerna går det att följa trender och utifrån detta ta beslut om åtgärder och styrmedel för att närma sig det övergripande målet om klimatneutral infrastruktur (jmf. Figur 1).



Figur 1. Visualisering av hur frågeställningarna i FoU projektet Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi – MICE kopplar till Trafikverkets övergripande mål om en klimatneutral infrastruktur 2040.

Målsättningar som uttrycks för den cirkulära omställningen handlar om att reducera inflödet av råvaror, men att fortsatt säkerställa tillgång på material/råvaror, att minska förlusterna av material, reducera miljöpåverkan och inte generera avfall. Detta ska nås genom strategier så som förändrad design, förlängd livslängd på produkter och att upprätthålla värde på material. Men samtidigt är kunskapen begränsad om hur omsättningen och upplagringen av produkter och material ser ut i olika delar av samhället. Det finns idag få data om materialförråd inom ramen för statistiksystemet eller hos enskilda aktörer. Generellt sett har det varit viktigare att följa inflöden av material i form av exempelvis uttag av naturresurser eller utflöden i form av läckage till miljön eller materialflöden som går till avfallshantering (SCB, u.å.). Ett större intresse har dock börjat växa fram inom forskningen för att förstå och kvantifiera förrådet, eller lager, av material som har byggts in i samhället (Brunner, 2011; Wallsten m.fl., 2013; Haberl m.fl., 2021).

En uppskattning av mängden material som lagras in i samhället på nationell nivå kan fås genom de Sankey-diagram över olika länders materialflöden som är under utveckling av den Europeiska statistikbyrån, Eurostat¹. Denna visar att upplagringen av material per capita är högre i Sverige än EU-genomsnittet. Exempelvis var upplagringen av metaller i Sverige 2021 5,96 ton/capita medan motsvarande värde för EU som helhet var 0,45 ton per capita (Eurostat, u.å.). Detta mått behöver dock delas upp på olika sektorer för att kunna säga något om hur mycket material som byggs in och finns lagrad inom bygg- och anläggningssektorn, eller vidare hanteras inom ramen för myndighetsuppdrag. Flera initiativ har gjorts i forskningsstudier för att kartlägga förråd av material i infrastruktur (exempelvis Haberl m.fl., 2021; Rousseau m.fl., 2022).

Material som tillförs den byggda infrastrukturen, så som vägar, broar och järnvägar, byggs ofta in i anläggningar som kan vara i bruk under flera decennier och materialen blir då tillgängliga för återbruk eller återvinning först när de når slutet av sin livscykel. Samtidigt används också en stor mängd material för att utöka eller underhålla befintliga byggnader och infrastruktur. Materialförråden i sig blir därmed också en drivkraft för samhällets behov av resurser. Sammantaget kan sägas att så länge efterfrågan på material till byggnader och infrastruktur överstiger mängden material som kan tillföras från återvunnet material så kommer tillskott från primärutvinning av råvaror att vara nödvändiga även i en omställning till en mer cirkulär ekonomi.

2.1 Indikatorer för cirkularitet

Det finns ett växande antal vetenskapliga publikationer om indikatorer för cirkulär ekonomi. I likhet med EU:s indikator Circular Material Use Rate, CMUR (EEA, 2023; Eurostat, u.å.), baseras flera av indikatorförslagen på uppkomna mängder material som skulle kunna återföras till ekonomin (Moraga m.fl. 2019). Men fler och fler studier pekar på vikten av att se till de förråd av material och produkter som redan finns inbyggda i samhället återförs, liksom vikten av omsättningshastighet och livslängden för olika typer av material (Coenen m.fl., 2021; Linder, m.fl., 2017; Zhang m.fl., 2021; van Oorschot m.fl., 2023). Vidare diskuteras i detta sammanhang också att indikatorer kan mäta inbyggd cirkularitet, dvs huruvida ett cirkulärt angreppssätt har applicerats vid exempelvis utformning och tillverkning av produkten, eller mäta följden av cirkularitet, dvs exempelvis minskad miljöpåverkan, och att indikatorer för att följa cirkularitet kan finnas över hela denna skala (Saidani m.fl., 2019). Flertalet av de

¹https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/circular_economy/sankey.html?geos=SE&year=2021&unit=THS_T&materials=TOTAL&highlight=&nodeDisagg=0101100100&flowDisagg=true&language=EN&material=TOTAL

förslag på indikatorer som tagits fram har ett fokus på cirkulär ekonomi på produktiv nivå (Virtanen m.fl., 2019, Ellen MacArthur, 2023, SIS, u.å.; Carlsson, 2022). Sammantaget är antalet introducerade indikatorer mycket stort, vilket också återspeglas i den inventering av området som OECD sammanställde 2021 där nära femhundra indikatorer för att följa den cirkulära ekonomin listades (OECD, 2021).

3 METOD

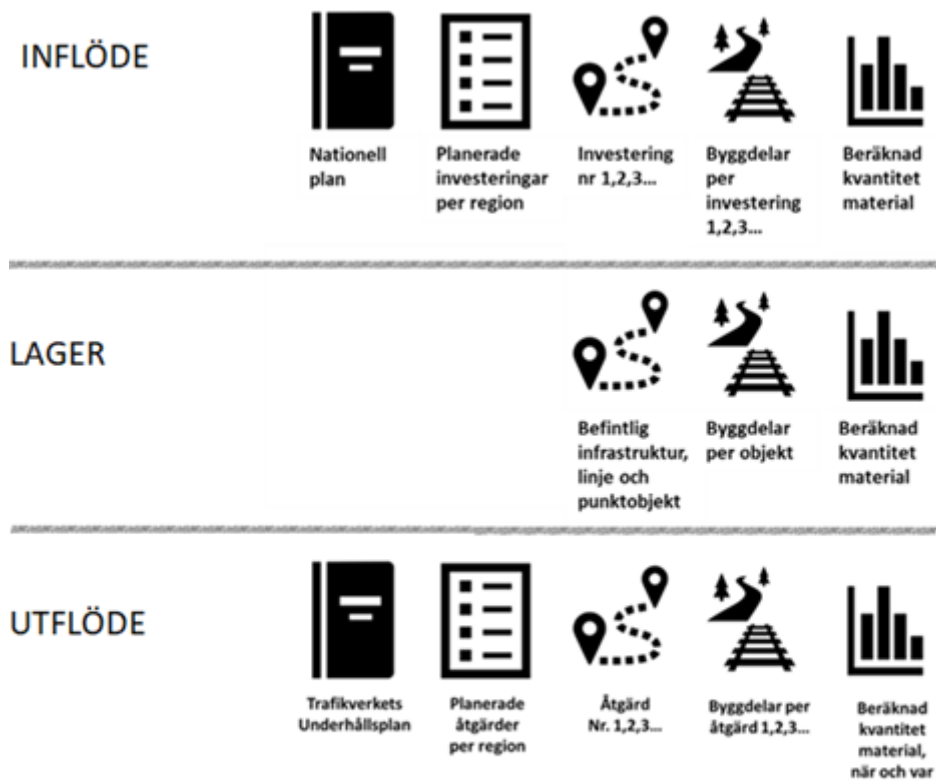
För att nå projektet syfte har en kombination av metoder använts. Metoderna har i huvudsak baserats på litteraturstudier, intervjuer och workshops samt materialflödesanalys. Litteraturstudien har innefattat sökningar både i vetenskapliga databaser som sökningar efter andra typer av rapporter och branschspecifikt material och legat till grund för omvärldsanalysen, hinder och möjligheter till cirkulärt byggande, såväl som arbetet med indikatorer.

Projektet har genom semi-strukturerade intervjuer med aktörer i sektorn undersökt hinder och möjligheter för ökad cirkularitet av byggmaterial (Malmgren, 2023). En rad intervjuer och samtal har dessutom genomförts med tjänstepersoner inom Trafikverket. Dessa personer har på olika sätt varit inblandade i delar av myndighetens verksamhet som syftar till att återbruka byggdelar och material eller att sammanställa dataunderlag som beskriver Trafikverkets verksamhet. Intervjuer samt workshoparbete har även använts som grund i materialflödesanalysen och för framtagandet av indikatorer för cirkulärt byggande.

Omvärldsanalysen som genomfördes under hösten 2022 fokuserade på europeisk och nationell styrning av cirkulär ekonomi samt praktisk tillämpning i Norden (Lundberg m.fl., 2022). Resultatet av denna analys finns redovisat i en separat rapport samt i Trafikverkets regeringsuppdrag (Trafikverket, 2022). Fokus i omvärldsanalysen var att studera hur motsvarigheterna till Trafikverket i andra nordiska länder, samt Nederländerna och Storbritannien arbetar med cirkulär ekonomi i byggandet. Detta genomfördes genom analys av års- och miljörapporter och satsningar som har gjorts inom Fol projekt.

Utöver litteraturstudier och intervjuer har en materialflödesanalys genomförts i projektet. Materialflödesanalys har visat sig vara en användbar metod för att förstå flöden av material på olika nivåer i samhället (Brunner och Rechberger, 2004; Graedel, 2019). Denna analys kan användas både för att identifiera och kvantifiera flöden och förråd av olika material, men också som underlag för att identifiera åtgärder för ökad resurseffektivitet och cirkulär ekonomi (Lederer m.fl., 2020; Kalamykova m.fl., 2018) eller för att illustrera förråd av upplagrade material i den byggda infrastrukturen (Wallsten m.fl., 2013).

Materialflödesanalysen som genomfördes i detta projekt är avgränsad till fyra huvudsakliga materialkategorier; stål, asfalt, betong och massor och har genomförts för hela Trafikverkets verksamhet. I MICE projektet har analysen syftat till att beskriva flöden och lager för dessa materialkategorier i samband med planerade investeringar (inflöde) och planerade underhållsåtgärder (utflöde) samt volymen inbyggt material inom befintlig infrastruktur (lager). Bara åtgärder som för järnvägsanläggningen kategoriserats som reinvesteringar och mindre åtgärder med förstärkt underhåll, eller för väganläggningen underhåll inklusive reinvesteringar har tagits med. Att metodansatsen till delar är baserad på planer gör också att det bör betonas att resultaten är att se som en generalisering. Det faktiska utfallet på in- och utflödenas storlek kan exempelvis komma att ändras vid förändrade budgetamar. Figur 2 redovisar vilka ingångsparametrar som används till materialflödesanalysen.



Figur 2. Övergripande metodbeskrivning för beräkning av inflöde, lager och utflöde av material

Arbetet med att identifiera förslag på indikatorer för att stödja Trafikverket i arbetet med cirkulering av byggmaterial har bestått i flera steg (Figur 3). En första bruttolista med indikatorer togs fram baserat på projektets omvärldsanalys och sökningar i vetenskaplig litteratur efter indikatorer inom Trafikverkets verksamhetsområde. Bruttolistan av indikatorer användes underlag för en workshop vilken genomfördes med projektets referensgrupp samt inbjudna områdesexperter från Trafikverket i september 2023. Utifrån workshopens diskussioner bearbetades urvalet och olika typer av indikatorer grupperades. Denna lista med förslag på indikatorer presenteras i rapporten tillsammans med en första bedömning av datatillgång och indikatorernas möjliga uttolkning. Listan med indikatorer är primärt att se som ett kunskapsunderlag för vidare diskussion. Frågeställningen om vilka indikatorer som kan stödja Trafikverket i arbetet med cirkulering av byggmaterial hänger även samman med andra frågeställningar så som: *Vad skulle vara bäst att mäta? (exempelvis i relation till EU strategier, nationella strategier eller möjliga kommande myndighetsegna strategier inom cirkulär ekonomi?); Vad kan mätas? (kostnadseffektivt och kontinuerligt över tid?)*. På dessa frågor finns sällan entydiga svar och valet av indikatorer kommer därmed vara beroende av utfallet av en samlad bedömning av vad myndigheten önskar följa upp. Avslutningsvis redovisas översikten av indikatorer utifrån deras beskrivningar och uttrycks inte kvantitativ.



Figur 3. Arbetsprocess för att identifiera förslag på indikatorer för att följa upp graden av cirkularitet

4 RESULTAT

Frågeställningarna som undersökts i projektet och som presenteras nedan är en modell eller ramverk för beräkningar av flöden och förråd av byggmaterial i Trafikverkets verksamhet och som kan beskrivas och kvantifieras baserat på tillgängliga dataunderlag. Dessutom ges förslag på typer av indikatorer som löpande skulle kunna stödja Trafikverket i arbetet med cirkulering av dessa byggmaterial. Förslagen på indikatorer för cirkulärt byggande har sorterats utifrån en grov indelning på om de främst omfattar inflöde av material, upplagring av material eller handlar om att följa utflödet av material från infrastrukturanläggningen.

Utöver flöden och förråd av byggmaterial och indikatorer för att följa cirkulariteten har hinder och möjligheter för att cirkulera byggmaterial i större utsträckning undersökts och en omvärldsanalys som kan indikera hur Trafikverket ligger till i detta arbete jämfört med andra motsvarande organisationer i vår nära omvärld.

4.1 Materialflödesanalys

Som ansvarig myndighet för den långsiktiga planeringen, byggandet och förvaltningen av svensk transportinfrastruktur hanterar Trafikverket stora materialflöden. Över mycket lång tid har stora materialvärden tagits i anspråk och blivit del av denna infrastruktur i syfte att uppfylla Sveriges transportpolitiska målsättningar. Utöver detta innebär nybyggnad och underhåll kontinuerliga materialflöden till och från det uppbyggda lagret.

I syfte att illustrera, visualisera och i största möjliga mån kartlägga alla dessa delar har en materialflödesanalys genomförts för ett urval centrala materialkategorier. Dessa är massor, asfalt, stål och betong inom ramen för vilka enskilda byggdelar som t.ex. betongslipers, balkräcken och fyllnadsmaterial ingår. Kartläggningen har utgått från identifierade tillgängliga data.

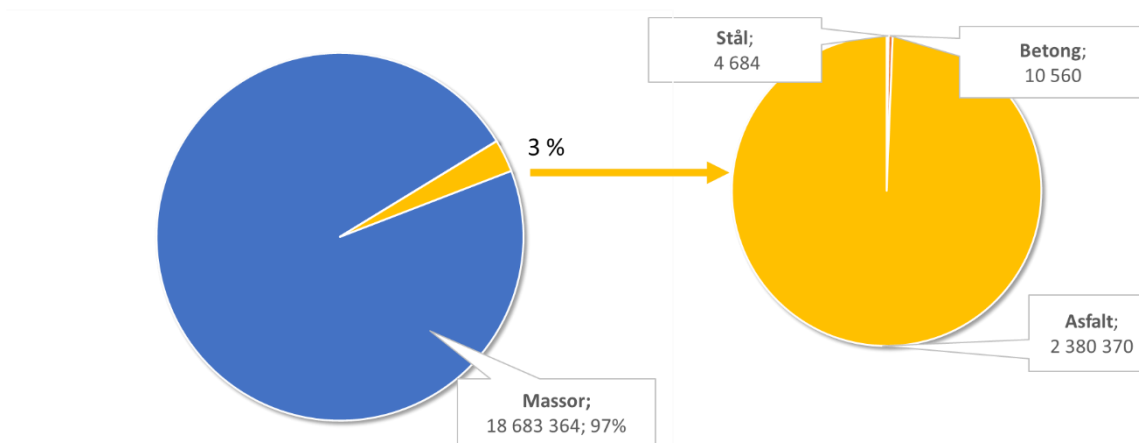
Beräknat inflöde och lager ger en nulägesbild av vilket anspråkstagande av material planerade infrastrukturinvesteringar innebär samt inbyggda material och deras geografiska fördelning. Utgångspunkten för att kartlägga utflödet av material från infrastrukturen har på samma vis som för inflöde och förråd av material varit att identifiera data som finns tillgängliga hos Trafikverket. Vidare har projektet valt av att arbeta med en framåtriktad ansats, vilket inneburit att fokus har varit på att identifiera en metod som skapar förståelse för vilka flöden som kan komma att frigöras ur materialförrådet i framtiden. Förluster av material genom slitage, korrosion eller erosion har inte inkluderats i kartläggningen eftersom dessa flöden har bedömts som små i relation till de totala flödena och förråden av material i infrastrukturen.

Vid sidan av beräknat inflöde, lager och utflöde illustreras även den geografiska fördelningen per materialkategori i olika kommuner i Region Skåne. Detta är för att exemplifiera hur materialflödesanalysen kan utgöra underlag för diskussion hur de lager av material som infrastrukturen innebär kan förvaltas på nationell, regional och lokal nivå.

4.1.1 Inflödet av material

Beräknat inflöde av material utgår från föreslagna investeringar i väg- och järnvägsinfrastruktur enligt *Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022–2033* (Trafikverket, 2021) med tillhörande underlagsrapport (Trafikverket, 2021). Som komplement till detta har planhandlingar och tillgängliga dokument för enskilda namngivna investeringar sammanställts. Detta var i syfte att matcha planerade investeringar mot Klimatkalkyls typåtgärder. Fokus för beräkningar har varit namngivna investeringar som föreslås för byggstart 2022–2024, föreslås förberedas för byggstart 2025–2027 eller föreslås förberedas för byggstart senare under planperioden.

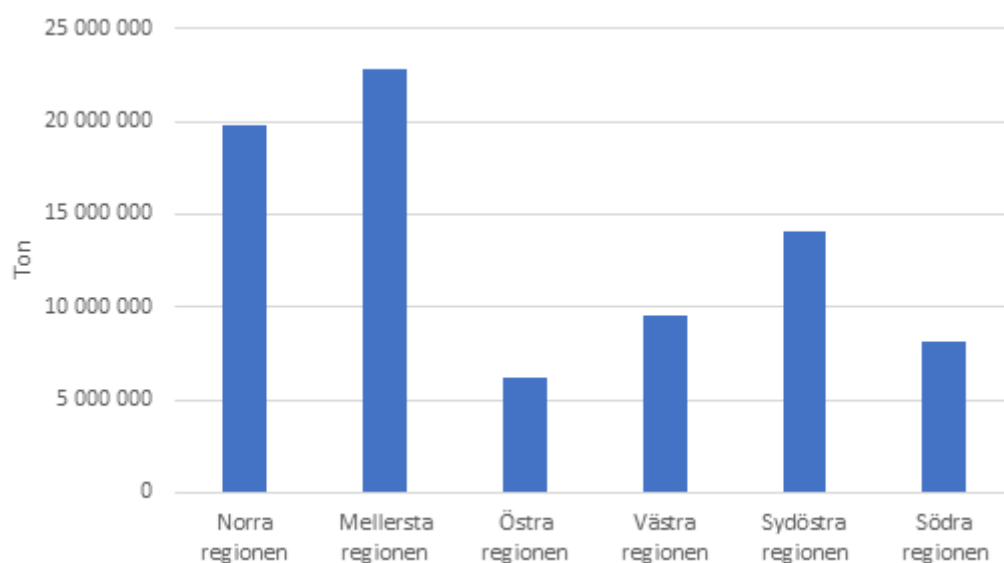
Nedanstående figurer visar resultatet av ett sådant angreppssätt, uppdelat på inflöde till väginvesteringar och till järnvägsinvesteringar. Samtliga figurer visar ton av respektive material. Dataunderlaget kan även presenteras geografiskt i form av kartor (se Figur 13 och Figur 14). Genomförda beräkningar beskriver inte klimatpåverkan till följd av respektive materialmängd. Vid beräknad klimatpåverkan är materialkategoriernas relativa fördelning sannolikt en annan. Beräknade resultat är avhängiga beskriven metod.



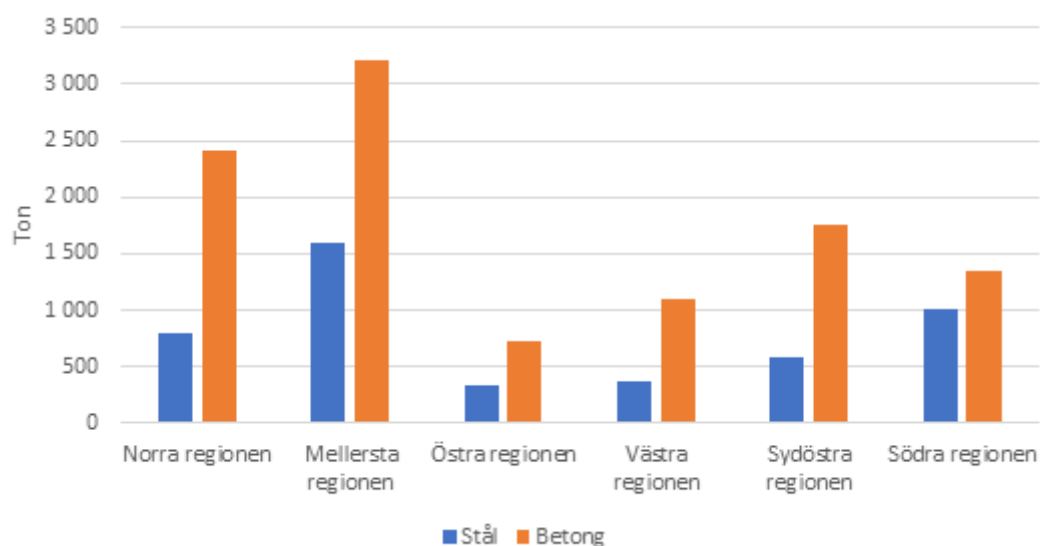
Figur 4. Inflödet av material (ton) beräknat utifrån planerade investeringar i vägar enligt nationell plan för transportinfrastrukturen.

Presenterade figurer exemplifierar resultat för planerad väginfrastruktur. Motsvarande beräkningar för järnvägsinfrastruktur har genomförts men presenteras inte. Underlaget är dock bristfälligt för vissa regioner och två regioner saknade helt investeringsåtgärder av relevans för projektet.

Inflödet av material kan med vald metod fördelas och presenteras utifrån Trafikverkets regioner. Figur 5 visar inflödet av *massor* till planerade investeringar i vägar enligt nationell plan för transportinfrastrukturen och fördelningen mellan regioner. Figur 6 visar inflödet av *stål* och *betong* på motsvarande sätt.

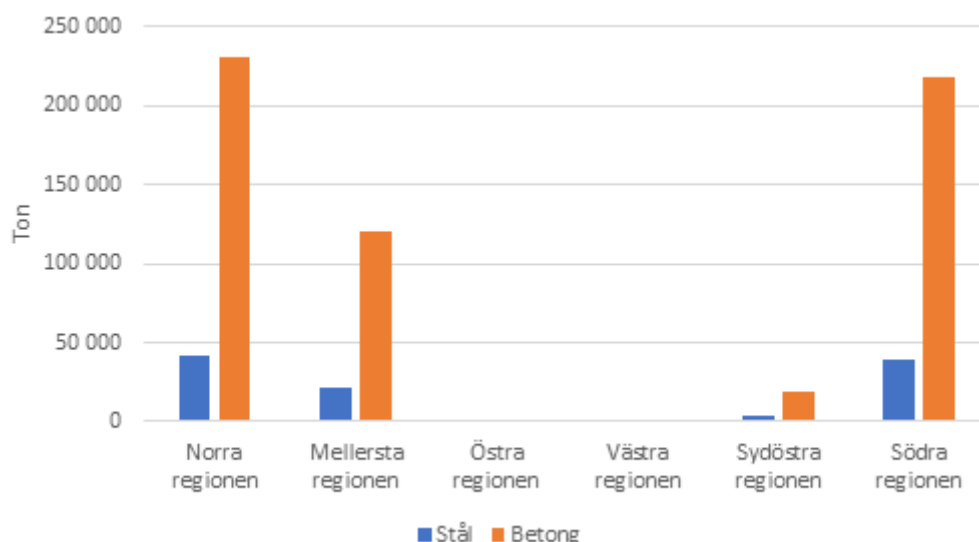


Figur 5. Ton massor som del av planerade investeringar i vägar enligt nationell plan för transportinfrastrukturen.



Figur 6. Ton stål och betong som del av planerade investeringar i vägar enligt nationell plan för transportinfrastrukturen.

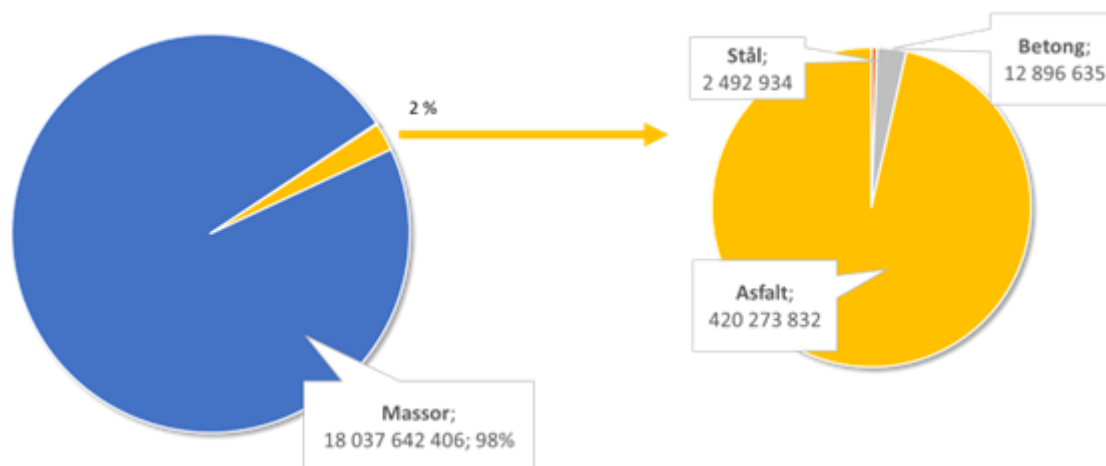
Inflödet av stål och betong är betydligt högre i de planerade järnvägsinfrastrukturprojekten jämfört med väginfrastruktur (Figur 8), men i dagsläget saknas två regioner helt i underlaget så en heltäckande bild av inflödet av material kan inte presenteras. För både Östra och Västra regionen saknas relevanta namngivna investeringar som föreslås för byggstart 2022-2024 eller föreslås förberedas för byggstart 2025-2027 eller senare.



Figur 7. Ton stål och betong som del av planerade investeringar i järnväg enligt nationell plan för transportinfrastrukturen.

4.1.2 Infrastrukturen som material

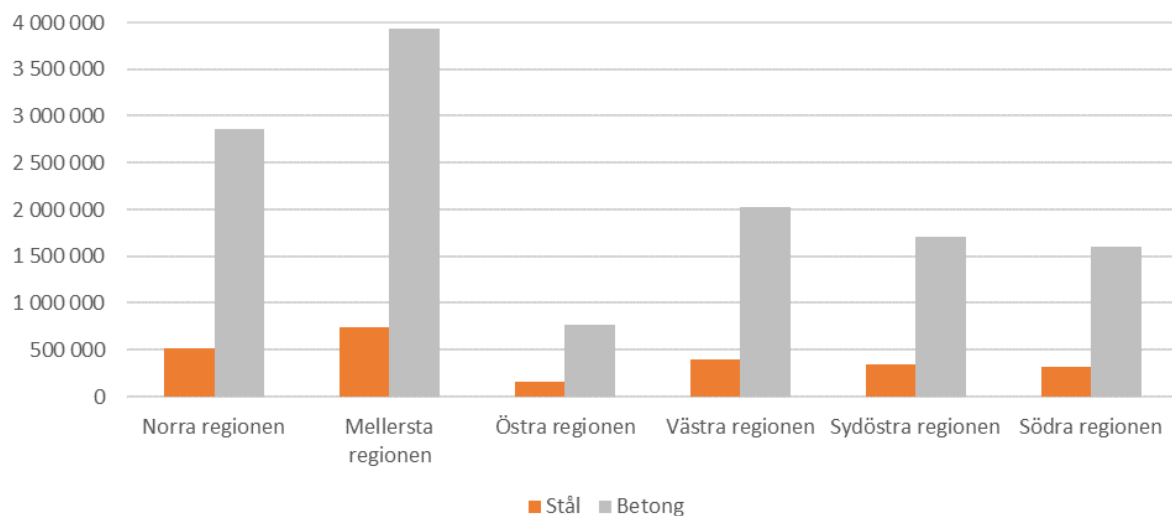
Materialförråden av massor, asfalt, stål och betong som är inlagrade i infrastrukturen är beräknade efter befintlig infrastruktur, beskriven i tillgänglig öppen geodata. Nedanstående figurer visar resultatet av det inlagrade materialet för Trafikverkets samlade befintliga väg- och järnvägsinfrastruktur enligt beskriven metod. Samtliga figurer visar ton av respektive material. I absoluta tal är det inlagrade material störst när det gäller massor, följt av asfalt, betong och stål.



Figur 8. Materialförrådet av material för Trafikverkets samlade väg- och järnvägsinfrastruktur i Sverige. Figuren visar material av massor, asfalt, betong och stål mängder i ton.

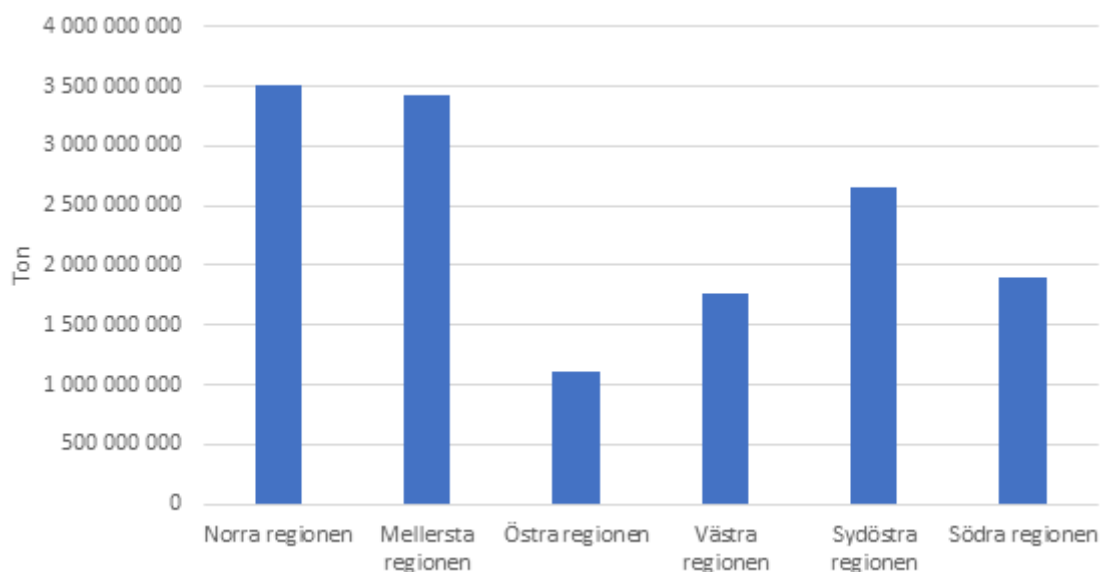
Fördelen med metoden är att resultatet kan presenteras på olika sätt utifrån vilken information som efterfrågas. Några exempel på sådana sätt att presentera materialet visas nedan. Det kan till exempel vara lämpligt att kunna visa materialförrådet uppdelat på Trafikverkets regionala indelning (Figur 9). Inom ramen för detta projekt har inga fördjupande analyser gjorts på resultatet men skillnaderna regioner emellan beror sannolikt främst på regionens geografiska storlek. Utöver detta spelar förekomsten av olika vägtyper särskilt stor roll. Till exempel beror skillnaden mellan den absoluta mängden stål och betong i Norra

regionen och Sydöstra regionen på förekomsten av mötesseparerade vägar och motorvägar.



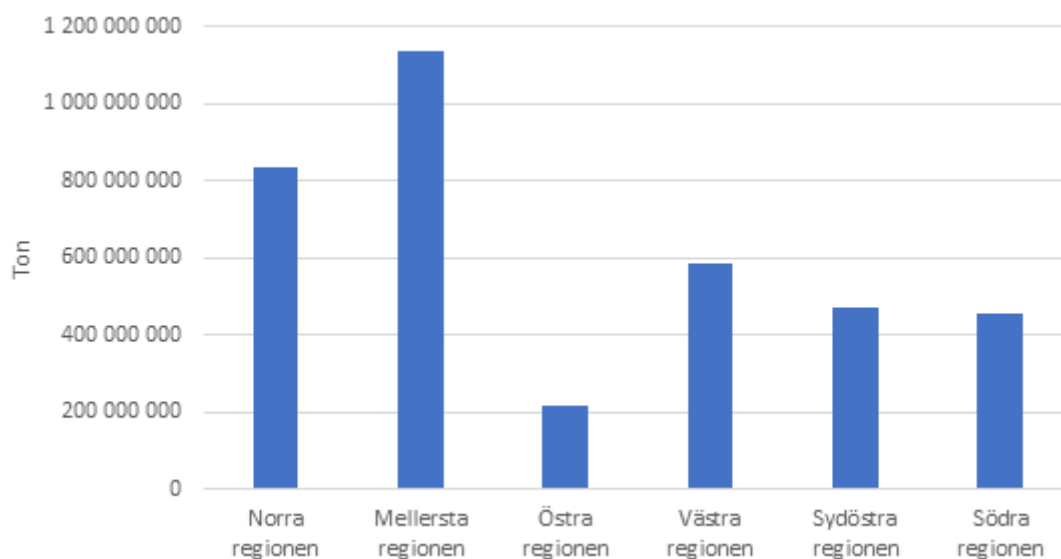
Figur 9. Inlagrade material mängder stål och betong (ton) i den befintliga väg-och järnvägsinfrastrukturen fördelat på Trafikverkets regioner.

Det går även enkelt att presentera och redovisa materialförrådet för väg- respektive järnvägsinfrastruktur. Figur 10 visar materialförrådet av massor i befintlig väginfrastruktur, fördelat på Trafikverkets regioner.



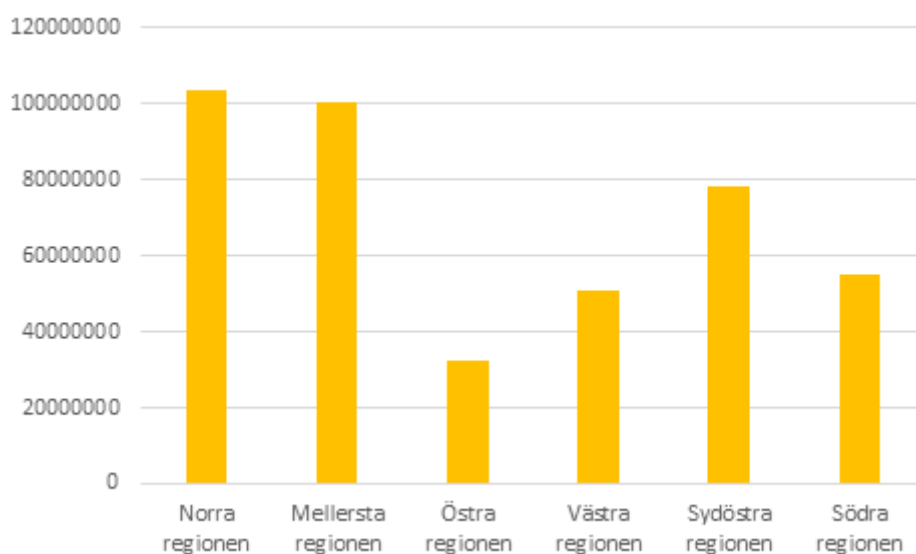
Figur 10. Ton inlagrade massor i den befintlig väginfrastrukturen i Trafikverkets regioner

På motsvarande sätt kan inlagrat material i järnvägsinfrastrukturen lyftas fram (Figur 11). Fördelningen av inlagrat material i järnvägsinfrastrukturen skiljer sig något i fördelningen mellan regionen jämfört med motsvarande resultat för järnvägsinfrastrukturen. Skillnaderna mellan regioner beror för järnvägsinfrastrukturen sannolikt i stor utsträckning på både regionernas geografiska storhet och på avstånd mellan befolkningscentra.



Figur 11. Ton massor inlagrad som förråd i den befintliga järnvägsinfrastrukturen. Mängderna är fördelade enligt Trafikverkets regionala indelning.

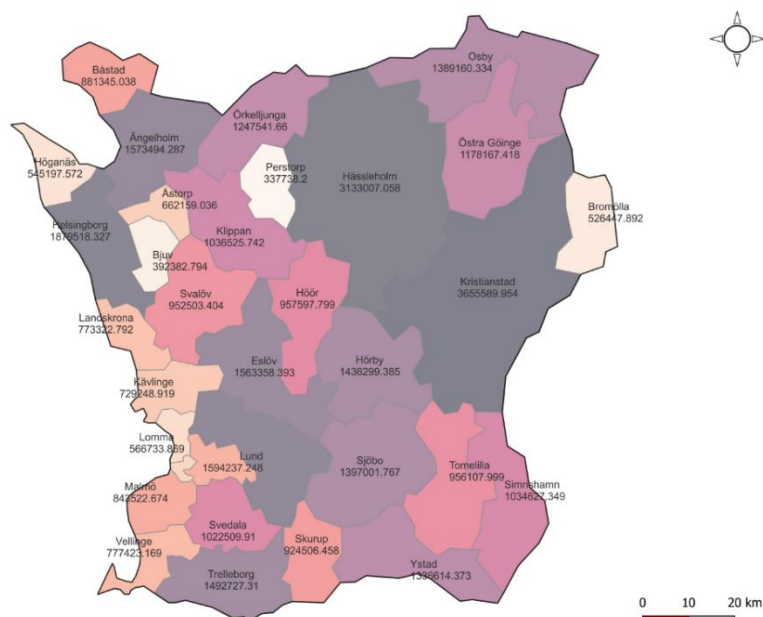
Fördelningen av asfalt i väginfrastrukturen följer samma fördelning av materialmängder som de inlagrade massorna i väginfrastrukturen. Detta beror naturligtvis på att den samlade mängden kilometer väg samt då även kvadrat- och kubikmeterasfalt är större i den mellersta och norra regionen (Figur 12).



Figur 12. Materialförrådet av asfalt inlagrat i den Svenska väginfrastrukturen fördelat på Trafikverkets regioner

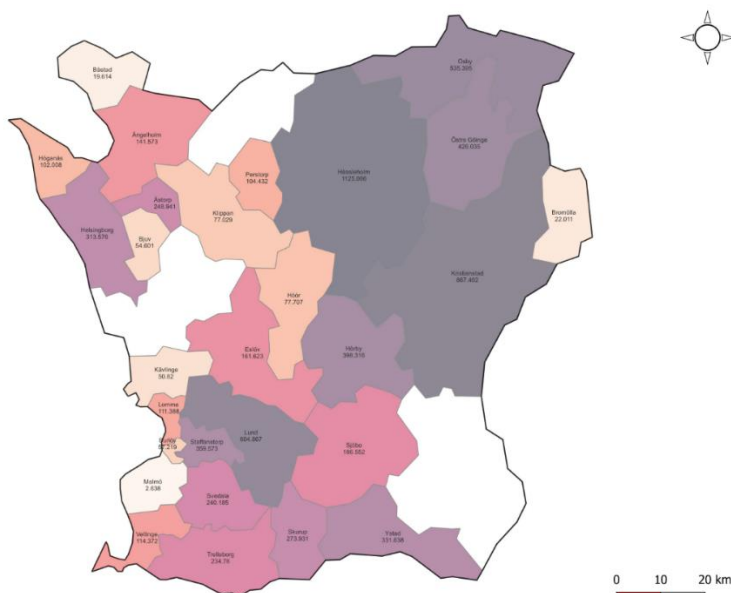
Med hjälp av GIS-program har materialflödesanalysens resultat beskrivits efter geografisk fördelning. Inom ramen för projektet har detta genomförts för väginfrastruktur för en utvald exempelregion där ingående material kopplats till enskilda kommuner. Resultatet går naturligtvis även att presentera utifrån Trafikverkets regionala indelning. Analysen har genomförts med hjälp av QGIS. Detta är ett möjligt verktyg för att närmare kartlägga och illustrera ingående material som in- och utflöde av material i syfte att kommunicera lokala, regionala och nationella förutsättningar och potentialer i fortsatt eller uppföljande kartläggningar.

Figur 13 exemplifierar ingående asfalt per kommun i Skåne län. Motsvarande figurer går att ta fram för samtliga undersökta material och för hela Sverige.



Figur 13. Ton asfalt inlagrat i den befintlig väginfrastruktur och kommun i Skåne län.

Efter beskriven metod är det tydligt hur den genomförda kopplingen mellan Klimatkalkyls schabloner och tillgängliga data över vägtyper påverkar beräkningsresultat. Förekomsten eller avsaknaden av särskilda vägtyper är avgörande inte minst vad gäller förekomst av stålprodukter i väginfrastrukturen där resultat i praktiken beskriver hur vanliga motorvägar och mötesfria vägar är. Figur 14 beskriver förekomsten av stålprodukter enbart del av schabloner för mötesfria vägar.



Figur 14. Ton stål per befintlig väginfrastruktur (mötesfria vägar) och kommun i region Skåne.

4.1.3 Utflöde av material från väg- och järnvägsanläggning

Trafikverket presenterar årligen en underhållsplan för de kommande fyra åren. I projektet har vi utgått från Trafikverkets underhållsplan för åren 2023–2026 (Trafikverket, 2023) för att undersöka möjligheten till ett samlat dataunderlag om utflödet av material. Utgångspunkten har varit att söka kvantifiera det framtida möjliga utflödet baserat på de åtgärder som listas i underhållsplanen de kommande åren och samlat från alla planerade åtgärder och kunskap om byggdelar per åtgärd få ett mått på de materialmängder som skulle kunna vara möjliga att cirkulera. Som nämnts tidigare har bara åtgärder som för järnvägsanläggningen kategoriserats som *reinvesteringar* och *mindre åtgärder med förstärkt underhåll*, eller för väganläggningen *underhåll inklusive reinvesteringar* har inkluderats som underlag. Andra åtgärder som drift och basunderhåll (här ingår exempelvis snöröjning och spårslipning) är inte med i metodansatsen för att kartlägga utflödet. Förluster av material exempelvis genom slitage, korrosion eller erosion har inte inkluderats då dessa flöden har bedömts som små relativt sett de totala flödena och förråden av materia i infrastrukturanläggningen.

Underhållsplanens åtgärder är indelad olika områden. För järnvägsanläggningen är dessa *spår, signal, el, byggnadsverk* och *station*, medan underhållsplanen för väganläggningen sorterar mellan *beläggning, bro, installation* och *tunnel*. Endast åtgärdsområden där utflöden av de fokuserade materialgrupperna bedöms förekomma undersökts. Detta innebär till exempel att åtgärder som spårbyten inkluderas men inte åtgärder inom området el så som byte av kontaktledning.

Planerade åtgärder i Underhållsplanen finns samlade i ett IT-stöd hos Trafikverket. Systemet kräver behörighet men för att pröva metodansatsen har ett aggregerat uttag över planerade åtgärder och framtida utflöden av material från järnvägsanläggningen åren 2023–2026 genomförts. Sett till möjlighet att kvantifiera materialflöden innehåller systemet uppgifter om sträckan som påverkas, typ av åtgärder som ska genomföras (exempelvis slipersåtgärder, spårbyten eller antal växlar som ska bytas) och en grov tidsplanering. Genom att kombinera detta med genomsnittliga schabloner över vikten per enhet för respektive byggdel kan totalmängden på utflödet uppskattas. Det bör dock nämnas att materielmängderna kan skilja stort för samma typ av byggdel. För att exemplifiera kan en växel variera från 30 meter till 130 meter vilket då även ger en stor variation i antalet sliprar (sliprar ligger med ett mellanrum på 600 mm). I en vidareutvecklad metodansats skulle även data som idag finns tillgängliga via entreprenörer, exempelvis specifika tekniska data för respektive typ av byggdel, kunna kopplas till åtgärderna i underhållsplanen och därmed kunna generera en bättre bild av utflödet, eller för att ta fram säkrare materialschabloner.

Uttaget exemplifierar flöden av materialen stål och betong som uppkommer om de planerade utbytena av spår- räl och växel genomförs på ett antal sträckor. Denna information kan genom uppgifter i systemet även kopplas till geografisk position och det möjliga utflödet skulle då även kunna visualiseras. Sannolikt återvinns och återbrukas stora delar av detta material redan idag men informationen om detta finns inte samlad i ett system². Denna typ av information om materialflödet skulle dock kunna bidra till ökade förutsättningar för cirkularitet mellan projekt och på systemnivå det krävs också ett helhetsperspektiv där materialflöden hanteras cirkulärt i projekt, mellan projekt och på systemnivå och där affärsmodeller kan utvecklas.

Tabell 1. Exempelberäkning för kommande utflöden av material från Järnvägsanläggningen från planerade spår- och växelbyten Syd och Skåne 2023–2026. (Värt att notera är att alla åtgärder i underhållsplanen utreds av entreprenörer och specialister innan de genomförs och kan därför ändra omfattning. Dessutom har ett stort antal antaganden om vikter gjorts varför det inte är givet att tabellen återspeglar verkligheten).

Järnvägsanläggning, planerade spår- och växelbyten SYD, 2023–2026			
Totalt utflöde, Räl	3 545	ton	Baserat på en antagen vikt per räl på 60,34 kg/m x totalt antal SPM m x 2 spår ^{1,2}
Totalt utflöde, Växel	377	ton	Baserat på ett antagande om att en spårväxel är 65 m lång x vikten på räl 60,34 kg/m *2
Totalt utflöde, Slipers exkl. växel	13 266	ton	Baserat på att sliprarna ligger med ett mellanrum på 600 mm. Dvs vid ett spårbyte på 1km byts 1666–1667 sliprar ut och att varje sliper väger 271 kg
Totalt utflöde, Slipers inkl. växel	14 676	ton	Antaganden enl. ovan
Järnvägsanläggning, planerade spår- och växelbyten SKÅNE, 2023–2026			
Totalt utflöde, Räl	2 398	ton	Baserat på en antagen vikt per räl på 60,34 kg/m x totalt antal SPM m x 2 spår ^{1,2}
Totalt utflöde växel	110	ton	Baserat på ett antagande om att en spårväxel är 65 m lång x vikten på räl 60,34 kg/m *2
Totalt utflöde, Slipers exkl. växel	8 976	ton	Baserat på att sliprarna ligger med ett mellanrum på 600 mm. Dvs vid ett spårbyte på 1km byts 1666–1667 sliprar ut och att varje sliper väger 271 kg
Totalt utflöde, Slipers inkl. växel	9 387	ton	Antaganden enl. ovan

1) https://media.vossloh.com/media/nordic/dokumentation_for_nedladdning/Rals_C.pdf

2) I Klimatkalkyl uppges vikten på Räls UIC 60 till 120,8 kg/m vilket har antagits vara vikten för två.

Järnvägsanläggning, planerade spår- och växelbyten SYD, 2023–2026			
Totalt utflöde, Räl	3 550	ton	Baserat på en antagen vikt per räl på 60,34 kg/m ¹ x totalt antal SPM m x 2 spår
Totalt utflöde, Växel	380	ton	Baserat på ett antagande om att en spårväxel är 65 m lång x vikten på räl 60,34 kg/m *2
Totalt utflöde, Slipers exkl. växel	13 270	ton	Baserat på att sliprarna ligger med ett mellanrum på 600 mm. Dvs vid ett spårbyte på 1km byts 1666–1667 sliprar ut och att varje sliper väger 271 kg
Totalt utflöde, Slipers inkl. växel	14 680	ton	Antaganden enl. ovan
Järnvägsanläggning, planerade spår- och växelbyten SKÅNE, 2023–2026			
Totalt utflöde, Räl	2 400	ton	Baserat på en antagen vikt per räl på 60,34 kg/m ¹ x totalt antal SPM m x 2 spår
Totalt utflöde växel	110	ton	Baserat på ett antagande om att en spårväxel är 65 m lång x vikten på räl 60,34 kg/m *2
Totalt utflöde, Slipers exkl. växel	8 980	ton	Baserat på att sliprarna ligger med ett mellanrum på 600 mm. Dvs vid ett spårbyte på 1km byts 1666–1667 sliprar ut och att varje sliper väger 271 kg
Totalt utflöde, Slipers inkl. växel	9 390	ton	Antaganden enl. ovan

1) https://media.vossloh.com/media/nordic/dokumentation_for_nedladdning/Rals_C.pdf

2) I Klimatkalkyl uppges vikten på Räls UIC 60 till 120,8 kg/m vilket har antagits vara vikten för två.

Även om det med denna metodansats går att uppskatta kvantiteter bör man vara medveten om att det inte inkluderar allt material, och det bygger på en plan som kan komma att ändras genom exempelvis förändrade budgetramar. Vid beställning av åtgärder upptagna i underhållsplanen utreds dessa även av entreprenörer och specialister varpå åtgärderna kan ändra omfattning om man ser en bättre lösning.

Underhållsplanens olika gränsdragningar har även visat sig vara komplex. Exempelvis finns det åtgärder som inte sorterar in i någon kategori; så som utbyte av vissa kantbalkar eller reparation av viltstängsel och vägräcken vilket i sin tur bidrar till att flöden av material som betong och stål kopplat till dessa åtgärder i väganläggningen missas med underhållsplanen som underlag för att förstå utflödet. De åtgärder har gått att inkludera i metodansatsen för uppskattningen av utflödet är vidare de åtgärder som inom Trafikverket är definieras som Re-investeringar. Utöver denna typ av åtgärder sker det även åtgärder som kan genererar utflöden av material av PL (planering) och UHd (Distriktet).

Vidare är utflödet att se som en uppskattning och i praktiken kan det komma att genereras ytterligare materialflöden vid respektive åtgärd i underhållsplanen. Exempelvis kan alla växelbyten komma att innebära spårbyten – detta för att uppfylla krav om samma spårssystem runt om växlar. Enligt Trafikverket kan det handla om allt mellan 50–300 m spårbyte (pers. kom. 2023-09-06) vilket omräknat till kvantitet exempelvis skulle motsvara ett intervall mellan 5–30 ton stål.

Mot bakgrund av utfallet av metodansatsen bedöms det vara möjligt att få fram en bild av det framtida utflöden av material tillgängliga för återvinning och eller återbruk genom att utgå från Underhållsplanen. Man bör dock ha med sig i tanken att den nu föreslagna metodansatsen utan vidare integrering av olika IT-stöd vid Trafikverket kommer vara arbetsintensivt att kontinuerligt genomföra för hela anläggningen. Men samtidigt bedöms detta ge mer information om materialmängder möjliga för cirkulering än att exempelvis enbart koppla schabloner på livslängd till det beräknade materialförrådet.

Vid upphandling av arbeten inom underhåll tillfaller idag material många gånger till entreprenören. Den efterföljande hanteringen av material och vilka flöden av materialen som återvinns och till vad återkopplas generellt inte annat än för material som innehåller vissa farliga ämnen. I framtiden skulle därför förändrade krav vid upphandling när det gäller återbruk och återvinning kunna bidra till förbättrade dataunderlag över sammansättningen av utflödet. Denna typ av information om materialflödet skulle kunna vara ett viktigt steg för till bättre förutsättningar för cirkularitet både på projektnivå och på systemnivå.

4.1.4 Rimlighetsanalys av resultat av vald metod

Beräknat inflöde, lager och utflöde av material presenterar storheter efter beskriven metod vilka utan kontext kan vara svåra eller problematiska att förhålla sig till eftersom dessa resultat bygger på en lång rad generella antaganden. Två olika ansatser används för resultatbedömningen, dels en jämförelse med Sveriges materialkonsumtion per år dels den nulägesbeskrivning av resursanvändning vid konstruktion och vidmakthållande av Trafikverkets anläggningar som genomfördes av WSP under 2022. Dessa jämförelser fokuserar främst på denna studies beräknade inflöde av material. Detta motiveras av att det, utifrån författarnas kännedom, saknas annat tillämpbart material för att uppskatta lagret eller utflödet av material.

Som statistikansvarig myndighet publicerar SCB årliga miljöräkenskaper för Sverige. Dessa inkluderar flöden av material inom och mellan Sverige och andra länder efter vilka indikatorer

som inhemsk materialkonsumtion (Domestic Material Consumption (DMC)) och resurseffektivitet (Resource productivity) presenteras. DMC beskriver den samlade volymen av material som nyttjas av företag och hushåll i ett land och innefattar inhemsk materialutvinning samt import och export av material. Resurseffektivitet beskriver resursanvändning i förhållande till bruttonationalprodukt (BNP) i syfte att följa eventuell frikoppling av ekonomisk utveckling och resursförbrukning över tid. Resursproduktivitet är huvudindikator för EU:s strategi för hållbar utveckling (SCB, u.å.). DMC presenteras enligt materialkategorier i tre nivåer enligt metoden EW-MFA (Economy-Wide Material Flow Accounts) framtagna av Eurostat.

Tabell 2. Ton DMC per materialkategori för Sverige år 2019, 2020 och 2021 (SCB, u.å.)

	Materialkategori	2019	2020	2021
MF1	Biomass	64 586 870	58 212 120	58 924 960
MF2	Metal ores (gross ores)	63 087 930	59 979 940	64 815 770
MF3	Non.metallic minerals	113 687 490	113 072 720	113 542 510
MF4	Fossil energy materials/carriers	18 422 200	17 505 870	15 431 140
MF5	Other products	4 356 950	3 955 760	4 795 340
MF6	Waste for final treatment and disposal	773 290	990 960	1 705 670

För denna jämförelse antas projektets fyra definierade materialkategorier ingå i någon av DMC-klassificeringens materialkategorier enligt Tabell 2. Som sammanställningen visar har statistiken för inhemsk materialkonsumtion för flera materialkategorier varierat avsevärt mellan olika år.

Jämförelsen är av nödvändighet översiktlig. Den visar främst Trafikverkets samlade inflöde som andel av Sveriges uppskattade materialkonsumtion utifrån en "rimlighetsbedömning" av den genomförda materialflödesanalysen som bygger på att inget materialflöde bör överstiga Sveriges samlade materialanvändning men däremot kan utgöra en inte obetydlig delmängd. Projektets materialkategorier antas ingå inom ramverket för DMC enligt Tabell 3. För jämförelse har materialkonsumtion till följd av planerade infrastrukturinvesteringar fördelats över rådande planperiod, 2022–2033. Jämförelseår är 2021.

Tabell 3. MICE materialkategorier som del av DMC

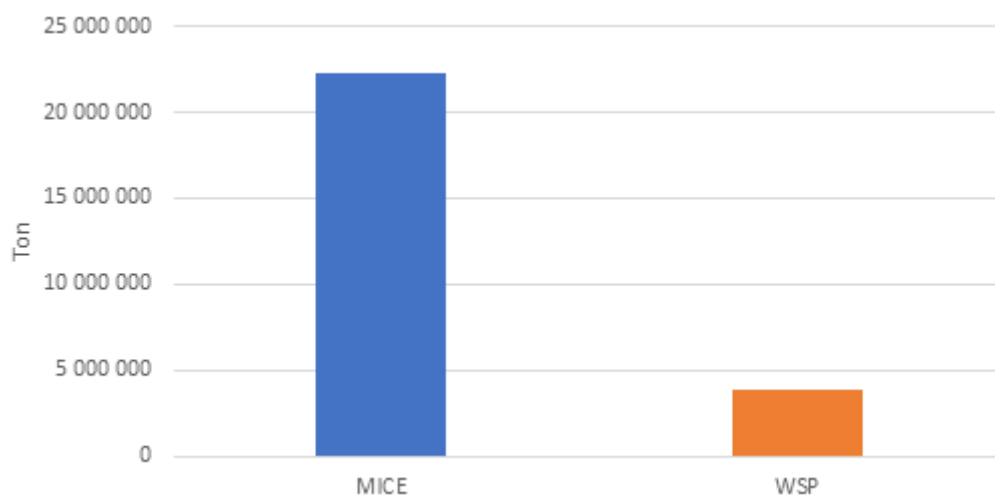
Materialkategori (MICE)	Materialkategori (DMC)	Kommentar
Massor	3	Antas ingå i kategori 3 under bl.a. 3.8 – Sand and gravel
Asfalt	4	Antas ingå under kategori 4 under 4.3 – Products mainly from fossil energy products
Stål	2	Antas ingå i kategori 2 under 2.3 – Products mainly from metals
Betong	3	Antas ingå i kategori 3 under 3.11 – Products mainly from non-metallic minerals

I syfte att kartlägga användningen av asfalt, betong, stål, massor och primärenergi i byggande och vidmakthållande av Trafikverkets anläggningar genomfördes under 2022 en

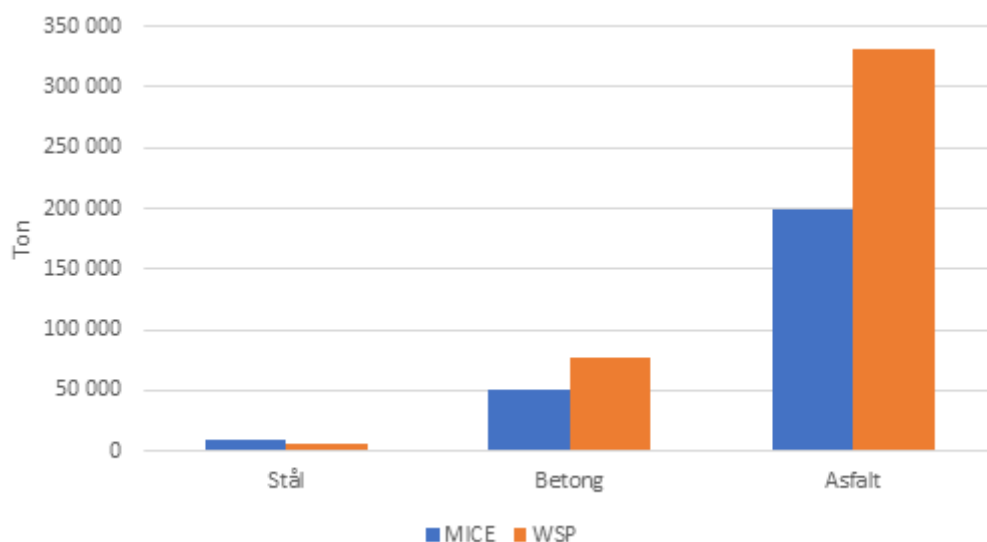
nulägesbeskrivning. Kartläggningen av resursanvändning i byggande av ny infrastruktur utgår från namngivna och övriga projekt som öppnade för trafik år 2021. Beräkningar har genomförts med klimatdeklarationer, klimatkalkyler samt ekonomiska kostnader som underlag (WSP, 2022).

För jämförelse med beräknat *inflöde* från denna studie är den tidigare nulägesbeskrivningen av större objekt relevant. Delresultat från den tidigare genomförda studien jämförs med den förväntade materialkonsumtionen i samband med planerade infrastrukturinvesteringar under den rådande planperioden 2022–2033. Tidigare genomförd studie och denna har olika metodansatser och underlag vilket medför att direkt jämförelse inte är lämplig. Författarnas förhoppning är dock att presentationen av dessa resultat tillsammans kan underlätta tolkning och uppskattning av Trafikverkets resursanvändning.

Uppskattad användning av massor skiljer sig avsevärt åt, för övriga materialkategorier är skillnaderna mindre uppenbara. Vid sidan av skillnader i dataunderlag kan den avsevärda skillnaden i beräknat flöde av massor förklaras av metodmässiga skillnader. Dessa bör utvärderas ytterligare för att närmare identifiera vilken beräkningsmetod som bäst beskriver Trafikverkets resursanvändning.



Figur 15. Beräknat inflöde av massor och nulägesbeskrivning av användningen av massor i stora projekt öppnade år 2021 (WSP, 2022).



Figur 16. Beräknat inflöde av stål, betong och asfalt samt nulägesbeskrivning av dito i stora projekt som öppnade år 2021 (WSP, 2022).

4.2 Indikatorer för cirkularitet

Förslagen på indikatorer för att stödja Trafikverkets arbete med cirkulering av byggmaterial har sorterats utifrån en grov indelning på om de främst omfattar inflöde av material, upplagring av material (förråd/lager), eller handlar om att följa utflödet av material från infrastrukturanläggningen, Tabell 4. Målet med sammanställningen är att visa på vilken typ av information som olika indikatorer skulle kunna ge till Trafikverket i arbetet med cirkulering av byggmaterial, samt en översiktlig beskrivning av dataunderlag som bedöms vara tillgängliga för att beräkna dessa indikatorer. Förslagen på indikatorer gör därmed inte anspråk på att vara heltäckande avseende alla dimensioner i omställningsarbetet till en cirkulär ekonomi. Tanken med indikatorerna är att ökad kunskap om de flöden av material som omsätts och de materialförråd som förvaltas sett över tid kan ge ett bidrag till Trafikverkets arbete för att uppnå ett mer cirkulärt byggande.

Tabell 4. Uppslag på indikatorer för att stödja Trafikverkets arbete med cirkulering av byggmaterial. Listan avser främst att utgöra ett underlag för fortsatt diskussion vid myndigheten.

Inflöde	Förråd / Lager	Utflyde
Material Input Inflöde av material ton	Mängd material inbyggt i infrastrukturanläggningen	Mängd bygg- och rivningsavfall ton
Mängd återvunna material ton andel av inflödet som utgörs av återvunna material, %	Livslängd på material/anläggning	Mängd material till återvinning Ton
Mängd återanvända material ton alt andel av inflödet som utgörs av återanvända material, %	Uppnådd funktion per materialförråd. exempelvis antal resor per mängd materialförråd	Mängd material till återanvändning ton (internt Trafikverket och externt)
Uppföljning av krav på att bygga återvinningsbart och med återvunnet material	Anpassningsförmåga Adaptability (till olika typer av användning)	Mängd material till deponi Ton
Material Scarcity Indicator Materialknapphet, %		Återvinningsgrad för bygg- och rivningsavfall %

Indikatorn *Material Input* har fokus på inflödet av material, vanligen uttryckt i ton. I litteraturen finns flera förslag på liknande materialflödesbaserade indikatorer, vilka alla redogör för den totala mängden material som har använts för ett givet system och eller funktion (se exempelvis det nederländska ramverket för indikatorer för cirkulär ekonomi CB'23 (2022)). En indikator som följer inflödet av material kan vidare vara fördelad på förnybara material, icke-förnybara material, eller i likhet med nationell statistik över materialkonsumtionen DMC vara uppdelad på olika materialgrupper så som metaller, icke-metalliska mineral, biomassa osv. (SCB, u.å.). Inflöden av material för de materialgrupper som ingått i MICE-projektet bedöms vara möjliga att kvantifiera baserat på den i rapporten föreslagna metoden av att se till investeringar i väg- och järnvägsinfrastruktur (jmf metod och resultatkapitel).

En vidareutveckling av uppskattningen av det samlade inflödet av material, är indikatorer vilka återspeglar *Mängd återvunna material* eller *Mängd återanvända material*. Detta antingen uttryckt i ton, alternativt som andel (%) av det totala inflödet. Målsättningen med dessa indikatorer är att följa i vilken grad återvunna material används och ersätter andra material. För EU och nationellt finns en liknande indikator i "Circular material use rate", CMUR, %, vilken mäter material som cirkuleras och går tillbaka till ekonomin i relation till den totala materialanvändningen. Indikatorn beräknas även i Sverige av Statistikmyndigheten, SCB (SCB, u.å.). EU:s indikator CMUR inbegriper inte några kvalitetsaspekter så som vad materialet har återbrukats och eller återvunnits till, ej heller inom vilka sektorer som materialet använts. Indikatorerna inkluderar inte heller värdet på materialen som cirkuleras. För EU som helhet beräknades andelen återvunnet material i produktionen 2022 till 11,7% (Eurostat, u.å.) men det är stora skillnader mellan medlemsländerna. Nederländerna och Belgien når högst nivåer med runt 20%, medan motsvarande andel för Sverige var 6,6%. Det går också att se stora skillnader mellan olika materialgrupper, där metaller når en betydligt högre andel återvunnet material i produktionen än icke-metalliska mineraler och biomassa. Den samlade bedömningen är att det för flertalet material behövs ett fortsatt utvecklingsarbete för att kunna kvantifiera indikatorerna *Mängd återvunna material* eller

Mängd återanvända material för Trafikverket. Detta både vad gäller material som tillförs från andra entreprenörer och eller material som cirkuleras i den egna verksamheten. För ett material som asfalt, där det redan idag finns etablerade metoder och rutiner för sortering och återvinning genom returasfalt, så bedöms möjligheterna vara större i närtid. Vidare bör det på sikt vara möjligt att kvantifiera indikatorerna för s.k. Tekniskt Godkänt Järnvägsmateriel (TGM) och andelar av begagnat TGM (se exempelvis sidan "Begagnat tekniskt godkänt material (TGM) och bristartiklar" (Trafikverket, u.å.).

En indikator för *Uppföljning av krav på att bygga återvinningsbart och med återvunnet material* är kopplad till (förslagen i) Trafikverkets regeringsuppdrag om cirkulärt byggande (Trafikverket, 2022). I redovisningen av regeringsuppdraget nämns eventuella framtida möjligheter att tydligare styra mot krav på att bygga återvinningsbart (idag ställs bland annat krav på innehåll av farliga ämnen); "Krav skulle även kunna utvecklas för att styra mot framtida återanvändning, eller återvinning, ur ett mer praktiskt perspektiv, exempelvis genom krav på design och byggmetoder som förenklar framtida demontering och sortering". Hur denna typ av indikator skulle kunna utformas för Trafikverket behöver utredas vidare. Ett exempel på uppföljning av krav vid utformning av infrastruktur kan ses en fallstudie av broar hos Rijkswaterstaat, Nederländerna (Coenen et al., 2021). Inom arbetet med EU:s ramverk för indikatorer för cirkulär ekonomi pågår även utvecklingsarbete för att följa cirkulär upphandling, de första data förväntas här publiceras 2024. Trafikverket medverkar också Upphandlingsmyndighetens regeringsuppdrag om cirkulär ekonomi och fossilfri upphandling.

Utgångspunkten för *Material Scarcity Indicator* är att tillgången på vissa material är mer begränsad än för andra. Sett till uppföljning för cirkulärt byggande omfattar indikatorn därmed ett mått på att för Trafikverket följa mängden material som används som är fysiskt knappa sett utifrån kända reserver av materialen. Indikatorn skulle kunna följa material som är kritiska för materialförsörjningen i Trafikverkets verksamhet, men också i vad mån Trafikverket använder material som finns upptagna på EU:s lista över s.k. CRM-ämnen (Critical Raw Materials) (COM (2020) 474 final).

Att mäta *Livslängd* syftar till att följa varaktighet av material. Livslängd på material och produkter är också en vanligt återkommande typ av indikator för uppföljning av cirkularitet och resurseffektivitet (Linder m.fl., 2017, Zhang m.fl. 2021). Livslängd är också ett mått som används redan idag vid Trafikverket för att beskriva väg- och järnvägsanläggningen (detta exempelvis i Trafikverkets nationell plan för transportinfrastrukturen 2022–2033 och i Underhållsplanen). Utöver livslängd uttryckt i år används även andra enheter. Exempelvis för Järnvägsanläggningen används idag enheten tonnage, som miljoner bruttoton alt miljoner bruttoton per 100 m, vilket är ett mått på antal ton som har passerat järnvägsanläggningen som visar belastningen per år.

En indikator nära sammankopplat med livslängd är nyttjandegraden av material och anläggningen och att följa upp ett effektivt nyttjande av de material som redan är i användning. Indikatorn *uppnådd funktion per materialförråd* skulle då i sammanhanget av Trafikverkets verksamhet kunna uttryckas som antal resor som per anläggningens materialförråd, eller likt ovan som bruttoton per år och beräknat materialförråd i infrastruktur anläggningen. Men för denna typ av indikator bedöms det finnas fortsatta utvecklingsbehov både vad gäller metod och tolkning av resultat, exempelvis vad som avses med funktion (jmf. exempelvis det Nederländska ramverket CB'23 (2020).

Adaptability Denna indikator kan förenklat uttryckas som materialförrådets/konstruktionens möjlighet att anpassas till olika typer av användningar - vilket i sin tur kan tolkas som ett exempel på en dematerialiseringsstrategi (Coenen m.fl. 2021).

Utfödet av material från infrastrukturanläggningen uppkommer bland annat som *bygg- och rivningsavfall*. Material från bygg- och anläggningssektorn finns med som en del i EU:s reviderade avfallsdirektiv (EU COM (2020) 98 final) genom krav på att förberedandet för återanvändning, materialåtervinning och annat materialutnyttjande av icke-farligt byggnads- och rivningsavfall är minst 70 viktprocent, %. Mängden bygg- och rivningsavfall följs upp av Naturvårdsverket som konstaterar att målet på 70 procent återvinningsgrad inte nås (år 2020 var återvinningsgraden 52,7 procent). Statistiken uttrycks dock var förknippad med stora osäkerheter och är inte heller uppdelad på sektorer. Trafikverket ställer krav på sina entreprenörer avseende hur avfall hanteras i enlighet med avfallsförordningen, avfallshierarkin och miljöbalkens allmänna hänsynsregler. Data om farligt avfall som uppkommer i Trafikverkets projekt samlas in från entreprenörer liksom de i de fall som Trafikverket är avfallsproducent. MICE-projektet har inte identifierat något samlat underlag över alla uppkomna mängder bygg- och rivningsavfall från Trafikverket och eller per materialslag.

Som nämnts ovan vad gäller indikatorer för inflöden av material, är den samlade bedömningen att det krävs ett fortsatt utvecklingsarbete för att kunna kvantifiera indikatorerna *Mängd material som går till återvinning* och *Mängd material som går till återanvändning*. För båda dessa indikatorer skulle en uppdelning internt och externt Trafikverket kunna vara intressant. Detta för att följa i vilka fall Trafikverket kan utgöra en resursbas för andra verksamheter, men också för att illustrera utvecklingen inom den egna verksamheten för ökad återvinning och återanvändning. Vid upphandling av arbeten tillfaller idag material många gånger till entreprenören. Om inte materialet innehåller miljöfarliga ämnen finns generellt sett inte någon återkoppling om den efterföljande hanteringen av material och vilka flöden av materialen som återvinns, och till vad, Om det införs förändrade krav vid upphandling när det gäller återvinning och återanvändning skulle detta även kunna bidra till ett förbättrat dataunderlag för dessa typer av indikatorer. Utöver att följa utvecklingen av totala mängder material som går till återvinning och eller återanvändning över tid, så kan indikatorerna sättas i relation till t.ex. de totala mängderna uppkommet avfall från väg- och järnvägsinfrastrukturen eller följas per materialslag (exempelvis genom *Återvinningsgrad för bygg- och rivningsavfall*). Som nämnts ovan kan flöden av returavfall och Tekniskt Godkänt Järnvägsmateriel vara en möjlig startpunkt för arbetet.

4.3 Hinder och möjligheter för cirkulärt byggande

I den vetenskapliga litteraturen finns många försök att identifiera och analysera hinder och möjligheter för en mer cirkulär ekonomi (Hart m.fl., 2019 , Jesus och Mendonça, 2017, Kirchherr, 2018). Trafikverket beskriver i regeringsuppdraget Hinder och möjligheter för cirkulärt byggande (Trafikverket, 2022) deras syn på desamma. Inom FoU projektet har intervjuer med nyckelpersoner vid Trafikverket för att identifiera och kartlägga hinder och möjligheter (Malmgren, 2023). Dessa olika resultat sammanställs här utifrån den kategorisering som föreslagits av Hart m.fl., (2019) i en litteraturgenomgång om hinder och möjligheter inom området cirkulärt byggande. Dessa kategorier består av: 1) kulturella, 2) reglerande, 3) finansiella och 4) sektoriella hinder och möjligheter.

4.3.1 Hinder

Kulturella hinder som identifierats i litteraturen är brist på, kunskap/färdigheter, intresse och engagemang för cirkulär byggande genom hela värdekedjan. Brist på samarbete mellan företag eller mellan affärsfunktioner listas också ofta som en barriär och handlar om

oförmågan funktioner inom eller mellan företag och organisationer att arbeta tillsammans och öppet kring ett gemensamt mål.

Trafikverket (2022) lyfter också kunskapsbrist som ett hinder för cirkulär ekonomi. Bland annat nämns tydlighet eller bristande kännedom om rutiner och arbetssätt för överskottsmaterial och begagnat material och hur man använder och köper återbrukat och återvunnet material. Även bristande kunskap och kunskapsåterföring om fördelarna med återvunnet material kan vara hinder. Ett annat viktigt hinder som Trafikverket lyfter är att man saknar samlad information på övergripande nivå om anläggningen.

Enligt intervjupersonerna i Malmberg (2023) är informationsasymmetrier ett betydande hinder. En del i detta handlar om tillgång till information om materialen.

I litteraturen betonas även **reglerande** hinder såsom lagar och förordningar som betydande barriärer. Inom cirkulär ekonomi för byggande är det vanligtvis lagar och regelverk kring hanteringen och kategoriseringen av avfall som anses vara de främsta hindren. Trafikverket lyfter särskilt fram tekniska regelverk där det finns onödiga begränsningar som försvårar återvinning och återanvändning. Man poängterar även att det finns lyckade exempel på ändringar av sådana regelverk, exempelvis för begagnade räler, som nu får användas som skyddsräler. För en cirkulär hantering av berg och jordmassor är avfallsdefinitionen ett hinder enligt Trafikverket (2022). Här har samverkan skett och kommer att fortsätta med Naturvårdsverket när det gäller vad som betraktas som avfall, vilket bedöms som en viktig förutsättning i det fortsatta arbetet.

Malmberg (2023) betonar också denna typ av hinder i redovisningen av sin intervjustudie och poängterar att lagstiftningen och tillsynen har varit väldigt otydliga, vilket lett till långdragna processer vilket missgynnat cirkulära lösningar. Behovet av att skydda omgivningen från icke förorenade massor eller betong ifrågasätts ofta. För avfall behöver man övertyga myndighetspersoner om att det är ett bra och hållbart material medan det är etablerat att myndigheterna inte över huvud taget tar ställning till användningen av jungfruliga material.

Finansiella hinder som lyfts i den vetenskapliga litteraturen är låga priser på jungfrumaterial och kortsiktigheten i investeringar. Även höga investeringskostnader för en stödjande infrastruktur för cirkulär ekonomi nämns, liksom behov för nya mer långsiktiga finansieringsmodeller. Även Trafikverket (2022) lyfter detta med att naturresurser ofta kostar mindre än sekundärt material, och det är relativt billigt att deponera material. De ekonomiska drivkrafterna för att återvinna och återanvända är alltför svaga, och affärsmodeller som premierar cirkulära flöden är inte tillräckligt utvecklade.

De **sektoriella** hindren är flera. Litteraturen lyfter att incitamenten ofta är komplexa och förvirrande. Det finns också en bristande ansvarighet och delad helhetssyn vilket förvärras av en frånvaro av sammanhållen vision för branschen. I byggsektorn är den långa produktlivscykeln ett hinder eftersom detta gör det svårt att utveckla starka ekonomiska motiv för cirkularitet. Litteraturen nämner även tekniska utmaningar i samband med materialåtervinning av till exempel tegel eller förstärkt betong. Avsaknad av standardisering med specifikationer för återvunnet material innebär också problem. Cirkulärt fokuserad design är otillräckligt använd när det gäller såväl samverkansprocesser som för att ge, information och måtvärden. Slutligen framhålls att själva sektorn utgör en kulturell barriär då den anses konservativ, icke-samarbetsvillig, och motståndskraftig. Trafikverket (2022) listar många sådana sektoriella hinder och understryker att anläggningen inte utformas cirkulärt i tillräcklig utsträckning. För att denna ska kunna anses cirkulära måste inflödet bestå av återanvänt/återvunnet material, och utflödet gå att återvinna/återanvända. Cirkulär ekonomi

finns idag inte heller tillräckligt tydligt med planeringsprocessen och verksamhetsstyrningen och det saknar övergripande incitament i stor utsträckning.

Trafikverket lyfter även att de saknar en tydlig strategi för cirkulär ekonomi. Men lyfter också att det finns en hel del konflikter mellan cirkulär ekonomi och andra mål som behöver lyftas och diskutera.

Enligt Malmbergs intervjustudie (2023) utgör just avsaknaden av standarder och provningsmetoder stora hinder. Nuvarande standarder "tillåter miljömässigt mycket högre halter av någonting i en nyproducerad byggprodukt än om man ska ta samma material och återvinna eller återanvända det igen". Upphandlingskultur lyfts också som ett hinder: "den som lämnar anbudet tjänar ju inte på det som efterfrågas, alltså ett rent anbud, utan man räknar med att tjäna pengar på tilläggsarbeten". Att tilläggsarbeten erbjuder särskilt goda intjäningsmöjligheter lyfts fram som ett hinder för effektiv materialanvändning. Detta innebär också att om man vill använda återvunna eller mindre miljöbelastande material så behöver detta finnas med i själva förfrågningsunderlaget.

4.3.2 Möjligheter

Möjliggörare eller, som Malmberg (2023) kallar det, insatser för omställning till ett mer cirkulärt byggande kan kategoriseras på samma sätt som hinder i kulturella, reglerande, finansiella och sektoriella insatser för ett mer cirkulärt byggande.

För kulturella insatser och möjligheter till en mer cirkulär ekonomi lyfts ledarskap fram som nyckeln för cirkulärt byggande. Men även policystöd för kompetensutveckling och innovation, samt måtvärden för cirkulärt byggande anses centralt. I ordet policystöd inkluderas offentlig upphandling. Att stimulera efterfrågan på cirkulära material i till exempel upphandlingar och att det då krävs att beställare samråder med kunder från start. Både Trafikverket (2022) och Malmberg (2023) poängterar vikten av upphandling. Trafikverket menar att utveckla/komplettera krav i upphandling för att ytterligare styra material- och produktval mot ett cirkulärt tänkande är en viktig möjliggörare. Litteraturen lyfter även incitament för cirkulärt byggande, vilket kan innefatta till exempel skattemässiga incitament.

Ledarskap i form av policy från EU visar att det på den nivån finns stora ambitioner för att nå en ökad cirkularitet av material. Genom omställning av ekonomin ska Europa bli den första klimatneutrala kontinenten i världen där den ekonomiska tillväxten är frikopplad från resursförbrukningen. Omställningen till en mer cirkulär ekonomi ska enligt EU:s handlingsplan nås genom att värdet av material, produkter och resurser bibehålls så länge som möjligt och mängden avfall som uppkommer minimeras. Där lyfts även byggande och byggnader fram som en viktig sektor mot bakgrund av sektorns totala resursbehov, utsläppen av växthusgaser från materialutvinning och tillverkning av byggprodukter, men också till följd av utmaningar som finns i avfallsgenereringen från sektorn.

Trafikverket i Sverige och dess motsvarighet i Norden arbetar i stor utsträckning med att öka andelen återvunnet material och att minska klimatpåverkan vid produktion. Däremot saknas i målbilder och övergripande strategier och därmed ledarskap för cirkulär ekonomi. Ett undantag är Nederländerna som sticker ut genom att ha tagit fram en strategi för cirkulär ekonomi och satt upp mål för 2030 samt slagit fast att verksamheten ska vara fullt cirkulär år 2050.

När det gäller **finansiella** insatser trycker litteraturen på att om det är svårt att vinna stöd för ett cirkulära lösningarna så bör man fokusera först på kostnadsbesparande insatser, till exempel de situation då man använder återvunnet material samtidigt kan spara pengar, eller där designa för demontering innebär också design för snabb montering. Här blir samordning mellan projekt en viktig möjliggörare för cirkulär ekonomi.

Under **sektoriella** möjliggöranden lyfter litteraturen att man genom att samla flera projekt i samarbeten kan vända hinder till möjligheter. Eftersom omfattningen av de material som finns tillgängliga blir större kan mer kostnadseffektiva lösningar skapas, vilket kan övervinna de många praktiska och reglerande barriärerna för cirkularitet. En tydligare vision och färdplan behövs för cirkulär ekonomi inom den byggda miljön. Dessa möjliggörare stämmer väl överens med de insatser som Malmberg (2023) identifierat som viktiga insatser för cirkulärt byggande Utveckling av materialmarknadsplatser, materiallager, upcycling-anläggningar etc. kan hjälpa till med praktiska frågor kring återanvändningen av material som frigörs vid renovering eller rivning. Även Trafikverket (2022) lyfter fram logistikinfrastrukturen som en viktig möjliggörare.

Sammantaget visar omvärldsanalysen att det är lång väg kvar till storskaligt återbruk även om det finns stora ambitioner både EU, Sverige och inom Trafikverket och motsvarande organisationer i Sveriges närområde. Idag finns goda exempel främst som nedslag i enskilda projekt och det är en lång väg till uppskalning av lösningar till organisationsnivå. Viktiga insatser för att stimulera en ökad cirkulering av byggmaterial är att utveckla ett tydligt ledarskap, ökad kompetens och innovation, mätvärden för cirkulärt byggande och en offentlig upphandling som stimulerar cirkulära lösningar. Finansiella hinder för ökad återvinning och återanvändning kan övervinnas genom att samla flera projekt i samarbeten.

5 DISKUSSION

5.1 Tillgängliga analysunderlag ett hinder för materialflödesanalys

I samband med genomförandet av projektets materialflödesanalys har ett antal uppenbara brister när det gäller tillgängliga dataunderlag observerats. Dessa har gjort det nödvändigt att göra ett antal förenklade antaganden vilka påverkat den genomförda analysen och även kommit att innebära att beräkningsresultaten är att betrakta som första steg i en process att kartlägga både lager och inflödet av material.

Avsaknaden av specifika uppgifter om mindre projekt innebär att dessa inte tagits med i det beräknade inflödet av material. Dessa ej namngivna, investeringar utgör cirka 20 procent av de totala investeringskostnaderna inom befintlig plan och därmed saknas uppenbart en betydande del av det samlade inflödet av material i resultaten.

Utgångspunkten i klimatkalkyls schabloner för typåtgärder och ingående byggdelar innebär sannolikt även en grov generalisering av såväl planerad som befintlig infrastruktur och saknar möjlighet till anpassning efter projektspecifika förutsättningar. Detta innebär att det inte går att ta hänsyn till infrastrukturens ålder och hur konstruktionsmetoder och materialval förändrats över tiden, vilket är ytterst relevant för uppskattningen av det uppbyggda lagret av material.

Som resultatavsnittet beskriver har det även varit nödvändigt att anpassa olika dataunderlag vid analysens genomförande för att skapa kopplingar dem emellan och möjliggöra sammanställning och beräkning. Benämningar av olika delar av infrastrukturen överensstämmer i tillgängliga geodata inte med Klimatkalkyls schabloner. De antaganden

som gjorts innebär sannolikt ytterligare förenklingar av beräknade resultat. Därtill saknar tillgänglig geodata i form av olika dataset ofta gemensamma identifierade egenskaper. Detta har inneburit bearbetning när, exempelvis, underlag som beskriver olika egenskaper för samma vägsträcka sammanställts. Ytterligare anpassning av det omfattande underlagsmaterial som finns tillgängligt skulle avsevärt underlätta fortsatt eller framtida kartläggning av Trafikverkets materialanvändning.

5.1.1 Olika system "pratar" inte med varandra

Beräknad materialkonsumtion utgår från befintliga underlag över materialintensitet för enskilda typer av infrastruktur samt planerade och befintliga sträckningar av väg- och järnvägsinfrastruktur. Materialintensitet per infrastrukturtyp anges per 1000 meter och utgår från Klimatkalkyls tillgängliga schabloner över ingående byggdelar per typåtgärd och materialintensitet per byggdel, typåtgärd och material. Beräknad materialkonsumtion utgår från typåtgärder, huvudsakligen enligt Tabell 5. Utvalda typåtgärder representerar även projektets systemgränser. Kontaktledningsstolpar och tillhörande fundament har inkluderats efter synpunkter från tjänstepersoner vid Trafikverket. I ett avsteg från beskriven metodansats har byggdelen kontaktledningsstolpar inkluderats snarare än den typåtgärd den ingår som del av. Detta i syfte att inkludera en specifik, enligt beskrivning, stor källa till materialanvändning inom ramen för projektets utvalda fyra materialkategorier.

Tabell 5. Utvalda typåtgärder för beräkning

Typåtgärd	Väginfrastruktur	Järnvägsinfrastruktur
Tvåfältsväg (6,5 m)	X	
Tvåfältsväg (8 m)	X	
Mötesfri väg 2+1	X	
Mötesfri väg 2+2	X	
Motorväg 4 körfält	X	
Motorväg 6 körfält	X	
Banöverbyggnad, enkelspår ballast		X
Banöverbyggnad, dubbelspår ballast		X
Underbyggnad, enkelspår		X
Underbyggnad, dubbelspår		X
Stolpar, kontaktledning		X

Tillämpade typåtgärder omfattar, bland andra, "Motorväg 4 körfält". Se Tabell 6 för ingående byggdelar och material samt hur dessa klassificeras relativt materialflödesanalysens fyra materialkategorier. Tabellen listar inte material del av byggdelar som inte omfattas av detta projekts avgränsningar.

Tabell 6. Ingående byggdelar

Typåtgärd	Byggdel	Material	Materialkategori
Motorväg 4 körfält	Jord Fall B, Fyll	Jord Fall B Fyll	Massor
	Berg Fall B, Fyll	Bergkross Fall B	Massor
	Bergschakt, Fall B	Fast berg Fall B	Massor
	Jord Fall A	Jord Fall A	Massor
	Jordschakt Fall B	Jord Fall B Schakt	Massor

	Bitumenbundna lager, 180 mm	Asfaltsbeläggning	Asfalt
	Bärlager, obundet	Bergkross Fall B	Massor
	Balkräcke	Stål, varmförzinkat	Stål
		Betong, prefab	Betong
	Bergschakt	Fast berg	Massor
	Berg Fall A, Fyll	Bergkross Fall A	Massor
	Jordschakt Fall A	Jord Fall A	Massor

För sammanställning av inflöde, lager och utflöde av material har materialintensitet per typåtgärd och byggdel per 1000 meter kopplats samman med planerade investeringar, geografiska data över väg- och järnvägsinfrastrukturens sträckning eller planerade underhållsåtgärder. Uppgifter om väg- och järnvägsinfrastruktur förvaltat av Trafikverket har inhämtats från öppna data över desamma tillgängliga från "Lastkajen", Trafikverkets E-tjänst för öppna geodata. Materialflödesanalysen beräknade lager utgår från dataprodukter enligt Tabell 7.

Tabell 7. Dataprodukter i materialflödesanalysen

Dataprodukt	Beskrivning
Vägtyp	Dataprodukten avser vägens typning enl. GD:s beslut 2001-06-20 Dnr 16783 ang. gällande vägtyper i Trafikverket med viss anpassning till Trafikverkets verksamhetsbehov
Väghållare	Data om väghållare på vägsträcka, meddelad genom beslut. Väghållare är den organisation som juridiskt är ansvarig (ägare) för vägen.
Infrastrukturägare	Den som äger järnvägsinfrastruktur och anläggningar som hör till infrastrukturen
Järnvägsnät med grundegenskaper	-
Ktl-Stolpe	Stolpe för upphängning av högspänningsledningar

Tillgängliga dataprodukter innehåller inte egenskaper eller klassificering av väg- och järnvägsinfrastrukturen som direkt överensstämmer med de typåtgärder som återfinns i Klimatkalkyls schabloner. I samråd med tjänstepersoner vid Trafikverket har Klimatkalkyls schabloner "matchats" mot relevanta motsvarigheter. För väginfrastruktur enligt Tabell 8. Detta är ett exempel på ett identifierat sammanhang relevant för projektets genomförande där olika definitioner och underlag tillgängliga från Trafikverket inte direkt överensstämmer. För konsekvent, långsiktig, anpassning krävs sannolikt ytterligare samordning mellan Trafikverkets verksamhetsområden.

Tabell 8. Tillämpad matchning av vägtyper enligt tillgängliga geodata över väginfrastruktur och klimatkalkyls schabloner.

Klimatkalkyl/ Vägtyp	Tvåfältsväg (6,5m)	Tvåfältsväg (8m)	Mötesfri väg 2+1	Mötesfri väg 2+2	Motorväg 4 körfält	Motorväg 6 körfält
(Vägtyp), (körfältsbeskrivning)						
Vanlig väg, 1+1	-	X	-	-	-	-
Vanlig väg, 2+1	X	X	-	-	-	-

Vanlig väg, 2+2	-	X	-	-	-	-
Vanlig väg, ingen beskrivning	X	X	-	-	-	-
Vanlig väg mötesfri, 1+1	-	-	X	-	-	-
Vanlig väg mötesfri, 2+1	-	-	X	-	-	-
Vanlig väg mötesfri, 2+2	-	-	-	X	-	-
Vanlig väg mötesfri, ingen beskrivning	-	-	X	X	-	-
4-fältsväg, 1+1	-	-	-	-	-	-
4-fältsväg, 2+1	-	-	-	-	-	-
4-fältsväg, 2+2	-	X	-	-	-	-
4-fältsväg, ingen beskrivning	-	X	-	-	-	-
Motortrafikled, 1+1	-	-	-	-	-	-
Motortrafikled, 2+1	-	-	-	-	-	-
Motortrafikled, 2+2	-	-	-	-	-	-
Motortrafikled, ingen beskrivning	-	-	-	X	-	-
Motortrafikled mötesfri, 1+1	-	-	X	-	-	-
Motortrafikled mötesfri, 2+1	-	-	X	-	-	-
Motortrafikled mötesfri, 2+2	-	-	-	X	-	-
Motortrafikled mötesfri, ingen beskrivning	-	-	X	X	-	-
Motorväg, 1+1	-	-	-	-	-	-
Motorväg, 2+1	-	-	X	-	-	-
Motorväg, 2+2	-	-	-	-	X	-
Motorväg, ingen beskrivning	-	-	-	-	X	X

5.2 Utmaningar och möjligheter för fortsatt arbete med indikatorer

5.2.1 Vad ska indikatorerna följa upp?

En diskussion om val av indikatorer och indikatorernas relevans behöver sättas i relation till målbilder inom cirkularitet och materialanvändning vid Trafikverket. I projektets omvärldsanalys konstateras att Trafikverket och dess motsvarigheter i andra nordiska länder arbetar för ett cirkulärt byggande exempelvis genom att öka andelen återvunnet material och att minska klimatpåverkan vid produktion. Trafikverket har även långsiktiga mål för en giftfri miljö och utfasning av särskilt farliga ämnen. Däremot saknas vad vi känner till beslutade målbilder och övergripande strategier för cirkulär ekonomi på myndighetsnivå. Detta utgör en utmaning i valet av indikatorer. Strategier för cirkularitet på både EU-nivå och nationell nivå ger dock en riktning i behovet av att även kunna följa aktiviteter bortom återvinning av

material exempelvis genom att inkludera hur mängden material kan minskas genom att återbruka, underhålla, förlänga livslängden och återtillverka produkter.

En vidare diskussion om val av indikatorer för cirkulering av byggmaterial skulle även kunna breddas till hur indikatorerna kan förhållas till uppföljning av andra mål, exempelvis Trafikverkets mål om en klimatneutral infrastruktur 2040, nationell uppföljning av miljömålen och/eller Agenda 2030. Ett tankesätt i utvecklingen framåt skulle därmed kunna vara att främst inkludera indikatorer som adderar cirkulära perspektiv, så som att värdet på materialet upprätthålls, eller att livslängden hos ett material eller tillämpning i infrastrukturanläggningen blir längre. Men även det omvända perspektivet kan vara intressant, det vill säga i vad mån indikatorer vilka redan används för uppföljning av exempelvis avfallslagstiftning, inom miljömålssystemet, Agenda 2030 eller för att följa upp Klimatneutralitet 2045 kan användas.

Möjligheten till recirkulering av byggmaterial kan påverkas av innehåll av oönskade ämnen. Trafikverket har idag långsiktiga mål för en giffri miljö och utfasning av särskilt farliga ämnen och kopplat till dessa skulle indikatorer över storleksordningen på materialflöden vars vidare hantering påverkas av innehållet av andra ämnen kunna vara intressant att följa – dvs de fall där cirkulering av materialet inte är möjlig på grund av innehållet av ett annat material eller ämne.

Vidare kan en förändrad materialhantering och ökad cirkulering av byggmaterial gälla både det interna flödet inom Trafikverket, men även i vad mån Trafikverket bistår, eller skulle kunna bistå, med sekundära råvaror till andra aktörer samhället.

5.2.2 Val av enhet

Valet av enhet för att mäta cirkularitet är inte givet. Flera av indikatorerna i tabellen ovan är tänkta att uttryckas i vikt, eller vikt %. Litteraturen tar här upp att enheter som massa, volym, energi och användningstid kan vara otillräckliga då ingen av dem speglar cirkularitet i relation till brist på material (Linder m.fl., 2017). Andra lyfter fram att baserat på att en av utgångspunkterna för cirkulär ekonomi handlar om att bevara värdet på material, så bör i stället enheten för indikatorer inom cirkularitet återspegla det ekonomiska värdet hos materialet (Di Maio, 2017). I ett nederländskt utvecklingsprojekt för indikatorer för byggsektorn ges flera förslag på indikatorer med fokus på värdebevarande (CB'23, 2022). I förslaget på indikatorer skiljer man mellan det teknisk-funktionella värdet och ekonomiskt värde. Där exempel på tekniskt värde kan handla om till vilken grad kvalitén på ett byggmaterial har påverkats under användningsfasen och därmed möjligheten att återbruka det i samma funktion eller ej. Indikatorer för ekonomiska värdet i sin tur exemplifieras i rapporten med vilken grad det ekonomiska värdet har minskat under livscykeln.

Men även för en indikator uttryckt i värde kvarstår utmaningen vilket det ekonomiska värdet på materialet är? Priset på marknaden för nyråvara är ett mått, men det återspeglar inte helt givet priset på det material som finns inbyggt i lager eller förråd av material och som frigörs för återbruk och eller återvinning. Förslag har därför framförts om att använda "restvärde" (eller Residual value), vilket definieras som värdet på ett byggmaterial efter att det har frigjorts från sin första användning (Jiangm.fl., 2022). Indikatorn uttrycks då i % relativt om det hade varit en ny produkt (vilket representerar 100%), för att därigenom uppskatta det kvarvarande värdet på när byggmaterialet nått slutet av sin livslängd i den första tillämpningen.

Underhållsplanen som använts i MICE-projektet för att illustrera möjliga utflöden av material ur infrastrukturanläggningen nämner inte explicit begreppen cirkulär ekonomi, återvinning och eller återbruk. Däremot nämns Livslängd. Att satsa på förebyggande underhåll i form av

mindre utbyten och reparationer för att öka anläggningens livslängd och minska reinvesteringsbehovet nämns i Underhållsplanen som en prioriterad åtgärd.

5.2.3 Kvantitet och kvalitet

Centralt i arbetet med omställning till den cirkulära ekonomin är att upprätthålla värdet på materialen. Kopplat till utflödet av material från infrastrukturen skulle detta exempelvis kunna handla om att utöver de faktiska materielmängderna se till indikatorer som även återspeglar materialens kvalitet. Exempelvis om materialet och/eller produkten kan användas i samma tillämpning igen (se exemplet ovan från det nederländska utvecklingsprojektet). För material som idag tillfaller entreprenören skulle därmed krav på återkoppling om materialens vidare hantering behöva samlas in.

5.2.4 Följa pågående utvecklingsarbete och möjligheter med digitalisering

I det fortsatta arbetet och valet av indikatorer kommer det finnas ett stort behov av fortsatt omvärldsbevakning och synkronisering inom branschen. I Boverkets pågående regeringsuppdrag om att utveckla arbetet med omställningen till en cirkulär ekonomi i byggsektorn ingår även att ta fram indikatorer. Uppdraget ska redovisas i december 2024.

Ett annat exempel på utvecklingsarbete är inom arbetet med standardiseringen SIS/ISO (ISO/DIS 59020 - SO/DIS 59020(en) *Circular economy — Measuring and assessing circularity*) i vilket arbete pågår med att ta fram ett ramverk för att beräkna och bedöma cirkulär prestanda.

Nordic Networks for Circular Construction, 2021–2023, är en del av Finlands ordförandeskap i Nordiska ministerrådet. Projektet och den samverkan som sker inom projektkonsortiet syftar till att påskynda utvecklingen av cirkulärt byggande i de nordiska länderna. Som en del av detta driver konsortiet även ett utvecklingsarbete för ett frivilligt gemensamt Nordiskt ramverk med indikatorer för cirkulärt byggande. Detta arbetspaket väntas under slutet av 2023.

Även inom EU fortgår arbetet med att bygga vidare på tidserier och vidareutveckla ramverket för indikatorer för cirkulär ekonomi (Eurostat, u.å. och EEA, u.å.). Flertalet av dessa finns även beräknade för Sverige. Dessa indikatorer är dock inte sektors- eller branschindelade men kan bidra med en ram för den övergripande utvecklingen sett till exempelvis aggregerade materialgrupper och avfall.

Trafikverket och Chalmers har tagit fram förslag på indikatorer och nyckeltal för upphandling som kan användas för att sätta krav och ge incitament som kan föras in i Trafikverkets upphandlingar för att förbättra masshanteringen, såväl i planeringen av projekt som i själva utförandet (Andersson-Sköld m.fl., 2022).

En ökad digitalisering kan också öppna för framtida möjligheter till ökade kunskaper/ökad information? om materialflödet och utveckling av indikatorer. Införande av digitala stöd skulle här kunna underlätta möjligheten att sammanställa information om vilka mängder material som har använts och kan cirkuleras. Arbetet med EU:s revidering av Byggproduktförordningen (CPR) omfattar exempelvis krav på informationsdelning och utvecklingen av digitala produktpass inom EU har målet att information om en produkt ska finnas tillgänglig under hela dess livscykel. Vilka möjligheter som kan skapas genom detta sett till att följa cirkularitet behöver fortsatt följas. Inom ramen för det strategiska innovationsprogrammet Smart Built Environment som Trafikverket deltagit i har bland annat utformningen och möjligheter med digitala följesedlar undersökts. Tanken är att den digitala följesedel ska göra det möjligt för ett byggprojekt att både skapa den resurssammanställning

som behövs för att beräkna dess klimatpåverkan, samt för att verifiera vilka mängder som använts och vilka produkter som levererats (SBUF/IVL, 2023).

Vid Trafikverket pågår utvecklingsarbete inom Byggnadsinformationsmodellering (BIM). Huruvida detta kan vara en möjlig datakälla för att kartlägga materialförråd i infrastrukturanläggningen hos Trafikverket har inte undersökts inom ramen för MICE. Det finns dock i litteraturen exempel på studier där BIM har kombinerats med materialflödesstudier för att förutse materialförrådet som finns inbyggt i städer (Honic, m.fl., 2023) varför det kan vara intressant att undersöka vilka möjligheter som skulle kunna finnas på sikt.

5.2.5 Tillgången på data

För den fortsatta diskussionen om val av indikatorer kommer tillgången på kontinuerliga data vara en viktig aspekt att väga in. De studier som genomförts inom ramen för detta projekt pekar på utmaningar när det gäller tillgången på data. Även för etablerade indikatorer, som uppkomna mängder bygg- och rivningsavfall är dataunderlaget osäkert och trots EU-målet om att 70% av bygg- och rivningsavfallet ska återvinnas (Naturvårdsverket, u.å.; SMED 2022, Virtanen m.fl., 2019)

Några av de listade förslagen på indikatorer för att följa utflöden av material innebär att nya data skulle behöva samlas in och sammanställas, både internt på Trafikverket, och från entreprenörer. Ett exempel kan vara utökad datainsamling från entreprenörer i form av återkoppling om hur material hanteras. Samtidigt bör det understrykas att mycket data finns i Trafikverkets olika system men att dessa inte alltid lätt kan integreras med varandra varför kontinuerlig datainsamling för beräkning av indikatorer riskerar att bli en resurskrävande uppgift.

6 SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER

Syftet med projektet *Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi – MICE*, var att få ökad kunskap om nuläge, förutsättningar och uppföljning gällande materialåtervinning och cirkulär ekonomi kopplat till Trafikverkets samlade verksamhet. Studien har antagit ett top-down perspektiv med syfte att kunna följa flöden och förråd av byggmaterial i Trafikverkets verksamhet, på övergripande nivå såväl som regional nivå. Dessutom har projektet gett förslag på indikatorer som löpande kan användas för att stödja Trafikverket i arbetet med cirkulering av dessa byggmaterial, en kunskap som kan komma att efterfrågas allt mer utifrån The European Green Deal.

MICE projektet har haft sitt fokus på bulkmaterialen stål, betong, asfalt och massor vilka har valts mot bakgrund av deras klimatpåverkan. I projektet har inflöde, lager och utflöde av dessa material beräknats och ett förslag på indikatorer har tagits fram baserat på samma angreppssätt. Studien har tydligt visat att det idag är svårt att sammanställa ett nuläge för Trafikverkets totala materialanvändning och materialåtervinning. Detta beror främst på att data och underlag i stor utsträckning är projektbaserade och att kopplingar av olika dataunderlag för att möjliggöra sammanställning och beräkning saknas. Till exempel överensstämmer inte tillgängliga geodata med Klimatkalkyls schabloner. Tillgängliga geodata saknar dessutom ofta gemensamma identifierade egenskaper. Problemet med att olika system "inte kan prata med varandra" och att det inte på ett enkelt sätt går att koppla olika system, gör att det är svårt att fastställa nuläget o följa upp materialåtervinning.

I likhet med andra trafikverksorganisationer i Norden och EU, genomför och deltar Trafikverket dock i en rad projekt med fokus på cirkulärt byggande och genomför flera

åtgärder som på olika sätt kopplar till omställningen mot en mer cirkulär verksamhet. Den övervägande majoriteten av dessa syftar till mer effektiv tillverkning och återvinning av material. Bland dessa ryms särskilt asfalt och betong. Pågående forsknings- och innovationsprojekt undersöker bland annat möjligheterna att öka andelen återvunnen asfalt i samband med nyproduktion, förändra materialsammansättningen av asfalt för att förlänga vägars livslängd och minska den samlade miljöpåverkan. Dessutom undersöks möjlig tillverkning av mer klimativänlig betong med bibehållen livslängd. Återvinning av asfalt har i diskussioner med tjänstepersoner vid Trafikverket återkommande lyfts som ett positivt exempel eftersom den absoluta majoriteten av uppfrästa eller uppgrävda asfaltsmassor återvinns. Klimatkrav på asfaltsmassa planeras även bli del av Gemensamma miljökrav för entreprenader. Inom ramen för projektet har kontaktade tjänstepersoner vid Trafikverket även anekdotiskt refererat till processer för återanvändning av betong som krossas för att återigen bli del av anläggningen. Trafikverket har även pågående projekt som syftar mot ökad högvärdig återanvändning av särskilda produkter. Bland dessa ryms ett pågående arbete att utreda och utvärdera möjligheterna att återanvända slipers på mindre trafikerade sträckor. Därtill finns rutiner hantering av vissa TGM som möjliggör återanvändning, slipers av trä och betong samt räl och vissa befästningskomponenter. Det pågår även ett arbete med så kallade "bristartiklar". När dessa artiklar tas ur bruk tas de om hand av Trafikverkets avdelning för Logistik (före detta Materialservice), där de ses över, lagras och görs redo för att återbrukas i andra delar av infrastrukturanläggningen.

Klimatpåverkan från byggskedet kommer främst från tillverkningen av byggmaterial. En effektivare resursanvändning, ökade livslängder för material, och ökad återanvändning och återvinning är därför en viktig del i Trafikverkets arbete med att minska klimatutsläppen från byggande. Utöver att genomföra åtgärder behöver Trafikverket kunna följa utvecklingen för att se resultat av åtgärder och mäta utvecklingen mot målen. Därför har MICE projektet tagit fram ett förslag på indikatorer, indelade i inflöde av material, upplagring av material (förråd/lager), och utflödet av material från infrastrukturanläggningen. Indikatorer används ofta som mått kopplat till ett mål för att kunna se om utvecklingen går åt rätt håll och om målen nås. I dag saknas strategi och mål för cirkulärt byggande i Trafikverkets verksamhet, vilket har försvårat framtagandet av indikatorer.

Utifrån materialflödesanalysen, arbetet med att ta fram indikatorer, omvärldsanalysen samt studien om hinder och möjligheter har projektet kunnat identifiera tre huvudsakliga rekommendationer för hur Trafikverket ska kunna accelerera arbetet med cirkulärt byggande. Dessa rekommendationer är att Trafikverket:

1. Tar fram en strategi och målbild för cirkulär byggande, i vilken klimatvinster tydliggörs och kvantifieras. Idag saknas i målbilder och övergripande strategier för ett mer cirkulär byggande inom Trafikverket. Enligt den omvärldsanalys som genomfördes i MICE projektet var Rijkswaterstaat i Nederländerna den enda motsvarigheten till Trafikverket som har tagit fram en strategi för cirkulär ekonomi och satt upp mål för 2030. Senast år 2030 ska Rijkswaterstaat anammat cirkulära principer och arbeta cirkulärt, vilket innebär att 50% av primära råmaterial ersatts av sekundära. Verksamheten ska vara fullt cirkulär år 2050.
2. Ökar kontrollen och spårbarheten när det gäller/hos? material på en övergripande nivå och/eller regionalnivå. För att lyckas med detta behöver Trafikverket kunna följa sina stora materialflöden och för att göra detta behöver olika system kunna prata med varandra i större utsträckning och nya digitala lösningar behöver utvecklas. Som ett led i att öka kontrollen och spårbarheten på material behöver Trafikverket se vilka material och hur stora volymer material av olika slag som tillfaller utförande entreprenörerna. Detta styrs idag genom Trafikverkets administrativa föreskrifter för

utförandentreprenader som anger att tillvarataget material och överblivna massor tillfaller entreprenören. Material som tillfaller entreprenören kan mycket väl återvinnas och återanvändas men i nuläget finns ingen kontroll eller spårning av hur mycket material som cirkuleras. När det gäller asfalt, som återkommande lyfts som ett positivt exempel, tillfaller uppfräst och uppgrävda asfaltsmassor beställaren om inte annat anges. Dessutom ska massorna transporteras till upplag som anvisats av beställaren. Utöver asfalt finns även särskilda undantag för gatsten, betongplattor, kantsten, räckesstolpar och gagnvirke vilka inte tillfaller den utförande entreprenören. För massor, Trafikverkets största materialflöde, finns däremot ingen kontroll eller spårbarhet över hur den tas omhand, används eller transporteras.

3. Utveckla incitament och policy för samordning av anläggningsprojekt. Genom mer samordning kan uppskalning av lösningar för mer cirkulära flöden av material möjliggöras och hinder för ett mer cirkulärt byggande kan då vändas till möjligheter. En större omfattning av de material som finns tillgängliga kan skapa mer kostnadseffektiva lösningar och övervinna de många praktiska och reglerande barriärerna som finns för cirkulära lösningar. Materiallager, upcycling-anläggningar kan hjälpa till med praktiska frågor kring återanvändning material som frigörs vid renovering eller rivning. En sådan samordning av projekt och användning av materiallager och upcycling-anläggningar kräver upphandlingskrav som möjliggör ökad användning av cirkulära produkter.

7 REFERENSER

- Brunner, P. (2011) Urban Mining A Contribution to Reindustrializing the City. *Journal of Industrial Ecology* 15(3) 339-341. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00345.x>
- Brunner, P. H. and Rechberger, H. (2004) Practical handbook of material flow analysis. CRC/Lewis Advanced methods in resource and waste management: 1. ISBN 9781135464059 (e-book: PDF)
- Carlsson, R. (2022) Vilka runda tal behöver vi för den cirkulära omställningen? En inblick i standardisering, omställning och verifierbarhet. Presentation i samband med Intressentmöte Cirkulär ekonomi 22 november 2022. <https://www.sis.se/contentassets/96d91f094e41486bb4b54f77598637aa/avsnitt1raulcarlsson.pdf> [hämtad 2023-01-16]
- CB'23 (2020) Guide Measuring circularity Working agreements for circular construction Version 2.0 – 02 July 2020 Platform CB'23. https://platformcb23.nl/images/downloads/Platform_CB23_Guide_Measuring_circularity_2.0.pdf [hämtad 2023-10-11]
- The Circularity Gap Report (2021) <https://www.circularity-gap.world/2021#downloads> [hämtad 2023-10-11]
- Coenen, TB, Santos, J, Fennis, SA, Halman, JI. (2021) Development of a bridge circularity assessment framework to promote resource efficiency in infrastructure projects. *Journal of Industrial Ecology* 25: 288– 304. <https://doi.org/10.1111/jiec.13102>
- Delegationen f. CE (u.å.) <https://www.delegationcirkularekonomi.se/om-cirkular-ekonomi/mata-cirkular-ekonomi/> [hämtad 2023-10-16]
- Di Maio, F., Rem, P.C., Bald'e, K., Polder, M. (2017). Measuring resource efficiency and circular economy: a market value approach. *Resour. Conserv. Recycl.* 122, 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.009>.
- Ellen McArthur (2023) Material Circularity Indicator (MCI) <https://ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator> [hämtad 2023-05-17]
- EEA (2023) <https://www.eea.europa.eu/ims/circular-material-use-rate-in-europe>). Technical report No 25. <https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25> [hämtad 2023-10-16]
- EU COM (2019) 640 final. The European Green Deal.
- EU COM (2020) 98 final. A New Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe.
- EU COM (2020) 474 final. Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability.
- EU COM (2020) 667 final, Kemikaliestrategi för hållbarhet - På väg mot en giftfri miljö

EU COM (2022) 144 final 2022/0094 (COD). Regulation of the European parliament and of the council. Laying down harmonized conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) nr 305/2011 av den 9 mars 2011 om fastställande av harmoniserade villkor för saluföring av byggprodukter och om upphävande av rådets direktiv 89/106/EG

Eurostat (u.å.) Material flow diagram, Sweden 2021.

https://ec.europa.eu/eurostat/cache/sankey/circular_economy/sankey.html?geos=EU27&year=2021&unit=THS_T&materials=TOTAL&highlight=&nodeDisagg=0101100100&flowDisagg=true&language=EN&material=TOTAL [hämtad 2023-10-16]

Eurostat (u.å.) Circular Economy Monitoring Framework

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/monitoring-framework> [2023-10-16]

Finansdepartementet (u.å.) Uppdrag att utveckla arbetet med omställningen till en cirkulär ekonomi i byggsektorn, Diarienummer: Fi2019/01146,

Fi2022/00506 <https://www.regeringen.se/regeringsuppdrag/2022/02/uppdrag-att-utveckla-arbetet-med-omstallningen-till-en-cirkular-ekonomi-i-byggsektorn/> [2023-10-16]

Fossilfritt Sverige (2018) Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Bygg- och

anläggningssektorn. https://fossilfritt sverige.se/wp-content/uploads/2021/10/Fardplan_for_fossilfri_bygg_och_anlaggningssektor_20181228-1.pdf [2023-10-16]

Gradel, T. (2019) Material Flow Analysis from Origin to Evolution. Environ. Sci. Technol. 2019, 53, 21, 12188–12196. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03413>

Göteborg, (2021) Storstadsöverenskommelse för cirkulärt byggande 2030. Slutrapport från

förstudie 2020. https://goteborg.se/wps/wcm/connect/e158ce22-d7f1-46d9-9d5e-69cd45709b06/Slutrapport+Storstads%C3%B6verenskommelse+f%C3%B6r+cirkul%C3%A4rt+byggande_f%C3%B6rstudie+%28002%29.pdf?MOD=AJPERES [Hämtad 2023-10-10]

Haberl, H., Schmid, M., Haas, W., Wiedenhofer, D., Rau, H., and Winiwarter, V. (2021) Stocks, flows, services and practices: Nexus approaches to sustainable social metabolism. Ecological Economics. Vol 182: 106949. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.106949>.

Hart, J, Adams, K., Giesekam, J., Tingley, D., Pomponi, F. (2019) Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. Procedia CIRP. Volume 80, 2019, Pages 619-624

Honic M., Ferschlin, P., Breidfuss, D., Cencic, O., Gourelis, G., Kovacic, I., De Wolf, C., (2023) Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS. Developments in the Built Environment, 13: 100110. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100110>

Jiang, L., Bhochhibhoya, S., Slot, N., and de Graaf, R. (2022) Measuring product-level circularity performance: An economic value-based metric with the indicator of residual

- value. *Resources, Conservation and Recycling* 186: 106541.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106541>
- Jesus. A., and Mendonça, S. 2017. Lost in Transition? Drivers and Barriers in the Eco-innovation Road to the Circular Economy, *Ecol. Econ.*, vol. 145, no. September 2017, pp. 75–89, 2018.
- Kirchherr, J., Piscicelli L., Bour R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., Hekkert, M., 2018. Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU), *Ecol. Econ.*, vol. 150, pp. 264– 272, 2018.
- Lederer, J., Gassner, A., Kleemann, F., Fellner, J. (2020) Potentials for a circular economy of mineral construction materials and demolition waste in urban areas: a case study from Vienna. *Resources, Conservation and Recycling*. 161: 104942.
- Linder, M., Sarasini, S. and van Loon, P. (2017), A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. *Journal of Industrial Ecology*, 21: 545-558. <https://doi.org/10.1111/jiec.12552>
- Lundberg, K., Carlsson, A., Duner, F. (2022) Materialflöden och indikatorer för cirkulär ekonomi – Omvärldsanalys, Ecoloop och Linköpings universitet, diarienummer TRV 2022/20930
- Malmgren, S. (2023) Att möjliggöra skiften från linjära materialflöden till hållbar cirkulering av material i transportinfrastruktur Utveckling och test av tillvägagångssätt för att identifiera vägar till att möjliggöra omställning och andra skiften. KTH. TRITA-ABE-MBT-23284 <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1778100/FULLTEXT01.pdf> [hämtad 2023-11-08]
- Moraga G, Huysveld S, Mathieux F, Blengini GA, Alaerts L, Van Acker K, de Meester S, Dewulf J. (2019) Circular economy indicators: What do they measure? *Resour Conserv Recycl*. 146:452-461. doi: 10.1016/j.resconrec.2019.03.045. PMID: 31274959; PMCID: PMC6559262
- Naturvårdsverket (u-å) Bygg- och rivningsavfall
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/avfallslag/bygg--och-rivningsavfall/> [hämtad 2023-10-16]
- Naturvårdsverket (2023) Tolkning av centrala begrepp vid hantering av massor - Naturvårdsverkets vägledning om masshantering och användning av massor för anläggningsändamål <https://www.naturvardsverket.se/498c0e/contentassets/f3b0bfba28b84bd6ab9b297bea56cc7b/tolkning-centrala-begrepp-masshantering-23-04-25.pdf> [hämtad 2023-09-03]
- OECD (2019) Global Material Resources Outlook to 2060.
<https://www.oecd.org/publications/global-material-resources-outlook-to-2060-9789264307452-en.htm> [hämtad 2023-11-06]
- OECD (2021) The OECD Inventory of Circular Economy indicators
<https://www.oecd.org/cfe/cities/InventoryCircularEconomyIndicators.pdf> [hämtad 2023-11-08]

Rousseau L. A., Kloostra, B., Azari J.H; Saxe, S. Gregory, J., Hertwich, E. G. 2022 Material Stock and Embodied Greenhouse Gas Emissions of Global and Urban Road Pavement doi: 10.1021/acs.est.2c05255

SBUF/IVL, 2023 Digital produktinformation baserat på datamallar. Koncepttest med miljövarudeklarationer (EPD) och prestandadeklarationer (DOP) i webbtjänster. <https://www.ivl.se/download/18.5ae47fd818530c6f060e79f/1674384733832/B2459.pdf>

SCB (u.å.) Miljöräkenskaper. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/miljoekonomi-och-hallbar-utveckling/miljorakenskaper/> [hämtad 2023-11-06]

SIS (u.å.) SIS/TK 616 Cirkulär ekonomi <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk600699/tk616/> [hämtad 2023-10-16]

Sveriges Miljömål (u.d) <https://sverigesmiljomal.se/etappmalen/mer-bygg--och-rivningsavfall-materialatervinns-och-forbereds-for-ateranvandning/> Besökt 2022-11-09

Trafikverket, u.å <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/upphandling/Sa-upphandlar-vi/Forfragningsunderlag/Miljokrav-i-entreprenader/> [hämtad 2023-10-10]

Trafikverket (2021) Förslag till nationell plan för transportinfrastrukturen 2022–2033

Trafikverket (2022) Cirkulärt byggande – hinder och möjligheter Redovisning av regeringsuppdrag. Rapportering från regeringsuppdrag <https://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1726571/FULLTEXT01.pdf> [hämtad 2023-08-23]

Trafikverket (2022) Trafikverkets miljörapport 2021, <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1648674/FULLTEXT01.pdf>

Trafikverket. Trafikverkets publikationsdatabas, <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/search.jsf?dswid=4975> [hämtad 2022-11-16]

Trafikverket. Klimatkrav, <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/minskad-klimatpaverkan/klimatkrav/> [hämtad 2022-11-16].

Trafikverket. Öka takten – kemikalieinformation nu!, <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/miljo---for-dig-i-branschen/Material-och-kemiska-produkter/oka-takten--kemikalieinformation-nu/> [hämtad 2022-11-16].

Trafikverket (2023) Trafikverkets underhållsplan för åren 2023–2026. <http://trafikverket.diva-portal.org/smash/get/diva2:1762020/FULLTEXT01.pdf> [hämtad 2023-08-23].

Uppdrag att utveckla arbetet med omställningen till en cirkulär ekonomi i byggsektorn (2022-02-10 Fi2019/01146 Fi2022/00506) [hämtad 2022-11-09].

UNEP (2010) Metal stocks in society. Scientific Syntehis <https://www.resourcepanel.org/reports/metal-stocks-society> [hämtad 2023-10-10]

- van Oorschot, J., Sprecher, B. Rijken, B. Witteveen, P., Blok, M., Schouten, N., van der Voet, E. (2023) Toward a low-carbon and circular building sector: Building strategies and urbanization pathways for the Netherlands. <https://doi.org/10.1111/jiec.13375>
- Virtanen, M., Manskinen, K., Uusitalo, V., Syväne, J., Cura, K. (2019) Regional material flow tools to promote circular economy. *Journal of Cleaner Production*. 235:1020-1025. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.326>.
- Wallsten, B. Carlsson, A. Frändegård, P. Krook, J. Svanström, S. (2013) To prospect an urban mine—assessing the metal recovery potential of infrastructure “cold spots” in Norrköping, Sweden. *Journal of Cleaner Production*, (55), 103-111.
- Liljenström C, Toller S, Åkerman J, Björklund Å (2019): Annual climate impact and primary energy use of Swedish transport infrastructure. *EJTIR* 19(2), 2019, pp.77-116.
- WSP (2022) Liljenström & Lidén Resursanvändning vid konstruktion och vidmakthållande av Trafikverkets anläggningar – en nulägesbeskrivning, WSP Sverige AB, diarienummer TRV 2022/20930
- Zhang N, Han Q, de Vries B. (2021) Building Circularity Assessment in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A New Framework. *Sustainability*. 2021; 13(22):12466. <https://doi.org/10.3390/su132212466>

8 BILAGOR

Litteratursökning för arbetet med förslag på indikatorer

För att identifiera förslag på indikatorer i den vetenskapliga litteraturen genomfördes i januari 2023 en litteratursökning i databasen Scopus. Artiklar söktes i sökfältet Title, Abstract och Keywords och omfattande indikatorer för cirkulär ekonomi och artiklar med fokus på upplagring av material i infrastrukturen. Enbart engelskspråkiga artiklar som publicerats under de senaste tio åren (dvs sedan 2013) inkluderades i urvalet. Sökningen genomfördes som ett antal på varandra efterföljande sökningar med olika kombinationer av sökorden. Ett första urval av artiklar gjordes sedan baserat på artikelns titel, vartefter eventuella dubbletter rensades bort. Sammantaget föll initialt 53 artiklar ut som intressanta. Efter en genomläsning av Abstract bedömdes 16 artiklar som fortsatt intressanta som underlag för arbetet.

Tabell 1. Kombinationer av sökord och utfall av sökningar genomförda i Scopus 2023-01-16.

Kombinationer av sökord	Utfall	Urval baserat på artikelns titel
A. "Circular Economy" AND indicators	1230	NA. Antalet träffar bedömes vara för stort för att inkluderas.
B. "Circular Economy" AND indicators AND road*	23	14
C. Reuse AND road AND indicators	28	22 (>2013), efter sortering på titel 3 kvar, varav 2 identifierade i sökningen B ovan.
D. measuring AND circularity AND construction	17	15 (>2013), efter sortering 7 kvar, varav ingen identifierad i tidigare sökning
E. MFA AND road	43	11
F. MFA AND asphalt AND road	2	2
G. MFA AND infrastructure	108	78
H. "Circular Economy" AND infrastructure	755	NA Antalet träffar bedömes vara för stort för att inkluderas.
I. "Circular Economy" AND infrastructure AND construction	15	15(>2013), efter sortering 3 kvar.
J. MFA AND steel AND rail*	3	2
K. Stock AND flow AND construction AND carbon*	77	10
L. "Circular Economy" AND Indicators AND Infrastructure	51	11