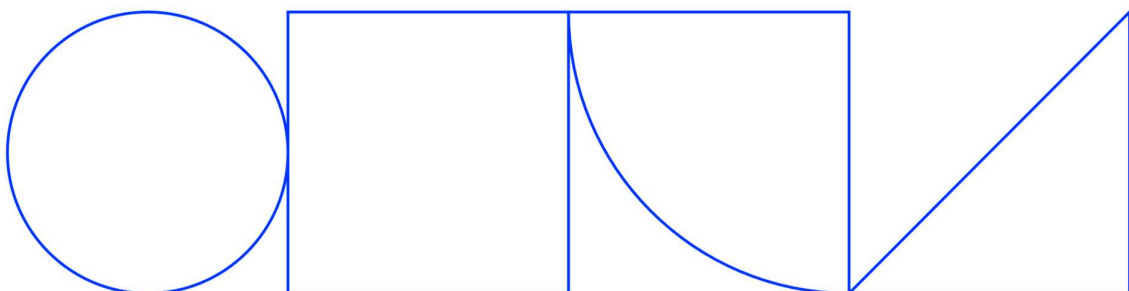


Anpassning av vägdimensionering för LCA och LCC

LCA och LCC som metoder för hållbara vägbeläggningar

Larissa Strömberg
Svevia AB och KTH Avd. Betongbyggnad

2024-04-30



Förord

Rapporten presenterar resultatet av forskningsprojektet Anpassning av vägdimensionering för LCA och LCC, vilket är en integrerad del av en större forskningssatsning med svenska entreprenörer och Institutionen för Bygghälsa på KTH. I satsningen ingår tre separata projekt:

- Etapp A: Dynamisk optimering av betongkonstruktioner.
 - Avslutat seniorforskningsprojekt som finansierades av SBUF (ID 13518), InfraSweden2030 och byggindustrin.
- Etapp B: Anpassning av vägdimensionering för LCA och LCC.
 - Avslutat seniorforskningsprojekt som presenteras i denna rapport och finansierades av SBUF (ID 13722) och byggindustrin.
- Etapp C: Effektiv reparation av betongvägar.
 - Avslutad licentiatavhandling med titel: Concrete pavements' repair techniques and numerical assessment of dowel bar load transfer efficiency. Projektet presenterades på ett licentiatseminarium den 12 mars 2024 och finansierades av Trafikverket och SBUF.

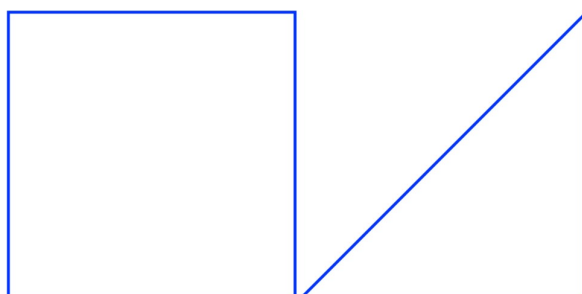
Samtliga projekt är en del av KTH Betongbyggnads forskning och utförs av samma projektgrupp och samma referensgrupp. Forskningen i utfördes i samarbete med KTH:s grannavdelningar för Betongbyggnad, Byggnadsmaterial, Brobyggnad samt Jord och bergmekanik. Internationella erfarenheter hämtades från två områdesledande universitet i USA: University of Illinois Urbana-Champaign och Pittsburg University.

För projektledning och sammanfattning av rapporten ansvarade Larissa Strömberg (Svevia/KTH). I projektgruppen ingick Prof. Anders Ansell (KTH), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH och Trafikverket), doktorand Saima Yaqoob (KTH) och Prof. Johan Silfwerbrand (KTH). I referensgruppen ingick representanter från flera entreprenörsföretag, beställare och universitet: Prof. Lev Khazanovich (Pittsburg University), Univ Lektor Denis Jelagin (KTH), Prof. Imad Al-Qadi (University of Illinois at Urbana-Champaign), Linda Löwhagen (NCC), Ulf Håkansson (Skanska), Anders Gudmarsson (Peab), Björn Kullander (Trafikverket), Ossi Saarinen (Finska Trafikverket) och Mats Kindvall (Swedavia).

Författarens tack går till projektgruppen och referensgruppen samt till alla som bidragit med sina kunskaper i projektet.

Larissa Strömberg

Stockholm, den 30 april.



Sammanfattning

För närvarande genomförs stora investeringar med nybyggnation av svensk anläggningsinfrastruktur, t.ex. i projekten Västlänken i Göteborg och Förbifart Stockholm. Flera andra är på gång. Beställare ställer idag ökade krav att minska klimatpåverkan vid utförande av byggprojekt. Det finns ett stort intresse bland svenska offentliga och privata uppdragsgivare att använda nya innovativa lösningar och materialval i dessa projekt för att bygga hållbar infrastruktur.

Behovet av korrekt gjorda jämförelser avseende kostnadseffektivitet, minskning av klimatpåverkan och främjande av cirkulärt byggande ökar framför allt i samband med nya typer av innovativa material med lägre klimatpåverkan och bestående av restprodukter från andra industrier. Bedömning av hållbarhetsaspekter hos anläggningskonstruktioner görs på en lokal nivå, d.v.s. kopplat till ett projekt. Att kunna ser effekten av en sådan lokal åtgärd och kunna sätta ett ekonomiskt värde på "reducerade utsläpp" utifrån ett globalt perspektiv är en av de svåraste uppgifterna i omställningen av byggindustrin till att bli mer klimatneutral.

Projektets idé är att kartlägga befintligt användande av hållbarhetsbedömningsmetoder som Livscykelanalys (LCA), Livscykelkostnad (LCC), Miljövarudeklaration (EPD) och teknisk dimensionering för skapande av hållbara vägkonstruktioner och utveckla ett nytt standardiserat ramverk som tillåter framtagande av nya empiriska samband, styrka eller korrigerar befintliga beräkningsmodeller med syfte att anpassa teknisk dimensionering till LCA och LCC. I projektet analyserades två nya standarder EN 15643-5 och EN 17472 som föreslår att en EPD-deklaration ska utökas till flera hållbarhetsaspekter: teknisk, miljömässig och ekonomisk prestanda. Med en utökad hållbarhetsdeklaration förväntas att vägbeställare ska kunna ställa krav på en multidisciplinär jämförelse av olika material utifrån teknisk prestanda, miljömässig prestanda (EPD) och totala livscykelkostnader (LCC). De senaste rönen inom standardiserade hållbarhetsbedömningar av anläggningskonstruktioner kartlades samt förutsättningar och hinder inom nuvarande praxis för implementering av nya standarderna analyserades.

Nyttan med projektet är att svenska byggbranschen, forskare och myndigheter får ökad förståelse för vilka utmaningar som finns med vidareutveckling av byggstandarder, teoretiska beräkningsmetoder, upphandlingsmodeller och styrning mot de politiska klimatreducerande målen.

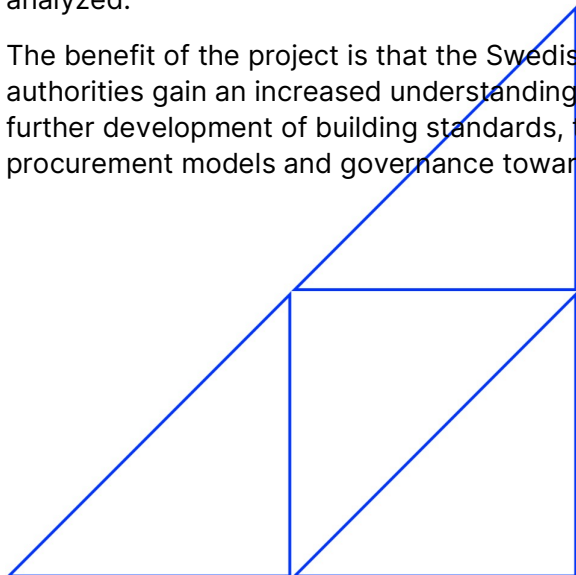
Summary

Currently, large investments are being made in large infrastructure projects such as the project West Link in Gothenburg and project Bypass in Stockholm. Several others are on the way. Clients today make increased demands to reduce the climate impact when carrying out infrastructure projects. There is a great interest among Swedish public and private clients in using new innovative solutions and material choices in these projects to build sustainable infrastructure.

The need for correctly made comparisons regarding cost-effectiveness, reduction of climate impact and promotion of circular construction increases above all in connection with new types of innovative materials with lower climate impact and consisting of by-products from other industries. Assessment of sustainability aspects of an infrastructure project is done at a local level, i.e. linked to the building materials, and building parts used in the project. To being able to see the effect of such a local measure and being able to put an economic value on "reduced emissions" from a global perspective is one of the most difficult tasks in the transition of the construction industry to become more climate neutral.

The idea of the project is to map the existing use of sustainability assessment methods such as Life Cycle Analysis (LCA), Life Cycle Costing (LCC), Environmental Product Declaration (EPD) and technical dimensioning for the creation of sustainable roads and to develop a new standardized framework that allows the development of new empirical relationships, strengthening or correcting existing calculation models with the aim of adapting technical dimensioning to LCA and LCC. In the project, two new standards EN 15643-5 and EN 17472 were analyzed which propose to extend an EPD declaration to several sustainability aspects: technical, environmental, and economic performance. With an extended sustainability declaration, it is expected that the clients will be able to demand a multidisciplinary comparison of different materials based on technical performance, EPD and cost efficiency of the emissions reduction. The latest findings in standardized sustainability assessments of infrastructure works were mapped and the cons and pros for implementing these new standards were analyzed.

The benefit of the project is that the Swedish construction industry, researchers, and authorities gain an increased understanding of the challenges that exist with the further development of building standards, theoretical calculation methods, procurement models and governance towards the political climate reduction goals.



Begreppsförklaring

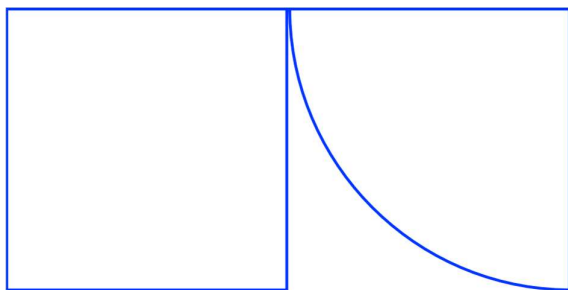
Asfaltbeläggning	Ytbeläggning bestående av asfaltmassa utlagd i packat tillstånd på en väg.
Asfaltmassa	Blandning av bituminöst bindemedel och ballast i opackat tillstånd.
Betongbeläggning	Ytbeläggning bestående av betongblandning i utlagt tillstånd på en väg.
Betongblandning	Blandning av cement, vatten och ballast.
SBUF	Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond.
CEN/TC 350	En standardiseringskommitté som arbetar med en serie av standarder inom området Hållbarhet hos byggnadsverk.
CO ₂ e	Koldioxidekvivalenter, en standardiserad måtenhet för utsläpp av gaser, som bidrar till uppvärmningseffekten. Inom EPD/LCA terminologin kallas uppvärmningseffekten för Global Warming Potential (GWP) eller miljöpåverkanskategori Klimatpåverkan på svenska.
CCS & CCU	Carbon Capture Storage (CCS) & Carbon Capture Use (CCU).
ECO Platform	Ett internationellt samarbetsforum för EPD-operatörer från olika länder.
EN	Europeisk standard.
EN 15804	Ramverksstandard, som lägger grunden för alla PCR:er och EPD:er för byggvaror samt anger principer vad gäller systemgränser, redovisade miljöpåverkanskategorier etc.
EPD	Environmental Product Declaration, miljövarudeklaration, är en deklARATION av miljöprestanda för en byggprodukt eller byggmaterial.
EPD-system	Konceptet för framtagande, granskning och användande av miljövarudeklarationer, som har beskrivits i flera europeiska och internationella standarder.
EPD-generator	Förverifierad LCA-verktyg för att utföra jämförbara EPD:er enligt Produktspecifika beräkningsregler (PCR) för en produkt.
EPD-operatör	En EPD ska alltid vara tredjepartsgranskad och registrerad hos ett verifieringsorgan, EPD-programoperatör.
EPD International	En global EPD-operatör med ursprung i Sverige.
EPD Norge	Den norska EPD-programoperatören.
EU:s taxonomi	EU:s klassificeringssystem som definierar tekniska kriterier för vilka investeringar ska anses som hållbara.
Funktionell enhet (i en miljövarudeklaration, EPD)	För att kunna jämföra miljöpåverkan från liknande vägbeläggningar med hjälp av EPD:er används samma funktionella enhet, t. ex. 1m ² av vägbeläggning.
Funktionell jämförelseekvivalent (i en hållbarhetsdeklaration)	Med hjälp av en funktionell jämförelseekvivalent skapas grunden för en rättvis jämförelse av alternativa konstruktioner, bestående av olika material och komponenter. De alternativa konstruktionerna ska dock ha samma tekniska funktion och jämförelsen ska göras inom samma systemgränser, d.v.s. omfattning på bedömda livscykelsteg.

GWP	Global Warming Potential eller miljöpåverkanskategori Klimatpåverkan, en obligatorisk miljöpåverkanskategori för en EPD enligt EN 15804.
Hållbara finanser	Hållbara finanser eller Sustainable Finance är den övergripande benämningen på de EU-regleringar, uppdateringar av befintliga regelverk och globala initiativ där ansvar läggs på banker, försäkringsbolag, fondbolag och andra inom finanssektorn att medverka till en omställning mot mer hållbara investeringar och ökad transparens.
Hållbarhetsdeklaration	Inom standardiseringen diskuteras principer för mer omfattande prestandadeklarationer som redovisar både miljömässiga aspekter i enlighet med nuvarande EPD:er och tilläggsaspekter t. ex. biologisk mångfald, resurseffektivitet, sociala och ekonomiska aspekter för produkter och tjänster.
ISO	International Organization for Standardization.
LCA	Life Cycle Assessment eller Livscykelanalys är en metod för att åstadkomma en helhetsbild av hur stor den totala miljöpåverkan är under en produkts livscykel från råvaruutvinning, via tillverkningsprocesser och användning till avfallshanteringen, inklusive alla transporter och all energiåtgång i mellanleden.
LCA-verktyg	Ett kommersiellt digitalt verktyg för att utföra LCA-beräkningar eller ta fram EPD.
LCC	Life Cycle Cost eller Livscykelkostnaden är en total kostnad för en produkt eller tjänst under hela dess livslängd. Livscykelkostnaden inkluderar således både investeringskostnader, drift- och underhållskostnader samt avvecklingskostnader.
LOU	Lagen om offentlig upphandling.
Moduler i EPD	Europeiska standarden EN 15804 fastställer olika livscykelstegen eller LCA-moduler som ska ingå i en EPD, t.ex. produktion av råmaterial och komponenter (moduler A1-A3), transport till byggplats (modul A4), byggnation (modul A5), underhållsscenarier (modul B), slutlig avveckling (modul C) och återvinningspotential (modul D).
PCR	Product Category Rules eller Produktspecifika regler. PCR beskriver produktspecifika beräkningsregler vid framtagande av EPD:er för vissa produkttyper, t. ex. för asfaltbeläggningar. Varje PCR är dock knuten till en särskild programoperatör (t. ex. EPD Norge eller EPD International).
SCM	I klimatförbättrad betong ersätts en del av cementen med alternativa bindemedel, s.k. Supplementary Cementitious Materials (SCM) med lägre klimatavtryck. De vanligaste SCM är flygaska och masugnsslagg, GGBS, som är restprodukter från andra industriella processer inom kolkraft- respektive stålindustrin.

Verifiering eller tredjepartsgranskning av EPD	En EPD ska granskas av en tredjeparts och verifieras av en EPD-programoperatör.
Vägbeläggning	En vägbeläggning är översta skikt i en vägkonstruktion. Traditionellt delas vägbeläggningar i två grupper: asfalt (flexibla beläggningar) och betong (styva beläggningar).
Vägkonstruktion	Vägkonstruktion består av minst tre olika lager av olika material. Asfaltvägkonstruktion består av ett bituminöst slitlager (kallad asfaltbeläggning i denna rapport), ett cement- eller asfaltbaserad lager, följt av obundet lager. Konstruktionsmässigt består betongväg av ett portlandcementbaserat ytskikt (kallad betongbeläggning i denna rapport) med följande lager som för asfaltväg.

Innehåll

1	Inledning	9
1.1	Introduktion	9
1.2	Syfte	11
1.3	Avgränsningar	11
2	Metod	13
2.1	Projektets olika delar som input till rekommendationer	13
2.2	Litteraturstudier, fältstudier och publicerade artiklar	15
3	Kartläggning av nuvarande praxis och utmaningar	17
3.1	Jämförelse av miljöprestanda med EPD:er för liknande beläggningar	17
3.1.1	Standarder för EPD:er	17
3.1.2	Verifiering av miljövarudeklarationer, EPD	19
3.1.3	Obligatorisk redovisning med EPD i Sverige	21
3.2	Kartläggning av dimensioneringsverktyg och livslängdsdata	21
3.3	Jämförelse av hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar	23
3.4	Hållbar produktutveckling av vägbeläggningar	24
3.4.1	Traditionella asfalt- och betongvägskonstruktioner	24
3.4.2	Betongvägsbeläggningar med lägre klimatpåverkan	28
3.4.3	Arbetsätt för klimatberäkningar genom EPD:er för betong	31
3.4.4	Asfaltvägbeläggningar med lägre klimatpåverkan	32
3.4.5	Arbetsätt för klimatberäkningar genom EPD:er för asfalt	35
4	Analys av standarder och EU:s regelverk	38
4.1	Standarder för hållbara byggnadsverk	38
4.2	EU:s regelverk för hållbara finanser	40
4.3	Ihoppkoppling av de två standardiseringsspåren	41
5	Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar	44
5.1	GAP-analys av förutsättningar för jämförelser av olika vägbeläggningar	44
5.2	Förslag på funktionell kravställning för betongvägsbeläggningar	46
6	Slutsatser	49
6.1	Beställarkrav på hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar idag	49
6.2	Förutsättningar för framtida jämförelser av olika vägbeläggningar	50
6.3	Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar	51
6.4	Rekommendationer för nästa steg	51
	Litteraturförteckning	53



1 Inledning

1.1 Introduktion

För närvarande genomförs stora investeringar med nybyggnation av svensk anläggningsinfrastruktur, t.ex. i projekten Västlänken i Göteborg och Förbifart Stockholm. Flera andra är på gång. Beställare ställer idag ökade krav att minska klimatpåverkan vid utförande av byggprojekt. Det finns ett stort intresse bland svenska privata och offentliga uppdragsgivare som Trafikverket [1] och kommuner [2] att använda nya innovativa lösningar och materialval i dessa projekt för att bygga hållbar infrastruktur.

Nuvarande vägdimensioneringsprocess specificeras av nationella och branschspecifika riktlinjer, men målet för att minska klimatpåverkan är satt på en global nivå. Bedömning av hållbarhetsaspekter hos anläggningskonstruktioner görs på en lokal nivå, d.v.s. kopplat till ett projekt. Att kunna se effekten av en sådan lokal åtgärd och kunna sätta ett ekonomiskt värde på "reducerade utsläpp" utifrån ett globalt perspektiv är en av de svåraste uppgifterna i omställningen av byggindustrin till att bli mer klimatneutral och dess komplexitet har illustrerats av McKinsey [3,4]. Slutsatsen är att världen förändras och de åtgärder vi anser vara dyra idag kan bli aktuella i framtiden genom anpassningar, innovationer och teknisk utveckling.

Byggbranschen i Europa och USA har kommit långt när det gäller implementering av en europeisk standard, EN 15804 [5,6] för framtagande av miljövarudeklarationer (EPD) för byggmaterial. EPD:er är en form av Livscykelanalys (LCA) och används som ett standardiserat mått på miljöprestanda och accepteras för användning i rapportering, marknadsföring, upphandling och produktutveckling. EPD:er är inte alltid jämförbara även om de följer samma standard [7,8]. Produkter kan exempelvis ha olika funktion som gör att sammansättningen skiljer sig åt - de kan vara baserade på data med olika noggrannhet etc. Det är inte möjligt att använda eller tolka data i en EPD utan att ta del av texten som beskriver förutsättningarna. Enligt Mukherjee et al. [9], har det funnits vissa utmaningar med att använda EPD:er för att kommunicera LCA-resultat för asfaltindustrin i USA. Några av utmaningarna är att definiera systemgränser för EPD:er för olika typer av asfaltmassor. Asfaltmassor produceras enligt olika produktionsmetoder såsom med varierande produktionstemperaturen och ingående tillsatser.

Flera asfalttillverkare har redan tagit fram EPD:er. I både Skandinavien och USA är användandet av EPD:er begränsat till bedömning av miljöpåverkan från beläggningar för tillverkningskedje, d.v.s. moduler A1-A3. Detta är huvudsakligen till att EPD:er tas fram och används för jämförelse av samma asfaltmassatyp (t. ex. ABT, ABS) från olika tillverkare [7,10,11]. Bristen på jämförbara indata för andra delar av beläggningslivscykel, som användning, avveckling och bidrag till nya produkter, förhindrar en bredare affärsmässig användning av EPD:er i beställarkravet på asfaltmassor i anläggningsentreprenader [12,13,14]. Beläggningsens klimatpåverkan från reparations- och underhållsåtgärder under användningsfasen samt rivning och återvinning/återanvändning av byggmaterial i beläggningar kan överskrida klimatpåverkan från produktionsfasen.

Det finns vissa metodologiska svårigheter att använda EPD:erna för att jämföra miljöpåverkan mellan olika asfaltblandningar eller mellan asfalt- och betongbeläggningar. Jämförelsen mellan asfalt och betongbeläggning är en komplex fråga som diskuterats av asfalt- och betongindustrin i många år [15,16]. Den nya forskningen från Massachusetts Institute of Technology [15] har visat att ökad konkurrens mellan industrin sänker priser för vägbeläggningar för både asfalt och betong – vilket sannolikt kommer att resultera i betydande besparingar för både kunder och skattebetalare. Ett större urval av beläggningsmaterial skulle resultera i en mer rättvis konkurrens med lägre priser och högre klimateffektivitet.

Resultatet från ett tidigare SBUF projekt [7] visade att framtagande av EPD för asfaltbeläggningar inte kan bortkopplas från nationella dimensioneringsmetoder och beställarkrav. En lång livslängd och mindre underhåll för hela vägkonstruktionen har avgörande påverkan för Livscykelanalys (LCA) och Livscykelkostnad (LCC). Ett avslutat SBUF projekt [17] visar vikten av att inkludera drift- och underhållskedet i klimatberäkningar samt utformning av optimeringsåtgärder. Framtida reparationer har en stor påverkan på LCA:s och LCC:s resultat, och scenarierna med mindre underhåll kommer att ha den lägsta totala klimatpåverkan och samhällsekonomiska kostnaden. Utveckling och godkännande av nya innovativa material borde göras baserat på dess potential att minska den totala klimatpåverkan och inkludera alla livscykelstegar: byggande, drift och underhåll och återvinning/återanvändning vid rivning.

Behovet av korrekt gjorda jämförelser avseende kostnadseffektivitet, minskning av klimatpåverkan och främjande av cirkulärt byggande ökar framför allt i samband med nya typer av innovativa material med lägre klimatpåverkan och bestående av restprodukter från andra industrier. De olika grenarna inom EU:s hållbarhetsstandardisering är inte kopplade till varandra ännu. Definitioner och begrepp för hållbara anläggningskonstruktioner från TK-350 [18] behöver kopplas ihop till EU:s regelverk för hållbara finanser [19] och EU-taxonominns klassificeringssystem för hållbara investeringar [20].

Det finns för närvarande inget vedertaget förhållningssätt för att ställa krav och kunna verifiera en sammansatt hållbarhetsprestanda hos vägbeläggningar eller vägkonstruktioner. Med en sammansatt hållbarhetsprestanda menas en multidisciplinär prestanda, som inkluderar uppfyllande av tekniska och funktionella krav, miljömässig prestanda (mest klimat- eller/och resurseffektivitetsprestanda) och kostnadseffektivitet utifrån ett livscykelperspektiv. Detta är särskilt aktuellt med ökande behov i utvecklingen av nya typer av vägkonstruktioner och vägbeläggningsmaterial, så att de högt uppsatta internationella hållbarhetsutvecklingsmålen (Sustainable Development Goals, SDG) [21] och svenska klimatmålen [22] kan uppnås.

Projektets idé är att kartlägga befintligt användande av hållbarhetsbedömningsmetoder som LCA, LCC, EPD och teknisk dimensionering för skapande av hållbara vägkonstruktioner och utveckla ett nytt standardiserat ramverk som tillåter framtagande av nya empiriska samband, styrka eller korrigerar befintliga beräkningsmodeller med syfte att anpassa teknisk dimensionering till LCA och LCC. I projektet analyserades två nya standarder EN 15643-5 [23] och EN 17472 [24] som föreslår att en EPD-deklaration ska utökas till flera hållbarhetsaspekter: teknisk, miljömässig och ekonomisk prestanda. Med en utökad hållbarhetsdeklaration förväntas att vägbeställare ska kunna ställa krav

på en multidisciplinär jämförelse av olika material utifrån teknisk prestanda, miljömässig prestanda (EPD) och totala livscykelkostnader (LCC).

De senaste rönen inom standardiserade hållbarhetsbedömningar av anläggningskonstruktioner kartlades samt förutsättningar och hinder inom nuvarande praxis för implementering av nya standarderna analyserades. Följande frågeställningar behandlas inom projektet:

1. Kartläggning av beställarkrav på hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar idag.
2. Analys av förutsättningar för framtida jämförelser av olika vägbeläggningar.
3. Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar.

1.2 Syfte

Syftet med samtliga tre projekt är att analysera befintliga tekniska, LCA- och LCC-metoder för några stycken tidstypiska konstruktioner och använda framtagna nya kunskaper och data för att ta fram nya empiriska samband, styrka eller korrigera befintliga beräkningsmodeller med syfte att anpassa teknisk dimensionering till LCA och LCC. Alla tre projekten behöver drivas parallellt för att skapa förståelse och systematik om hur klimatpåverkan och livscykelkostnader kan integreras med befintliga funktionella krav och vara mätbara och uppföljningsbara i anläggningsprojekt. Detta kommer att säkerställa att det inte dras förhastiga slutsatser.

Målet med **Etapp A** (seniorforskningsprojekt) är att utveckla ett dynamiskt optimeringskoncept för sprutbetongförstärkning i bergtunnlar med teknisk prestanda, LCA och LCC som parametrar.

Målet med **Etapp B** (detta seniorforskningsprojekt) är att utveckla verifieringsbara funktionskrav på klimatneutrala vägbeläggningar, vilket kommer att stötta anpassning av LCA och LCC till teknisk dimensionering. Syfte med detta projekt är att öka förståelsen för de utmaningar som är förknippade med att anpassa den nuvarande vägdimensioneringen till LCA- och LCC- metoder. Fokus är att stödja dimensionering och byggande av hållbara vägar baserade på de senaste standarderna för hållbarhetsbedömning av anläggningskonstruktioner.

Målet med **Etapp C** (doktorandprojekt) är att vidareutveckla tekniker för produktion och reparation av betongvägar och anpassa teknikerna till svenska förhållanden.

1.3 Avgränsningar

Rapporten presenterar resultatet av forskningsprojekt (**Etapp B**) Anpassning av vägdimensionering för LCA och LCC, vilket är en integrerad del av en större forskningssatsning mellan svenska entreprenörer och Institutionen för Byggvetenskap på KTH, se **Figur 1. Etapp B** bygger på och kompletterar ett tidigare SBUF-projekt (ID 13518), "Dynamisk optimering av betongkonstruktioner" [17] (**Etapp A**). Båda projekten handlar om ny tillämpad forskning inom hållbarhetsbedömningar av anläggningsbetongkonstruktioner.

Detta SBUF-projekt (ID 13722), "Anpassning av vägdimensionering för LCA och LCC" (**Etapp B**) har en direkt koppling till pågående doktorandforskning på avdelning för Betongbyggnad vid KTH. Inom ramarna för doktorandprojektet (**Etapp C**) anställdes en doktorand, som tog sin licentiatexamen med avhandlingstitel "Concrete pavements' repair techniques and numerical assessment of dowel bar load transfer efficiency" [25] den 12 mars 2024. I doktorandprojektet analyseras internationella erfarenheter av betongvägkonstruktioner samt anpassning och vidareutveckling av tekniker för produktion och reparation till svenska förhållandena.



Figur 1: Sambandet mellan olika delprojekten.

2 Metod

2.1 Projektets olika delar som input till rekommendationer

Projektets genomförande fokuserades på besvarande av tre frågeställningar genom flertal av litteraturstudier och fältstudier:

Frågeställning 1: Kartläggning av beställarkrav på hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar idag.

- Litteraturstudie 1.1: Jämförelse av miljömässig prestanda med EPD:er för liknande vägbeläggningar (§3.1).
- Litteraturstudie 1.2: Kartläggning av dimensioneringsmetoder och livslängddata för vägbeläggningar (§3.2).
- Litteraturstudie 1.3: Jämförelse av hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar (§3.3).
- Litteraturstudie 1.4: Vägbeläggningar och produktutvecklingsmetoder för lägre klimatpåverkan (§3.4).
- Fältstudie 1.1: Jämförelse med arbetssätt för klimatberäkningar genom EPD:er (§3.5.2 och §3.5.4).

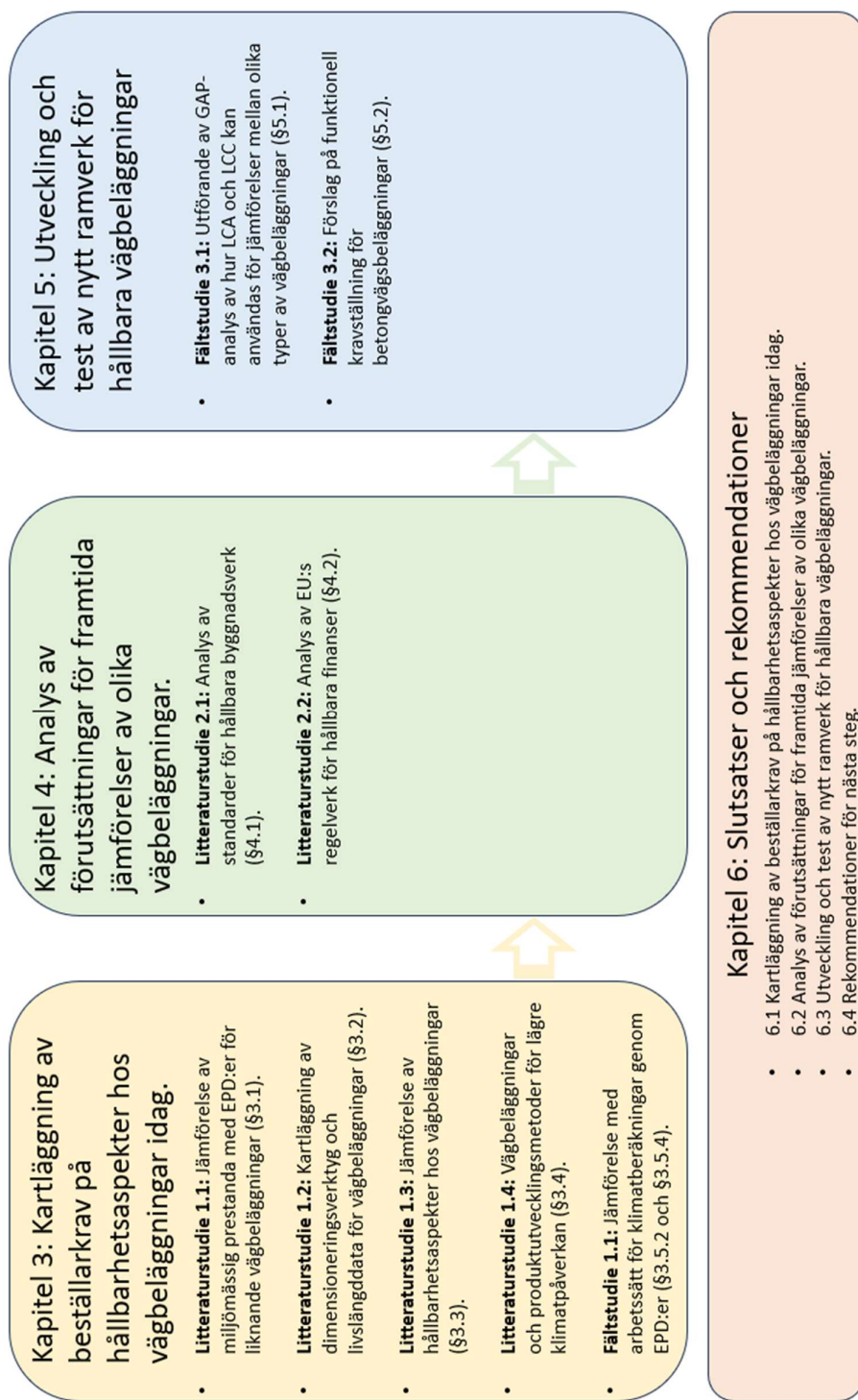
Frågeställning 2: Analys av förutsättningar för framtida jämförelser av olika vägbeläggningar.

- Litteraturstudie 2.1: Analys av standarder för hållbara byggnadsverk (§4.1).
- Litteraturstudie 2.2: Analys av EU:s regelverk för hållbara finanser (§4.2).

Frågeställning 3: Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar.

- Fältstudie 3.1: Utförande av GAP-analys av förutsättningar för jämförelser av olika vägbeläggningar (§5.1).
- Fältstudie 3.2: Förslag på funktionell kravställning för betongvägsbeläggningar (§5.2).

Projektets frågeställningar besvaras i olika kapitel i rapporten, se **Figur 2. Frågeställning 1** presenteras i kapitel 3 och kartlägger nuvarande praxis med hållbarhetsbedömningar för vägbeläggningar och vägkonstruktioner. **Frågeställning 2** presenteras i kapitel 4 och analyserar senaste standardiserings- och forskningsrön inom hållbarhetsbedömningar för byggnadsverk samt EU:s regelverk för omställning av EU:s industri mot ökad hållbarhet. **Frågeställning 3** presenteras i kapitel 5 och ge förslag på ett nytt ramverk som kan stödja funktionell kravställning på byggande av mer hållbara vägkonstruktioner samt ett genomfört försök att applicera ramverket på betongvägsbeläggningar.



Figur 2: Projektets utförande består av 3 olika delar.

2.2 Litteraturstudier, fältstudier och publicerade artiklar

Projektets utförande följde Trippelhelixmodellen för innovationer med syfte att skapa interaktioner mellan akademi (KTH, Pittsburg University och University of Illinois at Urbana-Champaign), industri (NCC, Skanska, Peab och Svevia) och beställare (Trafikverket, Swedavia och finska Trafikverket) för att främja ekonomisk och social utveckling.

Samtliga projekt är en del av KTH Betongbyggnads forskning och utförs av samma projektgrupp och samma referensgrupp. Arbetet utfördes hos KTH Bygghälsa, avdelningen för Betongbyggnad. För projektledning ansvarade Larissa Strömberg (Svevia/KTH). I projektgruppen ingick Prof. Anders Ansell (KTH), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH och Trafikverket), doktorand Saima Yaqoob (KTH) och Prof. Johan Silfwerbrand (KTH).

Forskningen i utfördes i samarbete med KTH:s grannavdelningar för Betongbyggnad, Byggnadsmaterial, Brobyggnad samt Jord och bergmekanik. Internationella erfarenheter hämtades från två områdesledande universitet i USA: University of Illinois Urbana-Champaign och Pittsburg University. Flera vetenskapliga artiklar har skrivits och publicerats under projektets gång:

- **Artikel 1** [10]: Strömberg L., Hintze S., Al-Qadi I.L. and Okte E. (2020): Assessment of asphalt concrete EPDs in Scandinavia and the United States, publicerad i proceedings of The International Symposium on Pavement, Roadway, and Bridge Life Cycle Assessment, Sacramento, California, USA, 3-6 June 2020.
- **Artikel 2** [26]: Strömberg L., Silfwerbrand J., Ansell A., Hintze S. (2020): Making Concrete Pavements Competitive by Using the Standardized Framework for Comparisons of Infrastructure Projects in Terms of Cost-Efficiency and Climate Impact, Journal of Nordic Concrete Research - Publ. No. NCR 62 – ISSUE 1 / 2020 – Article 2, pp. 21-39, DOI: <https://doi.org/10.2478/ncr-2020-0004> | Published online: 09 Jul 2020.
- **Artikel 3** [27]: Strömberg L., Silfwerbrand J., Ansell A. and Hintze S. (2021): Possibilities with LCA and LCCA for sustainable concrete and asphalt roads, publicerad i proceedings of the XXIV Concrete Research Symposium, Sandefjord, Norway, 17-20 August 2021.
- **Artikel 4** [28]: Strömberg L., Khazanovich L. and Hintze S. (2021): Enhancement of sustainable road design towards compatibility between pavement materials, publicerad i proceedings of the 12th International Conference on Concrete Pavements, Minneapolis, Minnesota, USA, 29 August – 2 September 2021.
- **Artikel 5** [29]: Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., Strömberg, L. (2021): Evaluation of Rapid Repair of Concrete Pavements Using Precast Concrete Technology: A Sustainable and Cost-Effective Solution. Nordic Concrete Research, 65 (2), pp 107-128.
- **Artikel 6** [30]: Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., Strömberg, L. (2022): Overnight rehabilitation of concrete pavements using precast concrete technology. Paper presented at XXIV NCR Symposium, Stockholm, Sweden, 16- 19 August 2022, 4 pp.
- **Artikel 7** [31]: Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., & Balieu, R G- R., (2024): A Parametric Study Investigating the Dowel Bar Load Transfer Efficiency in Jointed Plain Concrete Pavement Using a Finite Element Model. Buildings 2024, 14, 1039. 20 pp.

Ansvarsfördelning, utförda aktiviteter och koppling till publicerade artiklar presenteras i **Tabell 1**.

Tabell 1: Ansvarsfördelning, utförda aktiviteter och koppling till publicerade vetenskapliga artiklar i projektet.

Aktivitet i projektet	Vem som utförde	Resultaten presenteras
Frågeställning 1: Kartläggning av beställarkrav på hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar idag.		
Litteraturstudie 1.1: Jämförelse av miljömässig prestanda med Peder för liknande vägbeläggningar.	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Prof. Imad Al-Qadi (University of Illinois at Urbana-Champaign), Prof. Lev Khazanovich (Pittsburg University), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH/ Trafikverket)	Artikel 1 Artikel 2 Artikel 3 Artikel 4
Litteraturstudie 1.2: Kartläggning av dimensioneringsverktyg och livslänggdata för vägbeläggningar	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), PhD student Saima Yaqoob (KTH), Björn Kullander (Trafikverket), Prof. Imad Al-Qadi (University of Illinois at Urbana-Champaign), Prof. Lev Khazanovich (Pittsburg University)	Artikel 1 Artikel 2 Artikel 3 Artikel 4 Artikel 5 Artikel 6 Artikel 7
Litteraturstudie 1.3: Nuvarande praxis med hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar.	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Prof. Lev Khazanovich (Pittsburg University), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH/ Trafikverket)	Artikel 2 Artikel 3 Artikel 4
Litteraturstudie 1.4: Vägbeläggningar och produktutvecklingsmetoder för lägre klimatpåverkan.	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Univ Lektor Denis Jelagin (KTH), PhD student Saima Yaqoob (KTH)	Artikel 3 Artikel 5 Artikel 6 Artikel 7
Fältstudie 1.1: Jämförelse med arbetssätt för klimatberäkningar genom EPD:er	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH)	-
Frågeställning 2: Analys av förutsättningar för framtida jämförelser av olika vägbeläggningar.		
Litteraturstudie 2.1: Analys av standarder för hållbara byggnadsverk	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Prof. Anders Ansell (KTH), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH/Trafikverket)	Artikel 2
Litteraturstudie 2.2: Analys av EU:s regelverk mot hållbar omställning av industrin	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH)	-
Frågeställning 3: Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar.		
Fältstudie 3.1: Utförande av GAP-analys av hur LCA och LCC kan användas för jämförelser mellan olika typer av vägbeläggningar	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Prof. Anders Ansell (KTH), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH/Trafikverket)	Artikel 2 Artikel 3
Fältstudie 3.2: Förslag på funktionell kravställning för betongvägsbeläggningar	Dr. Larissa Strömberg (KTH/Svevia), Prof. Johan Silfwerbrand (KTH), Adj. Prof. Staffan Hintze (KTH/Trafikverket)	Artikel 2 Artikel 3

3 Kartläggning av nuvarande praxis och utmaningar

3.1 Jämförelse av miljöprestanda med EPD:er för liknande beläggningar

3.1.1 Standarder för EPD:er

EPD-systemet tillåter en transparent, standardiserad jämförelse av miljöprestanda hos likvärdiga byggprodukter ur ett internationellt perspektiv. Systemet möjliggör även frivillighet och ger förutsättningar för incitament på ett transparent och juste sätt. En EPD vilar på en uppsättning standarder, varav en europeisk standard, EN 15804 [5,6] specificerar en standardiserad vetenskapsbaserad metod för framtagande av EPD:er för byggprodukter. Dessutom finns en internationell standard, ISO 21930 [32] som används i USA som ett alternativ till den europeiska standarden EN 15804 [5]. Båda standarderna beskriver beräkningsmetoden för att uppskatta miljöpåverkan av byggmaterial på ett standardiserat och jämförbart sätt.

Utöver denna standard ska det finnas produktspecifika beräkningsregler, PCR, för att kunna ta fram en EPD. Utöver kraven från standarderna kan branschgemensamma krav, t ex från beställare, tillverkare, entreprenörer i form av branschgemensamma scenarier för användande, rivning och återvinning läggas in i en PCR. Detta kräver dock branschgemensam konsensus om scenarierna. Inom EPD-systemet finns olika typer av PCR:er. Det finns övergripande, s.k. core-PCR:er, t.ex. PCR för alla byggprodukter [33,34].

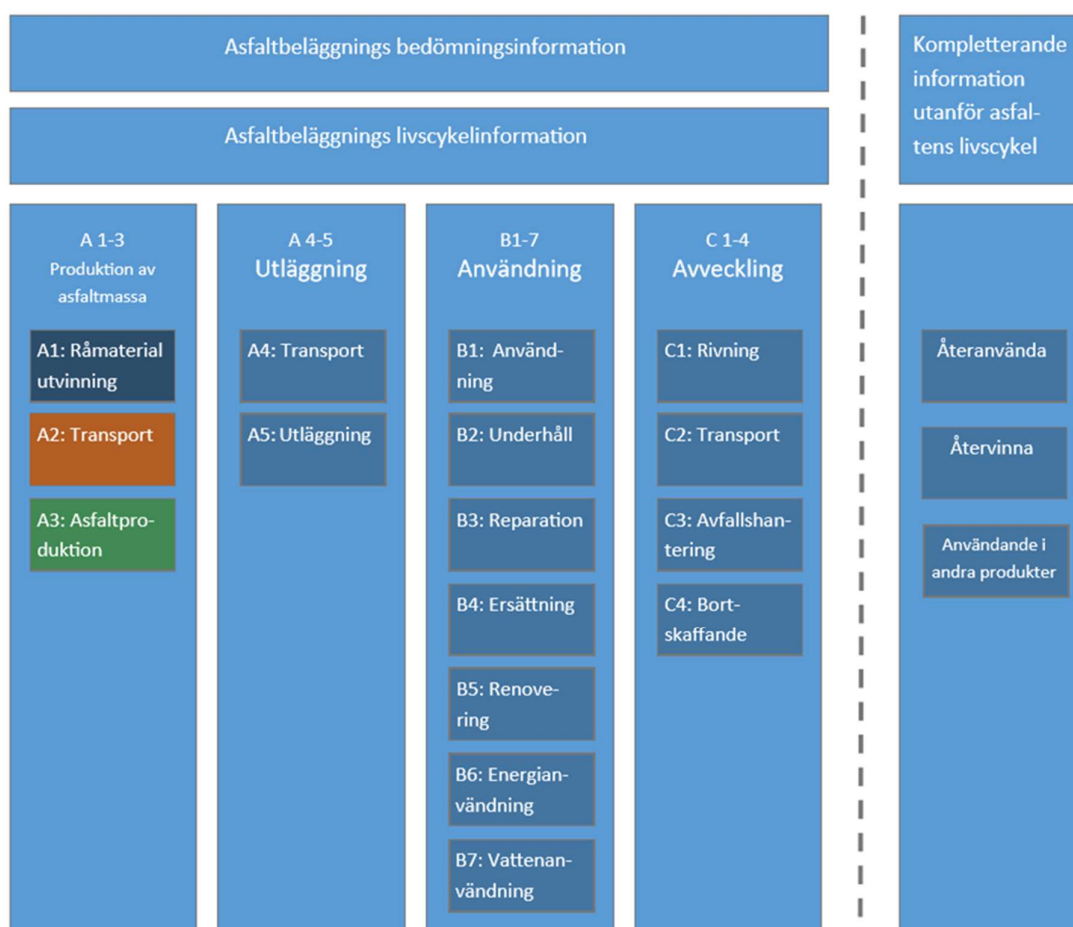
Det finns produktanpassade PCR:er, t ex för asfalt [35,36]. EPD-programoperatörer som EPD Norge [37] och EPD International [38] har varsin core-PCR för byggprodukter och PCR för asfalt [35,36]. PCR:en för asfalt från EPD International [35] syftar till att kunna användas av företag i hela Europa. PCR:en för asfalt från EPD Norge [36] är anpassad efter branschgemensamma scenarier för hantering av asfalt i Norge. EPD International har utvecklat en PCR för betong [39].

Enligt en äldre version av EN 15804 [5] och ISO 21930 [32] finns ett minimikrav på att en EPD ska inkludera miljöpåverkan från råvaruutvinning fram till och med fabriksproduktion ("cradle-to-gate"), vilket i standarderna benämns modul A1 till A3, se **Figur 3** och **Figur 4**. Därför är de flesta nuvarande EPD:erna begränsade till bedömningen av miljöpåverkan från tillverkningsfasen (modul A1 till A3), vilket i sin tur gör att implementeringen av EPD-systemet är begränsad till jämförelser mellan samma typer av produkter, t.ex. samma asfaltmassa typ från olika tillverkare [11]. I både Skandinavien och USA är användandet av EPD:er begränsat till bedömning av miljöpåverkan från beläggningar för tillverkningskedde, d.v.s. moduler A1-A3. Detta är huvudorsaken till att EPD:er tas fram och används för jämförelse av samma asfaltmassatyp (t. ex. ABT, ABS) från olika tillverkare [7,10,11].

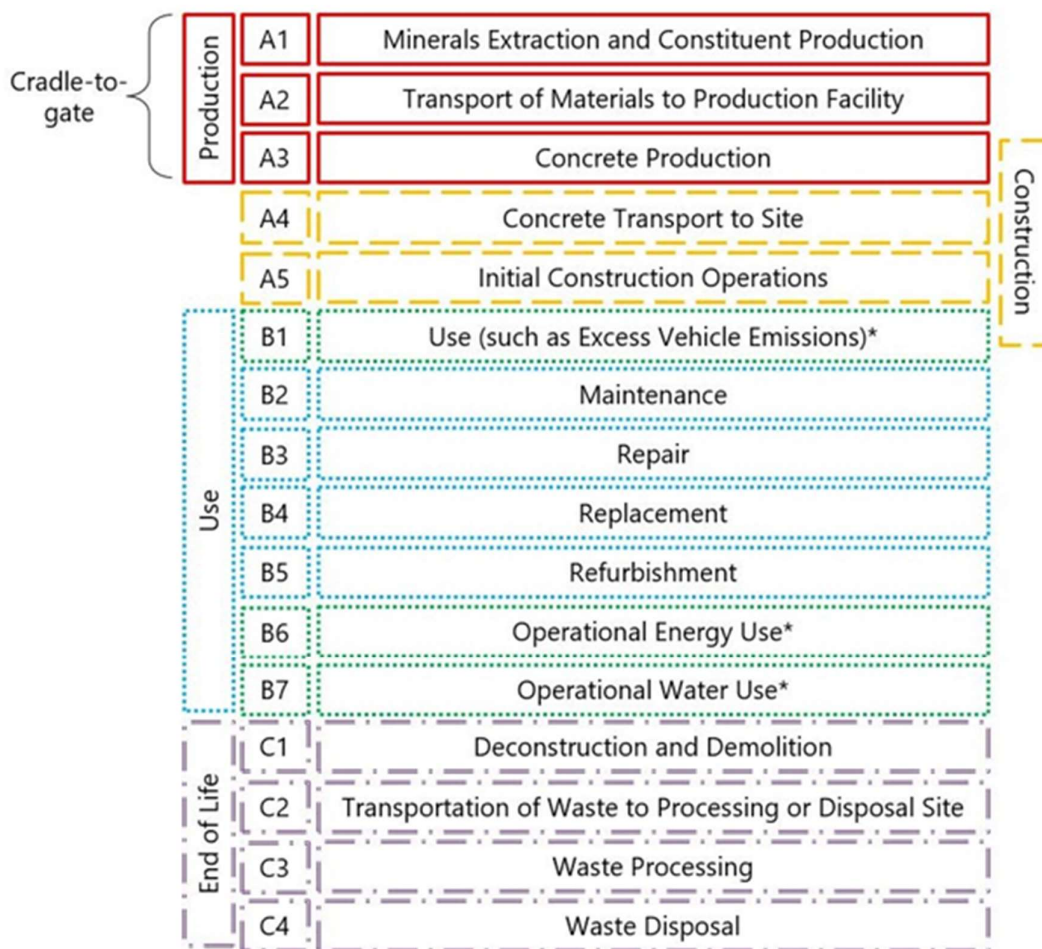
En ny version av EN 15804 [6] har ökat omfattningen på redovisade livscykelstegen eller moduler och infört en obligatorisk redovisning av produktionsfasen (modul A1-A3), avvecklingsfasen (modul C) och återvinnings- och återanvändningspotential av avvecklade produkten till nya produkter (modul D). Användningsfasen (Modul B) är det frivilligt att redovisa.

Flera asfalttillverkare har redan tagit fram EPD:er enligt den nya standarden. Informationen om miljöpåverkan från moduler C och D används dock inte i affärsmässiga sammanhang, t. ex. i beställarkravet på asfaltmassor i anläggningsentreprenader. Endast modul A1-A3 ingår i beställkravet i Sverige, Skandinavien, Europa och USA. Det är oftast bristen på jämförbara indata för modul C och modul D som förhindrar en bredare affärsmässig användning av sådana EPD:er av beställare i infrastrukturprojekt i Sverige [12,13,14].

Beläggningsens klimatpåverkan från reparations- och underhållsåtgärder under användningsfasen (modul B) samt rivning och återvinning/återanvändning av byggmaterial i beläggningar (moduler C och D) kan överskrida klimatpåverkan från produktionsfasen (modul A1-A3).



Figur 3: Miljöpåverkan av en asfaltbeläggning uppdelad i flera livscykelstegen eller moduler enligt EN 15804 [6] och hämtad från [11].



Figur 4: Miljöpåverkan av en betongvägsbeläggning uppdelad i flera livscykelsteg eller moduler enligt ISO 21930 [32] och hämtat från [40].

3.1.2 Verifiering av miljövarudeklarationer, EPD

En EPD (Environmental Product Declaration eller miljövarudeklaration) är ett verifierat och registrerat dokument för kommunikation av en produkts miljöprestanda över dess livscykel. Det ger därför transparent och jämförbar information om produkters miljöpåverkan ur ett livscykelperspektiv. EPD:er finns för olika byggmaterialgrupper, men inte för drivmedel. EPD-standarder kräver att vissa krav är uppfyllda för att en EPD blir "äkta". Den ska vara:

- Följa standard EN 15804.
- Vara tredjepartsgranskad.
- Registrerad och publicerad på hemsida hos en EPD-programoperator.
- Giltig i tid.

Processen att ta fram en EPD innebär tredjepartsgranskning och verifiering hos en EPD-programoperatör. Det finns tre möjliga verifieringsalternativ: verifiering av enskilda EPD:er, förverifiering av EPD-verktyg eller verifiering av en företagsspecifik EPD-process.

Enskild EPD

Det vanligaste sättet är att ta fram en enskild EPD för en produkt eller en serie produkter, som har samma funktion och inte skiljer sig åt vid tillverkningen. Varje enskild EPD måste tredjepartsgranskas, verifieras och publiceras av en EPD-programoperatör. Det tillkommer en registrerings- och förvaltningsavgift för varje enskild EPD. Flera svenska asfalttillverkare som Svevia AB [41] och Peab [42-60] har tagit fram och registrerat sina enskilda EPD:er hos EPD-programoperatör EPD International [38].

EPD-verktyg

Ett smidigare sätt att ta fram flera EPD:er till en lägre kostnad per EPD är att förverifiera ett digitalt EPD-verktyg för en typprodukt, t.ex. asfalt eller betong. Förverifiering av ett EPD-verktyg ersätter inte verifiering av varje enskild EPD, men verifieringsproceduren för varje enskild EPD blir enklare eftersom verktyget har förverifierats för att utföra beräkningar enligt en "låst" beräkningsmodell och en specifik PCR.

Utveckling av digitala EPD-verktyg med syftet att automatisera framtagandet av EPD:er för byggmaterial och produkter som, t. ex. asfalt och betong är en trend i anläggningsbranschen i Sverige, Norge, Tyskland, Italien och USA. Ett digitalt EPD-verktyg sänker kostnaderna för framtagande av en EPD. I Norge har asfaltbranschen bedrivit utveckling av ett webbaserat digitalt verktyg för framtagande av EPD:er för asfalt, en s.k. EPD-generator [61]. Den norska EPD-generatorn ägs av en norsk branschorganisation, EBA, och kan användas av asfalttillverkare som är medlemmar i denna organisation. Flera svenska asfalttillverkare som Skanska [62-81] och Veidekke [142,143] har använt den norska EPD-generatorn för att ta fram och verifiera EPD:er för asfaltmassor som produceras i Sverige. EPD-generatorn är granskad och godkänd av EPD-programoperatör EPD Norge [37].

I syfte att på ett kostnadseffektivt sätt ta fram produktspecifik miljöinformation för betong och betongelement har medlemmar i Svensk Betong sedan 2015 haft tillgång till ett kvalitetssäkrat klimatberäkningsverktyg, Svensk Betongs EPD-verktyg [82].

EPD-process

Det finns ett sätt ytterligare att effektivisera framtagande av flera EPD:er. Ett företag kan även implementera en EPD-process, som ersätter verifiering av varje enskild EPD. Verifiering av en EPD-process innebär att företagets interna rutiner och processer för att utföra EPD:er certifieras och kontrolleras årligen av ett ackrediterat certifieringsorgan. Verifieringen kräver antingen verifiering av det LCA-verktyg eller den LCA-modell, som används för att producera EPD:er. Verifieringen kan kopplas till företagets miljöledningssystem i enlighet med ISO 14001 [83]. NCC har implementerat EPD-process och har tagit fram flera EPD:er för asfaltmassor [84-108]. EPD-processen är godkänd av EPD-programoperatör EPD International [38].

3.1.3 Obligatorisk redovisning med EPD i Sverige

Samtliga svenska beställare, både offentliga och privata, ställer krav på ett tredjepartsgranskat bevis på vägbeläggnings klimatprestanda i form av en EPD. Trafikverket och kommunerna har satt maximala utsläppsvärdena för klimatpåverkan från olika byggmaterial. Beställarnas maximala utsläppsvärden används sedan för att beräkna minskning av klimatpåverkan i ett projekt. Detta görs genom att jämföra de maximala utsläppsvärdena med värden i EPD:er för byggmaterial och produkter som levererades till projektet. Som projektspecifika EPD:er eller likvärdigt räknas följande alternativ:

- En tredjepartsgranskad EPD, publicerad på en offentlig hemsida hos en EPD-programoperatör, t.ex. EPD International [38] eller EPD Norge [37].
- En EPD som tagits fram i ett tredjepartsgranskat EPD-verktyg.
- Ett skriftligt uttalande som görs av tillverkaren, vars produkt saknar en tredjepartsgranskad EPD. Produktens klimatpåverkan uppskattas att inte avvika mer än 10 procent från en liknande produkt, som har en tredjepartsgranskad EPD hos samma tillverkare.

Trafikverket har en granskningsfunktion som kontrollerar samtliga projektspecifika EPD:er i Trafikverkets projekt. Det kontrolleras att en projektspecifik EPD:

- Tillhör en specifik produkt som köptes i ett projekt.
- Omfattar livscykelstegen A1-A3.
- (Har emissionsvärde som inte överstiger maximala utsläppsvärdena).

En huvudentreprenör kan ställa ytterliga krav på EPD mot underleverantörer:

- Att samla EPD:er för flera produktgrupper än i beställarunderlaget.
- Att sätta egna striktare maximala utsläppsvärdena för klimatpåverkan från byggmaterial i projekt än beställarens.

Utöver själva EPD:er efterfrågar Trafikverket och kommuner leveranskvitton, som kan verifiera volymer av levererade byggprodukter, tillverkarnas namn samt beteckning och adress på anläggningsprojekt, där produkter levererades.

3.2 Kartläggning av dimensioneringsverktyg och livslängddata

Trots beställarens ökade krav på att minska klimatpåverkan från vägbyggandet har det hittills gjorts relativt lite forskning om hur hållbarhetsaspekter kan integreras i traditionell dimensionerings- och optimeringsprocess. En ökning av axelvikt, förändringar av de traditionella färdssätten, t.ex. användning av självkörande och styrda fordon, och skarpare beställarkrav på att minska klimatpåverkan kräver nya angreppssätt för att styra vägbyggandet mot mer klimatneutrala och resurseffektiva lösningar.

Den nuvarande dimensioneringsprocessen och verktygen är inriktade för att uppfylla tekniska kraven genom att fastställa en slutlig lösning ganska tidigt i planeringsskedet. Dessa "låsta" tekniska lösningar är svåra att ändra senare i ett detaljprojekteringskede utifrån miljökraven. Det finns en tendens för skapande av standarder och tekniska föreskrifter med syfte att minska klimatpåverkan utifrån politiska ställningstaganden blandat med enbart teoretiska grunder. Effekten av standarderna på faktisk minskning

av klimatpåverkan från anläggningskonstruktioner bör vara verifieringsbar och bekräftad med fältstudier.

VTI [109] har tagit fram ett utkast på underhållsdatabas med empiriska mätningar av vägslitage och livslängd för olika vägbeläggningar i Sverige. Senaste uppdateringarna i databasen gjordes år 2013. Trafikverket använder en intern databas med information om vägstatus, PMSV3 [110]. Den senaste databasen är inte kopplad till dimensionering av nya vägar utan används för planering av vägunderhåll. Strukturen på rapporterade data om vägstatus, behov av underhåll etc. är inte standardiserad.

Mer sofistikerad livslängdsuppskattning med hjälp av probabilistiska metoder har etablerats i takt med utveckling av allt effektivare datorer och analysmetoder. Dessa metoder bygger på helmekaniska modeller, t.ex. finita elementmetoden, som kan lösa komplexa problem genom att materialegenskaper direkt behandlas i strukturmodellen. Användandet av de metoderna för vägdimensionering ligger längre fram i tiden. En förutsättning för att helmekaniska beräkningsmetoder ska användas bredare i anläggningsprojekt är att det finns bättre kunskap och metoder för att verifiera uppfyllandet av komplexa optimeringskrav i projekt.

Gudmarsson [111] har utvecklat en materialmodell baserad på finita elementmetoden. Modern ultraljuds- och resonansfrekvensmätningar har använts till att bestämma materialegenskaper för asfalt. Dessa materialegenskaper är direkt relaterade till beläggningens kvaliteten och används senare i bärighetsdimensionering av nya vägar för att bestämma asfaltlagrens tjocklek. Metoden har implementerats av Peab och vidareutvecklats i ett SBUF-projekt [112]. En praktisk implementering av sådana avancerade teoretiska modeller är inte etablerad praxis i svenska anläggningsbranschen.

Liknande metoder har länge använts för modellering av nedbrytningsmekanismer för betongkonstruktioner på avdelning för Betongbyggnad på KTH [25,113]. Med matematiska optimeringsmodeller möjliggörs valet av ett bästa alternativ (med avseende på ett eller flera parametrar) utifrån angivna förutsättningar. I ett tidigare utfört forskningsprojekt vid KTH [113] har påverkanskriterier som förkortar livslängd för betongelement i broar identifierats. Nedbrytning av elementen har analyserats med hjälp av numerisk modellering baserad på Markovkedjeteori. KTH har även tagit fram ett modelleringskoncept för analys av hur nedbrytning sker i olika byggnadsdelar under livslängden [114].

I USA har ett verktyg för dimensionering av vägöverbyggnader, MnPAVE utvecklats. Programvaran bygger på helmekanistiska modeller för att strukturera och analysera vägöverbyggnader. Nedbrytningsmodellerna baseras på beräkning av elastisk respons samt materialnedbrytning. Minnesotas trafikverk har nyligen implementerat MnPAVE verktyget [115]. Dimensionering av både flexibla (bitumenbundna) och styva (betongbundna) vägöverbyggnader och jämförelser vid valet av mest optimala beläggning är möjligt i verktyget. Lagring av empiriska data om vägunderhåll sker direkt i verktyget och data används för planering av reparationer av befintliga och nya vägar.

Dimensioneringsverktygen för svenska asfaltvägar har successivt utvecklats och moderniserats men motsvarande utveckling av dimensioneringsmetoder och verktyg för

betongvägsbeläggningar är avgörande för att skapa ett konkurrenskraftigt alternativ mot asfaltvägbeläggningar.

Flera utländska forskningsstudier har genomförts med syftet att skapa digitala verktyg för multidisciplinär optimering. En studie från Massachusetts Institute of Technology [116] föreslår ett systematiskt tillvägagångssätt för att dokumentera den tekniska och klimatmässiga prestandan hos vägbeläggningar på varje amerikansk delstatsnivå. Det första steget är att utvärdera status för hela vägsträckan, såsom aktuella klimatförhållanden och typ av vägunderlag.

Nästa steg involverar insamling av prestandarelaterade data, såsom grovhetsindex av underlaget, beläggningstjocklek, antal körfält och trafikvolym. Dessa data läggs sedan in i ett modelleringsverktyg för uppskattning av framtida scenarier för vägunderhåll och bränsleförbrukning för passerande fordon utifrån beläggningens ytjämnhet och deformationsförmåga. För att förutsäga framtida klimatpåverkan i samband med olika vägunderhållande- och reparationsåtgärder har metoden testats på en fallstudie av Missouris delstatens vägnät under en 50-årig period.

I [117,118,119] har optimeringsmetodiker för jämförelse och optimering, avseende teknisk prestanda, LCA och LCC, utvecklats. De utförda forskningsprojekten som nämnts ovan har använt olika systemgränser för olika optimeringsaspekter inom samma studie. Även avgränsningar för LCA-analyser skiljer sig mellan studierna, vilket gör att beräkningsresultaten från de olika verktygen inte är jämförbara.

3.3 Jämförelse av hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar

Både de europeiska länderna och USA har använt Life Cycle Assessments (LCA) och Life Cycle Cost Assessment (LCC) på flera infrastrukturprojekt, men proceduren är inte standardiserad och inte helt integrerad med dimensioneringsprocessen för vägkonstruktioner. Dessutom har USA, Sverige och Norge väl etablerade metoder och digitala verktyg för dimensionering asfaltbeläggningar, men Sverige och Norge har inget verktyg för dimensionering av betongvägsbeläggningar.

I Sverige används separata metoder och verktyg för att bedöma och optimera olika aspekter av hållbarhetsprestanda hos vägbeläggningar och konstruktioner, se **Tabell 2**. Trafikverket har utvecklat och implementerat ett Excel-baserat beräkningsverktyg för LCC för vägkonstruktioner, med ambitionen att genomföra LCC för utvärdering av sina vägprojekt i ett tidigt skede. Kartläggning av beställningsunderlag i vägprojekten [13,15] visar dock att tillämpning av LCC inte är lika utbredd bland svenska offentliga uppdragsgivare, även om både EU-direktivet 2014/24/EU [120] och lagen om offentlig upphandling [121] rekommenderar att offentliga beställare tillämpar livscykelkostnader för utvärderingen av anbudsförslag istället för traditionella upphandlingar baserade på ett lägsta pris.

Den tekniska dimensioneringen följer Trafikverkets bestämmelser [122] och utförs med hjälp av programvaran PMS Objekt [123]. Den svenska industrin använder EPD:er som en prestandadeklaration av både asfalt- och betongbeläggningars miljöprestanda.

Trafikverket ställer krav på beräkning av miljöpåverkan för hela vägkonstruktion i Klimatkalkylmodellen [1].

Tabell 2: Befintliga svenska verktyg för att optimera olika hållbarhetsaspekter av vägbeläggningar [26,28].

Ägare	Verktyg	Syfte och optimeringsområde	Systemgränser för LCA/LCC/EPD	EPD-moduler
Trafikverket	PMS Objekt [123]	Teknisk dimensionering och optimering av asfaltvägar.	Hela vägkonstruktionen.	Delar av modul A och modul B.
Trafikverket	PMSV3 [110]	Insamling av statistiska, empiriska och modelleringsdata om vägbeläggningarnas status.	Inte standardiserade.	Delar av modul C.
Trafikverket	LCC-verktyg för vägöverbyggnad [124]	LCC för vägar, optimering av investeringar och underhållskostnader.	Bara vägbeläggningar.	Delar av modul A, B och C.
Trafikverket	Klimatkalkylmodellen [1]	LCA för anläggningsprojekt. Rapportering och optimering.	Hela vägkonstruktionen.	Delar av modul A1-A3, A4, A5, B.
Europeisk (CEN) och internationell (ISO) organisation.	EPD [5,6,32]	EPD:er för byggprodukter. Endast rapportering.	Bara vägbeläggningmaterial, t.ex. asfaltmassa eller betongblandning.	Modul A, B, C och D enligt senaste standarden [6], tidigare endast Modul A1-A3 enligt [5,91].

3.4 Hållbar produktutveckling av vägbeläggningar

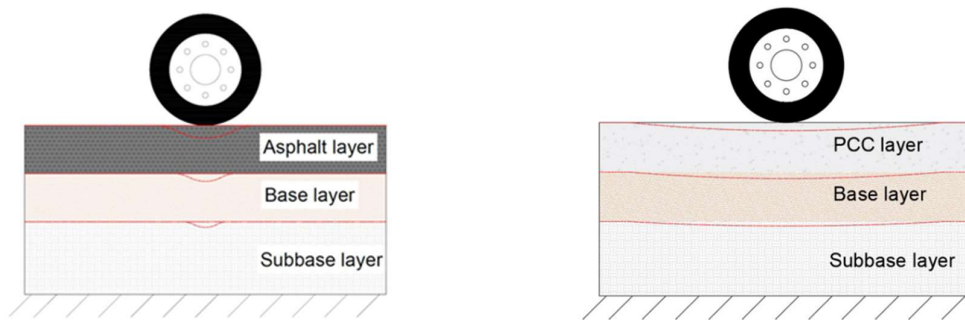
3.4.1 Traditionella asfalt- och betongvägskonstruktioner

Vägbeläggningar spelar en viktig roll i samhällsinfrastrukturen genom att bidra till ökad tillgänglighet, mobilitet, säkerhet och estetik. Liksom andra anläggningskonstruktioner behöver vägbeläggningarna dimensioneras för att vara hållbara och ha lång livslängd. Ett väl fungerande vägnät är en avgörande faktor för att främja ekonomisk tillväxt. Funktionsmässigt formas vägbeläggningar för att effektivt stå emot laster från trafiken, påverkan från klimatet och ger en effektiv och smidig körning utan störningar.

Traditionellt delas vägbeläggningar i två grupper: asfalt (flexibla beläggningar) och betong (styva beläggningar) [25]. Asfaltvägskonstruktion består av ett bituminöst slitlager (kallad asfaltvägbeläggning i denna rapport), ett cement- eller asfaltbaserad lager, följt av obundet lager, se **Figur 5**. Konstruktionsmässigt består betongvägskonstruktion av ett portlandcementbaserat ytskikt (kallad

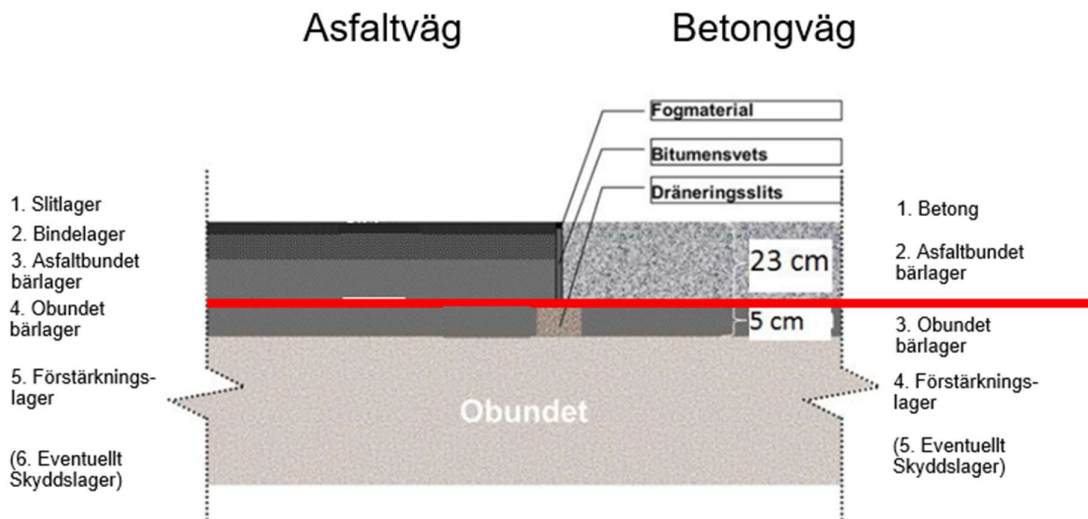
betongvägsbeläggning i denna rapport) med följande lager som för asfaltbeläggningar, se **Figur 5**.

Laster från fordon belastar asfaltvägkonstruktioner direkt under hjulen och orsakar deformationer och böjningar av samtliga lager i asfaltvägkonstruktionen. Till skillnad från asfaltvägar, fördelas spänningar från laster på ett större yta i styva betongvägkonstruktioner, som dock är mer känsliga mot böjning. Valet av ytbeläggingsmaterial beror på olika faktorer, bl.a. trafikvolym, vikten på passerade fordon, underhållsintervallen, klimatzon och typ av vägen, t.ex. en motor- eller landsväg. Bärande förmåga hos en väg definieras inte endast av typen av ytsiktlayer, d.v.s. asfalt- eller betongbeläggning, utan av hela vägkonstruktionen bestående av minst tre olika lager.



Figur 5: Lastfördelningar och konstruktioner för asfalt- och betongvägar [25].

Traditionell teknisk dimensionering av vägbeläggningar baseras på flera aspekter: trafik, klimatzon och markförhållandena på platsen. Det finns några frekvent använda vägkonstruktioner i Sverige, se **Figur 6**.



Figur 6: Traditionell vägkonstruktion i Sverige [28].

En betongbeläggning har längre livslängd, vilket innebär färre underhållsåtgärder, färre trafikstörningar och vägvastängningar och lägre livscykelkostnader. Översta skiktet på en betongväg behöver slipas p.g.a. dubbdäcksslitage efter 10-20 år, medan hela betongvägskonstruktion dimensioneras för 40 år. Betongvägar i tunnlar med regelbundet underhåll kan även hålla upp till 60 år. Asfaltbeläggningar brukar kräva reparationsåtgärder redan efter 6-10 år. Livslängden för asfaltvägskonstruktion är ca 40 år.

Som beläggingsmaterial har betong flera fördelar jämfört med asfalt men det är det knappast används på svenska motorvägar. Den äldsta är faktiskt redan 17 år gammal. Den moderna svenska betongmotorväg består av en 200-220 mm tvåskiktsslagad betongbeläggning på en cement- eller asfaltbehandlad bas [125]. Genom att välja slitstarka ballast och hög hållfasthet av det översta lagret, betongbeläggningen har visat sig motstå slitage från dubbdäcken som är tillåtna på svenska privatbilar under vintersäsongen.

Den totala längden på betongvägnätet i Sverige är ungefär 67 km, se **Tabell 3** [26]. Andelen betongvägar är mindre än 1 procent av det totala svenska vägnätet.

Tabell 3: Användande av betongvägsbeläggningar i Sverige [26].

Betongväg	År	Längd (km)	Status
E6 Vellinge	1972	13	Belagd med asfalt
E4 Helsingborg	1978	7	Belagd med asfalt
E4.65 Arlanda	1990	1,6	Används
E6/120 Falkenberg 1	1993	15	Används
E6/120 Falkenberg 2	1996	13	Används
E20 Eskilstuna	1999	14	Används
E4 Uppsala	2006	23	Används
Total utlagd längd		87	
Används i nuläget		67	

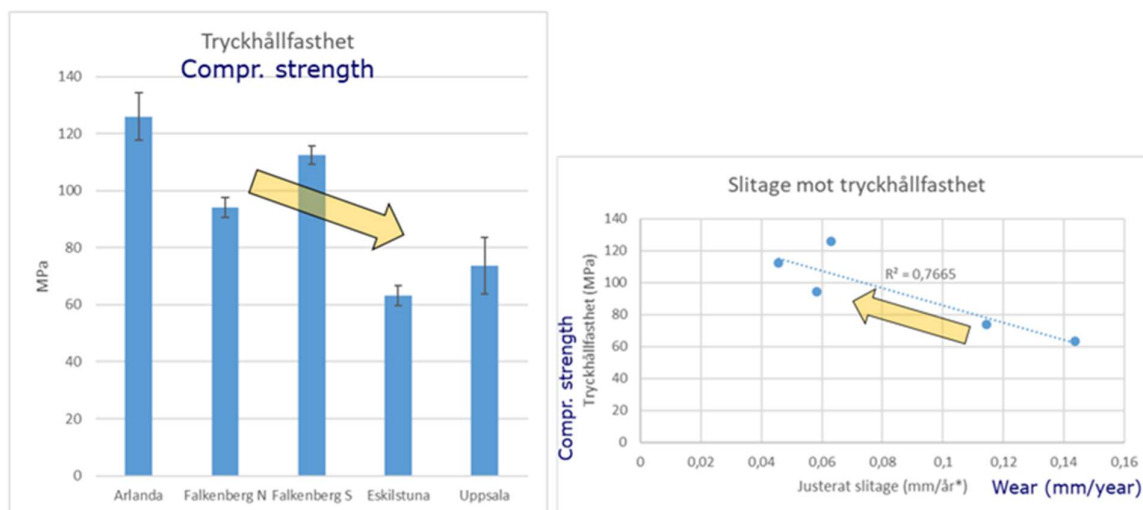
Silfwerbrand [126,127] har identifierat flera orsaker till det. Bristen på erfarenhet av dimensionering, byggande och reparation av betongvägar är den stora utmaningen, tillsammans med flera andra, såsom:

- Sverige är ett relativt glesbefolkat land, vilket gör att de flesta vägarna har för låg trafikvolym för investeringar i dyrare betongvägar.
- Det finns en mycket stark tradition att bygga asfaltsvägar.
- Asfaltbeläggningarna anses vara ett billigare alternativ, med hänsyn till de initiala investeringarna, men deras underhåll kan bli kostsamt över tiden. Den nuvarande upphandlingen efter en beräknad investeringskostnad begränsar användningen av material och/eller design med längre livslängd och mindre underhåll.
- Bristen på nationell erfarenhet av dimensionering, byggande och reparation av betongbeläggningar. Ofta saknas kompetensen hos både beställare och entreprenörer. Alla svenska betongvägar har producerats med tyska eller holländska glidformläggare. Vägprojektets storlek har en väsentlig inverkan för att göra en betongbeläggning till ett mer lönsamt alternativ än en asfaltbeläggning gör.
- De flesta upphandlingar och förvaltning av infrastruktur i Sverige görs av Trafikverket, vars strukturella organisation har separata avdelningar och

”plånböcker” som ansvarar för nyproduktion respektive reparations- och underhållskontrakt.

- Aktuella problem med för tidig förlitning av nuvarande betongvägar, t.ex. Eskilstuna- och Uppsalavägen (E18) orsakades av ett felaktigt val av grova och fina stenmaterial till det slitna betonglagret [128].

Den sista orsaken ovan kan i sin tur förklaras av en successivt försämrade kvalitet på svenska betongbeläggningar sedan Arlandavägen färdigställdes 1990. Betongens tryckhållfasthet har successivt sänkts från över 120 till 60–70 MPa i de två senaste vägsträckorna (**Figur 7**, till vänster). Den svenska praxisen inom betongbeläggning är en tvåskiktets betongbeläggning gjuten vått-i-vått. Det 70–80 mm tjocka toppskiktet tillverkas av en slitstark betongblandning som kombinerar höghållfast betong med utvalda (dyra) ballastpartiklar med hög slitstyrka. Det 130–150 mm tjocka bottenskiktet tillverkas med en betongblandning av liknande hållfasthet men med lokala (billigare) ballast. Dolk [128] har undersökt betongblandningarna för de fem betongbeläggningar som byggts efter 1990 och hennes slutsats är att i den yngsta betongbeläggningen (E4 Uppsala) blandades det slitstarka ballasten med en lokal ballast vilket resulterade i en toppskiktetsbetongblandning inte tillräckligt stark (**Figur 7**, till höger). Detta ledde till en för tidig sporbildning.



Figur 7: Betongens tryckhållfasthet sänktes successivt i nyare svenska betongbeläggningar (överst) vilket resulterade i en successiv ökning av sporbildning [128].

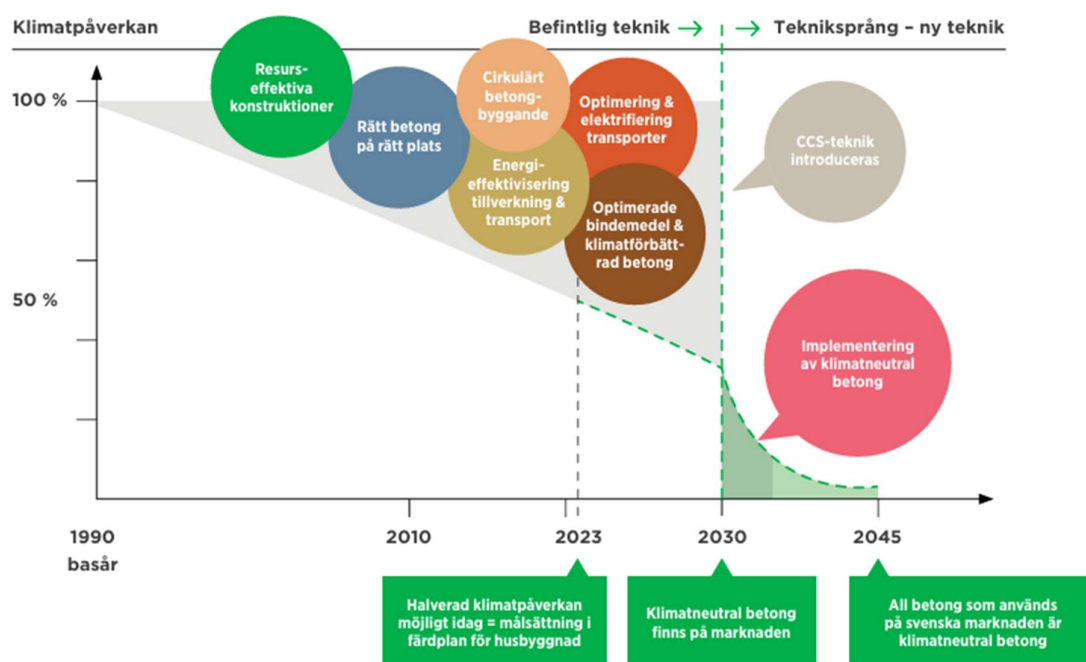
En innovativ klimateffektiv vägbeläggning skapas ofta långt innan beläggning läggs ut i ett vägprojekt. Vissa svenska entreprenörer och materialleverantörer har redan börjat utföra klimatoptimeringar av sina produkter och lösningar samt leveranskedjor som en del av ett internt strategiskt arbete med kostnadsoptimering och främjande av hållbarhet. För närvarande saknas förmågan att presentera information för att göra det möjligt för projektintressenter att förstå sambandet mellan kostnader (över hela livslängden), funktion och kvalitet och ta hänsyn till olika hållbarhetsaspekter hos

vägbeläggningar. Jämförelse av alternativa material och konstruktioner baserade på tekniska och funktionella egenskaper samt hållbarhetsaspekter, såsom miljömässiga och ekonomiska, i hela livscykelperspektivet kommer att bli en viktig förmåga för byggbranschen för att uppfylla det globala klimatreduceringsmålet.

3.4.2 Betongvägsbeläggningar med lägre klimatpåverkan

Redan för drygt 10 år sedan fanns klimatförbättrad betong på den svenska marknaden. Branschorganisationen Svensk Betong samlar ett nätverket med aktörer som på olika sätt arbetar med, beställer, tillverkar och upphandlar betong. Inom ramen för samarbetet med Fossilfritt Sverige tog betongbranschen fram Färdplan för klimatneutral konkurrenskraft betongbranschen år 2018 [129]. I färdplanen sattes målet att all betong i Sverige ska vara klimatneutral år 2045 och att det ska finnas klimatneutral betong på marknaden år 2030, där utvecklingsarbetet utgår från ett livscykelperspektiv.

Färdplanen har nyligen (2023) uppdaterats [129] med syfte att ytterligare öka takten i omställningen, genom att lyfta fram den senaste utvecklingen inom "gröna" betongblandningar samt politiska hinder som behöver röjas för att nå färdplanens mål till år 2030 och år 2045. Genomförandet av betongbranschens färdplan är starkt kopplad till cementfärdplanen [130]. **Figur 8** illustrerar på ett övergripande sätt den utveckling som sker i branschen med att reducera betongens klimatpåverkan enligt färdplanens mål. Det handlar om flera insatser, som fortsatt kommer att vara viktiga även efter 2030. År 2030 kommer cementtillverkningen att ställa om, med ny teknik och driftsättning av en CCS-anläggning i Slite, och då kommer det att finnas klimatneutral betong på den svenska marknaden. Under de kommande åren från 2030 sker implementering och senast år 2045 kommer all betong att vara klimatneutral.



Figur 8: Genomförande av betongbranschens färdplan [8].

Klimatförbättrad betong finns idag hos de flesta betongtillverkare och användningen ökar starkt. Halverad klimatpåverkan i vissa anläggningskonstruktioner kan uppnås genom en mängd olika insatser [40,129]:

- **Val av cement med lägre exponerings- och hållfasthetsklass.** Betongen klimatpåverkan kommer till 90–95 procent från råvaroframställning. Klimatförbättrad betong innebär att utifrån en specificerad exponerings- och hållfasthetsklass, optimera betongens sammansättning för att reducera de koldioxidutsläpp den genererar. Det gäller för både fabriksbetong och prefabricerade betongprodukter och hur stor reduktion som är möjlig styrs av konstruktionens hållfasthets- och beständighetskrav.
- **Användande av alternativa bindemedel.** I klimatförbättrad betong ersätts en del av cementen med alternativa bindemedel, s.k. Supplementary Cementitious Materials (SCM) med lägre klimatavtryck. De vanligaste SCM är flygaska och masugnsslagg, GGBS, som är restprodukter från andra industriella processer inom kolkraft- respektive stålindustrin [129]. Även nya innovativa SCM som inte uppfyller nuvarande standarder kommer in på marknaden i begränsade mängder [40].
- **Rätt betong på rätt plats.** Tidigare var det vanligt att använda samma betongrecept till hela konstruktionen, även om delarna hade olika beständighetskrav, vilket leder till överhållfasthet och ökat klimatavtryck. Svenska anläggningsbranschens rapport har kartlagt möjliga klimatbesparingar genom användande av olika betongklasser i olika delar av en konstruktion [131].
- **Resurseffektiva konstruktioner.** Genom aktiv planering i tidigt skede i byggprocessen finns möjlighet att minska en betongbyggnads klimatavtryck genom att välja en resurseffektiv design och en konstruktionslösning där mängden betong optimeras och minimeras i förhållande till funktion.
- **Övergång till fossilfria transporter.** Transporter står för cirka 5 – 8 procent av betongens totala klimatavtryck i produktionsskedet. Eldrivna fordon är på framfart och ligger i den strategiska planeringen hos många betongtillverkare. Med digitalisering ges ökade möjligheter till avancerad transportplanering, vilket minskar tiden ute på vägarna, körsträckan och klimatpåverkan likaså.
- **Fossilfri tillverkning.** Endast 1 till 5 procent av betongens klimatpåverkan i produktionsskedet kommer från tillverkningsprocessen av betong på fabrikena. Här handlar det om energieffektivisering för att begränsa produktionens energiförbrukning, tillsammans med insatser för att fasa ut användningen av fossila bränslen och ersätta dem med förnyelsebara bränslen och/eller fossilfri elenergi.

Cirkulärt betongbyggande.

Användningen av alternativa bindemedel är ett viktigt bidrag till ökad cirkularitet, då det innebär att restprodukter från andra industriella processer blir en viktig råvara och resurs som ger stor klimatreduktion vid betongtillverkning. Störst värde ur ett cirkulärt perspektiv skapas om en betongkonstruktion projekteras för och används under lång livslängd, med ett minimalt behov av renovering och underhåll. Återvinning av krossad rivningsbetong sker också och används som bärlager eller fyllnadsmaterial. Vinsterna ur

ett cirkulärt perspektiv är främst att begränsa uttaget av primära råvaror och att spara på naturresurser. Tekniskt sett så finns det möjlighet att cirkulera i stort sett all betong. Det sker dock inte i praktiken, utan fortfarande deponeras en hel del mängder betong, dels på grund av hinder i regelverken, dels för att affärsmodeller som stödjer detta ännu inte är på plats. Bäst är att återanvända gamla betongelement i nya byggnadsverk.

Revidering av dimensioneringstandarder för betong.

Branschen arbetar även aktivt med utveckling av regelverk och standarder. De sätter gränser för tillåtna andelar alternativa bindemedel i olika konstruktioner och behöver följa med i den snabba utvecklingen för att främja klimatomställningen. Det pågår exempelvis ett arbete med att ta fram en helt ny svensk standard för att öppna upp för användning av så kallade puzzolaner, vilket omfattar nya alternativa bindemedel som vulkanaskor och kalcinerade leror. Standarden ska ange krav på dessa material för att de ska vara tillåtna att användas i betong i Sverige. Krav på hur stora mängder och i vilka exponeringsklasser dessa nya bindemedel sedan får användas ska införas i SS 137003 [132], på samma sätt som för slagg, flygaska och silika idag.

Optimering av vägkonstruktionslösningar

I Sverige använder vi en tvåskiktetsbetong beläggning, där översta skiktet innehåller utvald slitstark ballast och undre skiktet ortens sten. Hållfastheten är hög, vilket i sin tur kraftigt ökar klimatpåverkan från produktionsfasen (modul A1-A3). I en av KTH:s pågående forskningssatsning utvärderades ett nytt alternativ för utförande av översta ytskiktet för en betongvägskonstruktion [125]. Det alternativa ytskiktet föreslås att bestå av tre lager med olika betongblandningar istället för ett lag som i traditionellt utförande. Den innovativa treskiktetsbeläggningen liknar i sin utformning en I-balk, se **Figur 9**. KTH:s beräkningar visar att en treskiktetsbeläggning skulle spara 27 procent av cementen [125]. Vidareforskning behövs för att undersöka om en trelagersbeläggning är praktiskt möjlig att producera och om kompositstrukturen kommer att fungera homogent.



Figur 9: Optimerad betongbeläggning bestående av tre lager: högkvalitetsblandning + lågkvalitetsblandning + högkvalitetsblandning [125].

Betong kan också ha en roll för att förbättra prestandan hos gamla asfaltbeläggningar. Teknik med en betonglager ovanpå en befintlig asfaltbeläggning kallas whitetopning. De nordamerikanska erfarenheterna av whitetoping är omfattande och goda [133]. Det behövs forskning för att anpassa utländska erfarenheter till svenska förhållanden.

3.4.3 Arbetssätt för klimatberäkningar genom EPD:er för betong

Tabell 4 visar branschgenomsnittliga värden för koldioxidutsläpp från några vanliga betongsorter inom fabriksbetong, d.v.s. betong som blandas i fabrik och sedan gjuts på byggarbetsplatsen [40]. Värdet vct_{ekv} representerar vanliga betongsammansättningar för de olika betongsorterna, där maxvärden på vct_{ekv} i de valda exponeringsklasserna enligt standarden SS 137003 är markerade. Det finns även en indikativ hållfasthetsklass angiven. Det är viktigt att ha i åtanke att så länge betongstandard SS 137003 uppfylls, kan både vct_{ekv} och hållfasthetsklass variera beroende på hur den totala kravspecifikationen för aktuell betong ser ut.

Tabell 4: Exempel på klimatpåverkan (A1-A3) från fabriksbetong i anläggningskonstruktioner och hur den kan klimatförbättras enligt Svensk Betongs vägledning [40] samt referensvärdena från Boverkets databas [134] och Trafikverkets databas [135].

	Exponeringsklass	Hållfasthetsklass*	vct_{ekv} *	Klimatpåverkan, kg CO ₂ e/kg					
				Boverket	Trafikverket****	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3	Nivå 4
Grundkonstruktioner									
Frostfritt under GVV	XC1	C30/37	0,55	0,109	0,125	0,098	0,087	0,077	≤0,066
Ej frostfritt över/under GVV	XC3,XC4,XF3	C28/35	0,55**	0,115	0,125	0,104	0,091	0,081	≤0,068
Anläggning Utomhus, salt och frost									
Utanför zon 2. t.ex. stödmurar.	XC4, XF3	C28/35	0,50**	0,138	-	0,123	0,111	0,096	≤0,083
I zon 2	XD2, XS2, XF2	C32/40	0,45**	0,151	-	0,136	0,121	0,106***	≤0,091***
Tösaltade vägar och vägbroar, konstruktioner i eller invid havsvatten	XD3, XS3, XF4	C35/45	0,40**	0,164	-	0,147	0,132	0,115***	≤0,098***

* Typiska värden/klasser. Styrts främst av exponeringsklass och hållfasthetskrav.

** Max vct_{ekv} i exponeringsklassen enligt SS 137003:2021 samt Trafikverket.

*** Standarder och regelverk i Sverige begränsar möjlig reduktion. Svensk Betong Vägledning Klimatförbättrad betong utgåva 2.0.

**** Kravnivå för 2020–2024.

Tabell 5 visar koldioxidutsläpp, GWP, från produktionskedet, A1-A3, uttryckt som kg CO₂e per kg betong [40]. Referensvärdena från Svensk Betong är uppskattade medelvärden för använda betongsorter 2017 - 2018 beräknade enligt standarden EN 15804 [5]. För omräkning till kg CO₂e per kg betong används en omräkningsfaktor 2 350 kg/m³. Dessa värden är därmed inte direkt jämförbara med de maximala utsläppsvärdena som publicerats i Trafikverkets Klimatkalkylmodellen [135] och de typiska data som publicerats i Boverkets klimatdatabas [134].

Svensk Betong delar klimatoptimeringsåtgärder i fyra olika nivåer: nivå 1, 2, 3 och 4:

- Nivå 1: den första åtgärden är att arbeta med betongreceptet att ersätta cementklinker med alternativa bindemedel, såsom slagg eller flygaska. Det ger betongen ett lägre CO₂e-utsläpp.
- Nivå 2: För att uppnå större reduktion gäller att arbeta ytterligare med att optimera betongrecepten. Här ger den nyligen uppdaterade standarden SS 137003:2021 större möjligheter att använda alternativa bindemedel.

- Nivå 3 och 4: För att nå så långt som möjligt behövs, utöver noggrann receptoptimering, genomförande av åtgärder i tillverkningsprocessen, transporter etc.

Vilken nivå som är möjligt att nå i ett specifikt projekt kan begränsas av regelverk och produktionstekniska förutsättningar. Transporternas bidrag är även en viktig dimension.

Tabell 5: Nuvarande och kommande maximala utsläppsvärdena för platsgjuten betong från Trafikverket [135] och stora kommuner [136].

Klimatpåverkan från produktionskede (A1-A3)			
Stora kommuner [135]		Trafikverket [136]	
Krav från och med 2020	Krav från och med 2025	Planerat år för slutförande av entreprenader över 50 mkr 2020–2024	Planerat år för slutförande av entreprenader över 50 mkr 2025–2029
≤0,125 kg CO ₂ e/kg betong	≤0,108 kg CO ₂ e/kg betong	≤0,125 kg CO ₂ e/kg betong	≤0,108 kg CO ₂ e/kg betong

Det finns en stor reduceringspotential med klimatförbättrad betong enligt senaste versionen av Svensk betongs Vägledning för klimatförbättrad betong. Angivna exempel på potentiella lägsta nivåer för klimatpåverkan från anläggningsbetong ger optimism att fortsätta arbeta med klimatanpassning av betongblandningar i Sverige. Det anges att det finns redan idag teknik att producera betongblandning med CO₂e-utsläpp (A1-A3) mellan 0,066 och 0,098 kg CO₂e/kg betong. KTH:s senaste forskning visar att optimering av vägkonstruktionslösning med en treskiktbeläggning skulle spara ytterligare ca 27 procent av cementen och minska klimatpåverkan från produktionsfasen (A1-A3) [125]. Med tanke på att betongbeläggning har en längre livslängd och kräver färre underhållsåtgärder kan klimatreducering uppnås under användningsfasen (Modul B).

3.4.4 Asfaltvägbeläggningar med lägre klimatpåverkan

Asfalten är baserad på bitumen, som är en fossil resurs med en betydande klimatpåverkan och därför ska fasas ut. European Asphalt Pavement Association [137] uppger att under åren 2009 – 2019 uppgick nyproduktionen av asfalt till mellan 7 och 8 miljoner ton årligen i Sverige. Med en genomsnittlig viktandel bitumen på 5 – 7 procent [138] motsvarar detta ca 450 000 ton bitumen årligen. Detta skapar ett starkt beroende av bitumen som är en fossil och ändlig resurs.

Samtidigt byggs vägnätet ut då antalet bilar ökar vilket bidrar till större efterfrågan av bitumen. Det går dessutom åt stora mängder energi vid tillverkningen av bitumen. Dessa faktorer har bidragit till att forskning på nya alternativa bindemedel ökat de senaste åren vilket kan bidra till en social, ekonomisk och miljömässig hållbarhet samt en fossilfri bransch. Inom asfaltsindustrin har biobaserade bindemedel den senaste tiden börjat testas för att undersöka potentialen för att kunna ersätta fossilbaserade bindemedel som bitumen. Fördelen med biobaserade bindemedel är att deras produktion är cirkulär i motsats till bitumen som tillverkas av fossila råvaror.

RISE startade en testbädd LignoCity, som syftar att undersöka nuvarande tekniska- och marknadsförutsättningar för ersättning av bitumen med lignin, en restprodukt från

träindustrin [139]. Flera svenska asfaltproducenter har tagit fram nya recept på asfaltmassor som har betydligt lägre utsläpp än maximala utsläppsvärdena. I detta projekt utfördes kartläggning av branschpraxis med optimeringsåtgärder för asfaltmassor med lägre klimatpåverkan. Svenska asfalttillverkare arbetar på olika sätt med utveckling av nya innovativa asfaltrecept:

- Tillsats av biobaserade bindemedel
- Tillsats av återvunnen asfalt, RAP
- Tillsats av återvunnen bitumen från återvunnen asfalt
- Användande av återvunnen kross
- Användande av "miljöel" på asfaltfabriker
- Användande av förnybart bränsle i produktionsprocessen.

Maximala utsläppsvärdena för klimatpåverkan

Trafikverkets och kommunernas maximala utsläppsvärden används för att ställa krav på klimatprestanda på asfaltmassor i anläggnings- och utläggningsentreprenader, se **Tabell 5** och **Tabell 6**. I mindre utläggningsentreprenader kan entreprenören få en klimatbonus om projektet lyckas lägga ut en asfaltmassa med ett utsläppsvärde lika med eller lägre än beställarens maximala utsläppsvärden. I större anläggningsentreprenader med kundkrav på reducering av klimatpåverkan för hela projektet, där krav ställs att reducera projektets totala klimatpåverkan med 30–60 procent, kan entreprenören själv välja beläggningen med mycket lägre värden än maximala utsläppsvärdena. Med en så låg klimatprestanda som möjligt kan entreprenörer skapa sig konkurrensfördelar och har större chanser att vinna anbud när beställaren har ambition att bygga mer hållbart.

Trafikverkets har satt upp maximala utsläppsvärden för de mest använda asfaltmassorna. De maximala gränsvärdena används för att ställa krav på upphandling av asfaltmassor vid reparation och byggande av nya vägar och finns publicerade i "Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 2023" [140] som trädde i kraft 2023, se **Tabell 6**.

Tabell 6: Trafikverkets maximala utsläppsvärden för asfaltmassor 2024–2030 [140].

Asfaltmassa	Trafikverkets maximala utsläppsvärden, kg CO ₂ e/kg asfalt*			
	Utförandeår			
	2024	2025–2026	2027–2029	2030
ABT	0,034	0,026	0,024	0,019
ABT PMB	0,04	0,034	0,032	0,029
ABS	0,04	0,03	0,027	0,024
ABS PMB	0,045	0,038	0,036	0,033
ABb	0,03	0,026	0,024	0,022
ABb PMB	0,036	0,031	0,028	0,026
AG	0,028	0,024	0,022	0,02
AG PMB	0,034	0,029	0,027	0,025

* Alla nya gränsvärden avser livscykelfaserna A1-A3 och indikatorerna (GWP-fossil) + (GWP-markanvändning) enligt en europeisk standard för EPD för byggprodukter EN 15804 [5,6].

I ett remissutskick av nya "Gemensamma miljökrav för entreprenader" [136] angav flera stora kommuner liknande maximala utsläppsvärdena för asfaltmassor för 2024–2030,

se **Tabell 7**. Ny version av Gemensamma miljökrav för entreprenader förväntas att träda i kraft under 2024 och ersätta befintliga Gemensamma miljökrav från 2018.

Tabell 7: Stora kommunernas krav på maximalt utsläpp för tillverkad asfaltmassa 2024–2030 [136].

Asfaltmassor	Kg CO ₂ e/kg asfalt			
	Färdigställande, år	2024	2025	2030
ABT		0,034	Kravnivåerna för 2025 och 2030 är under utveckling	
ABT PMB		0,04		
ABS		0,04		
ABS PMB		0,045		
ABb		0,03		
ABb PMB		0,036		
AG		0,028		
AG PMB		0,034		

Nya PCR för asfaltmassor

Det pågår ett standardiseringsarbete med uppdatering av EPD-regler för beräkning av miljöpåverkan från asfaltmassor, Product Category Rules (PCR) [141] "Road materials — Environmental product declarations — Product category rules complementary to EN 15804 for bituminous mixtures", som förväntas träda i kraft under 2024.

Enligt den nya PCR kommer beräkningsregler för EPD:er för asfalt att förändras i jämförelse med nuvarande EPD:er. Det ska ställas ett högre krav på både noggrannhet av datainsamling och en obligatorisk rapportering av olika livscykelstegen för asfaltmassa. Den största skillnaden mot de befintliga EPD-reglerna förväntas vara att klimatpåverkan från fräsning och transport av gammal återvunnen asfalt kommer att summeras till klimatpåverkan från produktion av ny asfaltmassa om återvunnen asfalt tillsätts vid produktionen (modul A1-A3). Det betyder att en större andel av återvunnen asfalt i asfaltmassa kommer att ge en högre klimatpåverkan.

Redovisning av resurseffektivitet hos asfaltbeläggningar

Resurseffektivitet av användningen av vägbeläggningar har en direkt koppling till det globala målet nummer 12 inom Agenda 2030 [21] – att genom hållbar konsumtion och produktion minska uppkomsten av avfall och ökad grad av hållbar användning av naturresurser. Branschen redovisar enligt EU:s taxonomiförordning [20] och ett av de sex miljömålen är cirkulär ekonomi.

Trafikverket har som största beställaren rådighet över ändringar i tekniska föreskrifter och kan t.ex. ändra maximalt tillåten andel av återvunnen asfalt och bio-tillsatser i nya beläggningar. Kartläggning av några sentida anbudsunderlag för upphandling av underhållsbeläggningar från både Trafikverket och kommuner visar att kravet på inblandning av återvunnen asfalt (RAP) i vissa fall är noll procent. Den högsta andelen av RAP som accepteras av beställarna är 20 procent. Med avseende på det interna klimatarbetet som flera svenska asfaltproducenter bedriver ses detta som ett bakslag för branschens arbete med resurseffektivitet och återvinning av gamla asfaltmassor. Flera av svenska asfalttillverkare har utvecklat recept på asfaltmassor upp till 40 procent återvunnen asfalt med bibehållna tekniska och funktionella krav på beläggningen.

3.4.5 Arbetssätt för klimatberäkningar genom EPD:er för asfalt

De flesta asfalttillverkare har tagit fram miljöförbättrande asfaltrecept som marknadsförs antingen som miljöasfalt eller traditionella miljöförbättrande asfaltmassor, se **Tabell 8**.

Tabell 8: Registrerade EPD:er för asfaltmassor hos svenska tillverkare.

Tillverkare	Totalt antal registrerade EPD:er, st	Asfaltmassor	
		Marknadsförs som Miljöasfalt	Marknadsförs som traditionell förbättrat asfalt
Skanska Industrial Solutions AB	21	ABT Skanska Grön AsfaltBio Zero AG Skanska Grön asfalt BioZero ABb Skanska Grön asfalt BioZero	ABT 16, ABS, Abb, AG, ABT, ABS PMB, ABS kkv <7, ABb PMB, ABS Kvartsit, ABT PMB
NCC Industri Nordic AB	25	-	ABT 11 70/100, ABT 11 100/150, ABT 11 160/220, ABS 11 70/100, ABS 11 100/150, ABS 16 100/150, ABB 16 70/100, ABB 22 70/100, ABS 16 45/80-55 AN7 (ABS PMB), ABS 16 40/100-75 AN6 (ABS PMB), ABS 16 45/85-55 (ABS PMB), ABS 16 45/80-55 AN10 (ABS PMB), ABb 16 70/100, ABb 16 50/70, ABb 16 100/150, AG 16 70/100, AG 16 160/220, AG 16 100/150, AG 22 70/100, ABT 16 45/80-55 70 AN7 (ABT PMB), ABb 22 40/11-75 NBS (ABb PMB), ABB 22 45/85-55 (ABB PMB)
Svevia AB	1*		ABb, ABb PMB, ABS, ABS PMB, ABT, ABT PMB, AG, AG PMB
Veidekke Industri AS	11	Ab 11 Miljöasfalt AGb 11 Miljöasfalt Ab 16 Miljöasfalt Ab 11 Miljöasfalt plus Ab 16 Miljöasfalt plus Ska 16 PMB Miljöasfalt Ska 16 PMB Miljöasfalt plus	Ab 11, Ab 16, AGb 11, AG 16
Peab Asfalt AB	20	ECO-Asfalt®	-

* I studien användes Svevias EPD för fasta asfaltverk [19].

I denna studie har vi kartlagt redovisade utsläppsvärden för asfaltmassor från flera svenska entreprenörer: Skanska [62-81], NCC [84-108], Svevia [41], Veidekke [142,143] och Peab [42-60], se **Tabell 9**. Tredjepartsgranskade och godkända EPD:er användes som underlag för datainsamling. Bedömningen gjordes enbart utifrån informationen angiven i EPD:er.

Jämförelseanalys mellan utsläppsvärden från EPD:er för asfaltmassor och Trafikverkets maximala utsläppsvärden för år 2024 och år 2030 presenteras i **Figur 10**. Det visar att klimatprestanda av de flesta asfaltmassorna uppfyller Trafikverkets och svenska kommunernas klimatkrav, d.v.s. ligger under maximala utsläppsvärdena för 2024. De flesta tillverkare kan redan idag garantera uppfyllande av maximala utsläppsvärdena även för 2030. Klimatpåverkan från asfaltvägbeläggningar ligger mellan 0,028 och 0,045 kg CO₂e/kg asfalt för produktionsfasen (A1-A3) år 2024 och prognoseras att minska och ligga mellan 0,020 och 0,033 kg CO₂e/kg asfalt år 2030 i enlighet med Trafikverkets och stora kommunernas maximala utsläppsvärden.

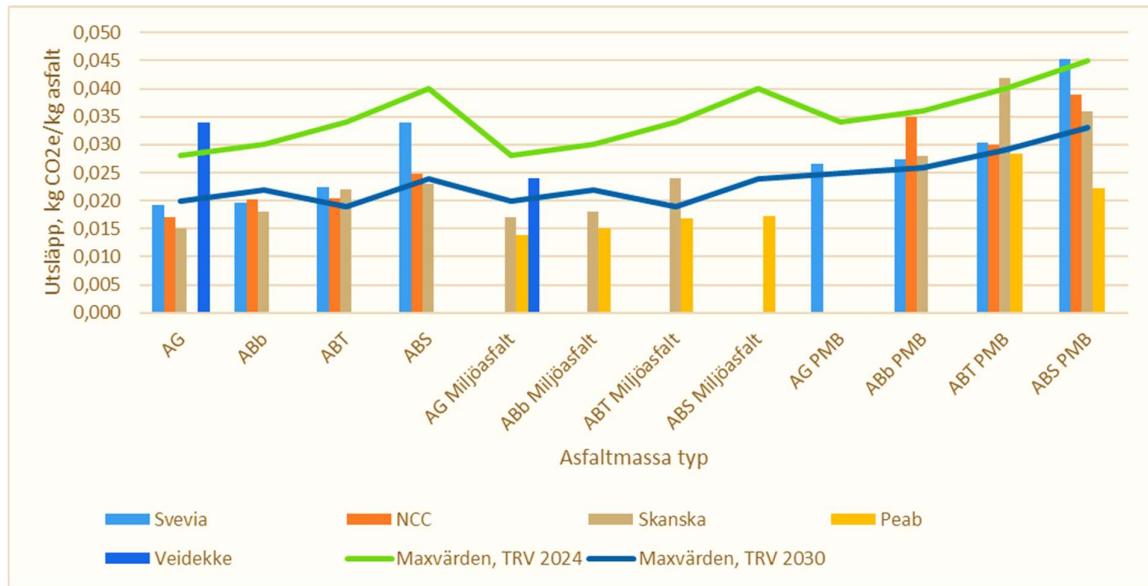
Tabell 9: Rapporterade utsläppsvärden i företagsspecifika EPD:er för asfaltmassor (kg CO₂e/kg asfalt) från Skanska [62-81], NCC [84-108], Svevia [41], Veidekke [142,143] och Peab [42-60].

Asfaltmassor	Rapporterad klimatpåverkan från produktionsskede (A1-A3), kg CO ₂ e/kg asfalt						
	Svevia AB	NCC Industri Nordic AB	Skanska Industrial Solutions AB	Peab Asfalt AB*	Veidekke Industri AS	Maxvärdet, TRV 2024	Maxvärdet, TRV 2030
AG	0,019	0,017	0,015		0,034	0,028	0,020
ABb	0,020	0,020	0,018			0,030	0,022
ABT	0,022	0,021	0,022			0,034	0,019
ABS	0,034	0,025	0,023			0,040	0,024
AG Miljöasfalt			0,017	0,014	0,024	0,028	0,020
ABb Miljöasfalt			0,018	0,015		0,030	0,022
ABT Miljöasfalt			0,024	0,017		0,034	0,019
ABS Miljöasfalt				0,017		0,040	0,024
AG PMB	0,027					0,034	0,025
ABb PMB	0,027	0,035	0,028			0,036	0,026
ABT PMB	0,030	0,030	0,042	0,028		0,040	0,029
ABS PMB	0,045	0,039	0,036	0,022		0,045	0,033

*Utsläppsvärden för asfaltmassor från Peab är hämtade från företagets EPD:er och för asfaltmassor med ca 20 procent av återvunnen asfalt.

Trafikverkets maximala utsläppsvärden för klimatpåverkan både gällande (2024) och kommande (2030) räknats ut enligt nuvarande regler och utan att ta hänsyn till klimatpåverkan från fräsning och transporter av återvunnen asfalt i modul A1-A3 som föreslås enligt de nya PCR:en. Därför kommer samtliga kravnivåer att justeras när de nya beräkningsreglerna, PCR för asfaltmassa träder i kraft. Enligt de nya reglerna kommer klimatpåverkan från fräsning och transporter av återvunnen asfalt belasta den nya asfaltmassan, alltså ingå i modul A1-A3.

Ökade kravnivåer på klimatpåverkan från asfaltmassor 2024–2030 behöver vara så exakta som möjligt, eftersom potentialen att minska klimatpåverkan ytterligare, från det nuvarande sättet att producera varma och halvvarma asfaltmassor, är väldigt liten. Det borde utredas om en eventuellt geografisk uppdelning för massor ska införas. Det kan hända att tillgång till vissa insatsvaror är begränsad i vissa delar av Sverige och det kommer att kräva lite längre transporter för vissa asfaltverk. Ett exempel är att tillgången till special/kvalitetssten är ojämnt fördelad över landet. Transportavståndet har en, inte försumbar, klimatpåverkan gällande massor.



Figur 10: Rapporterade utsläppsvärdena från företags specifika EPD:er för asfaltmassor (NCC, Skanska, Peab, Veidekke och Svevia) i relation till Trafikverkets maximala utsläppsvärden för 2024 respektive 2030.

4 Analys av standarder och EU:s regelverk

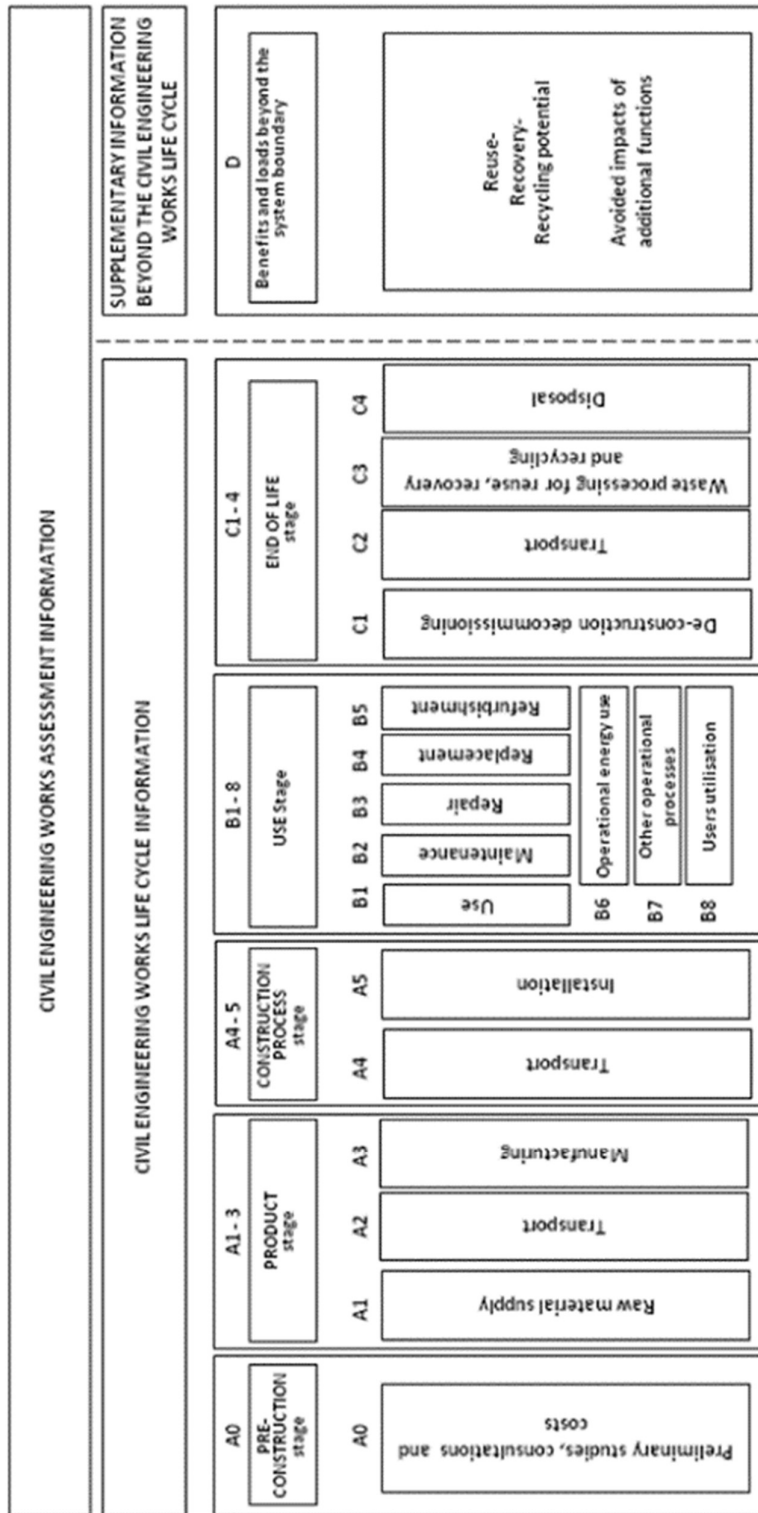
4.1 Standarder för hållbara byggnadsverk

Inom den internationella standardiseringen pågår ett aktivt arbete med utveckling av teoretiska grunder för hållbarhetsoptimering av byggnadskonstruktioner och byggnadsverk. Standarderna EN 15643–5 [23] och EN 17472 [24] inom standardserie Hållbarhet hos byggnadsverk [18], skapar gemensamma systemgränser för metoder för bedömning av hållbarhetsaspekter för anläggningskonstruktioner. I standarderna relateras miljö-, social- och ekonomiska prestanda såväl som teknisk och funktionell prestanda till varandra. Bedömning av hållbarhetsprestanda ska enligt standarderna göras för designalternativ med samma tekniska funktion och inom samma systemgränser, vilket skapar jämförbarhet mellan olika materialval. Vid valet av teknisk funktion hänvisas till de nationella tekniska och funktionella kraven för specifika anläggningskonstruktioner.

Inom standardiseringen diskuteras principer för mer omfattande prestandadeklarationer som redovisar både miljömässiga aspekter i enlighet med nuvarande EPD:er och tilläggsaspekter t. ex. biologisk mångfald, resurseffektivitet, sociala och ekonomiska aspekter för produkter och tjänster. Målet med det är att kunna säkra en jämförbar och rättvis jämförelse mellan alternativa byggkonstruktioner och välja det mest hållbara alternativet. EN 15643–5 [23] har definierat en standardiserad omfattning eller systemgränser för bedömning och jämförelse av anläggningskonstruktioner utifrån flera hållbarhetsaspekter som miljömässig, social och ekonomisk prestanda, men också tekniska eller funktionella aspekter, se **Figur 11**.

Enligt EN 15643–5 jämförs alternativa konstruktioner med hjälp av en funktionell jämförelseekvivalent och inom samma systemgränser, vilket skapar grunden för en rättvis jämförelse av konstruktioner, bestående av olika material och komponenter. De alternativa konstruktionerna ska dock ha samma tekniska funktion och jämförelsen ska göras inom samma systemgränser, d.v.s. omfattning på bedömda livscykelstegen. För identifiering av jämförelseekvivalent hänvisar standarden till gällande nationella regler och vägledningar för olika typer av anläggningsobjekt, såsom vägar, broar och tunnlar.

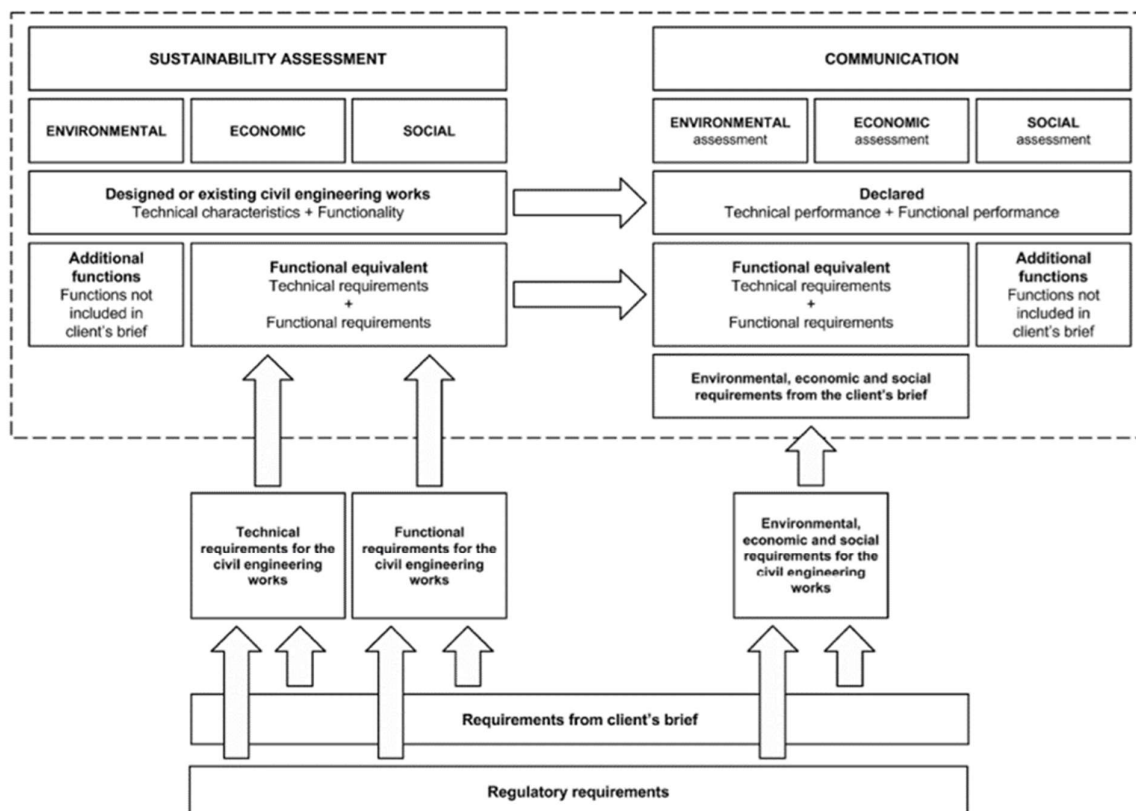
EN 15643–5 [23] identifierar omfattning på ingående livscykelstegen som ska ingå i en jämförelsebedömning av alternativa konstruktioner med samma funktion, t. ex. en väg med livslängd på 40 år. Det första livscykelsteget börjas med markanvisningsarbete, modul A0, se **Figur 11**. Sedan kommer modul A för produktion av ingående material och komponenter för en anläggningskonstruktion, modul B för användning av konstruktionen under dess livslängd, modul C för avveckling och modul D för eventuellt användning av återvunna material till nya konstruktioner.



Figur 11: Livscykelstegen eller informationsmoduler som rekommenderas att tillämpas vid bedömning av miljömässig, social och ekonomisk aspekt av hållbarhetsprestanda för en anläggningskonstruktion enligt EN 15643-5 [23].

EN 17472 [24] hänvisar till flera standardiserade metoder för bedömning av miljömässig, ekonomisk och social prestanda för anläggningskonstruktioner samtidigt som hänsyn ska tas till konstruktionens funktionalitet och tekniska egenskaper. **Figur 12** visar hur en funktionell jämförelseekvivalent ska identifieras utifrån tekniska och funktionella egenskaper i beställarens kravställande underlag, projekteringsanvisningar och/eller byggtekniska föreskrifter.

Både EN 15643-5 och EN 17472 är tänkta att tillämpas på nya och befintliga anläggningsbyggnadsverk. Bedömningar av social prestanda kan göras med både kvantitativa och beskrivande tillvägagångssätt [23]. Bedömningen av miljömässig prestanda rekommenderas att utföras med hjälp av livscykelanalyser i form av standardiserade EPD. Bedömningen borde omfatta samtliga livscykelstegen av en konstruktion, d.v.s. modulerna A0, A, B, C och D för att garantera jämförbarhet mellan alternativa konstruktionslösningar.



Figur 12: Koncept för bedömning av hållbarhetsprestanda för anläggningskonstruktioner enligt EN 17472 [24].

4.2 EU:s regelverk för hållbara finanser

EU:s handlingsplan för en hållbar ekonomi [19] är en viktig del av EU:s insatser för att uppnå de högt uppsatta hållbarhets- och klimatmålen. Sustainable Finance [19] är den övergripande benämningen på de EU-regleringar, uppdateringar av befintliga regelverk

och globala initiativ där ansvar läggs på banker, försäkringsbolag, fondbolag och andra inom finanssektorn att medverka till en omställning mot mer hållbara investeringar och ökad transparens.

Ett av initiativen för att nå det här målet är EU:s klassificeringssystem – även kallat taxonomin – som ska tydliggöra vilka verksamheter som är miljömässigt hållbara. EU-taxonomis ramverk [20] definierar kriterier för hållbara investeringar och är det viktigaste förslaget i EU:s handlingsplan för finansiering av hållbar tillväxt. Syftet är att omdirigera privata investeringar från verksamheter med negativ miljöpåverkan till mer hållbara verksamheter.

EU:s taxonomi sätter ramen för vad som ska anses vara en hållbar investering samt ställer krav på finansmarknadsaktörer att fastställa och informera om graden av hållbarhet i olika investeringar. EU-taxonomis klassningssystem omfattar en bråkdel av anläggningskonstruktioner:

- 6.14 Infrastruktur för järnvägstransport
- 6.15 Infrastruktur som möjliggör vägtransport och kollektivtrafik
- 6.16 Infrastruktur som möjliggör koldioxidsnål sjöfart.

Både byggsektorn [144] och finansbransch [145] skapat färdplaner för vars sitt omställningsarbete mot klimatneutralitet i enlighet med EU:s klimatmål. Finansinspektionen (FI) driver en färdplan för en hållbar finansmarknad. FI:s färdplan innehåller tre mål som särskilt kommer att verka för arbetet med hållbar finansmarknad fram till 2025. God tillgång till relevant, jämförbar och tillförlitlig hållbarhetsrelaterad information, högt förtroende för en hållbar finansmarknad och motståndskraft mot hållbarhetsrisker i det finansiella systemet.

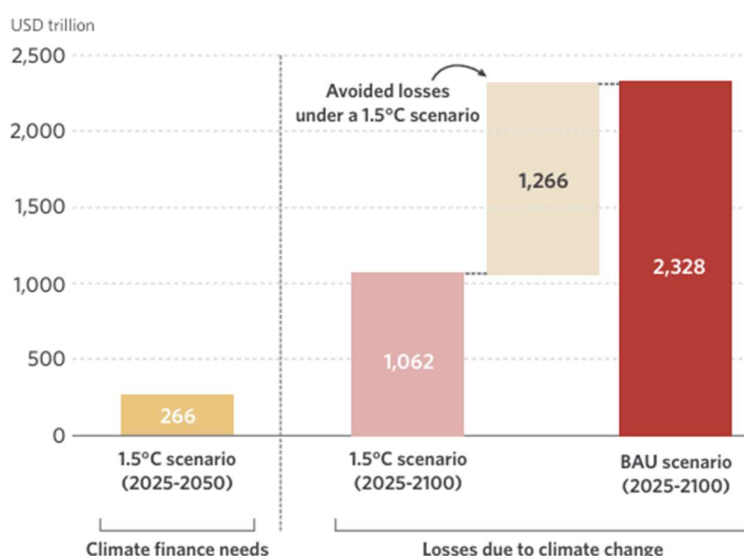
Problemet är dock att finansiella bolag ofta har haft en relativt kort planeringshorisont, vilket innebär att man inte har sett klimatrelaterade risker som ligger längre in i framtiden. Focus ligger på att kunderna ska få så stor avkastning som möjligt. Det är en mycket komplicerad uppgift att uppskatta de långsiktiga finansiella konsekvenserna av klimatförändringarna. Det är därför problematiskt att finansmarknaden inte i full utsträckning inkluderar långsiktiga samhällskostnader och konsekvenser i sina analyser.

4.3 Ihopkoppling av de två standardiseringsspåren

De olika grenarna inom EU:s hållbarhetsstandardisering är inte kopplade till varandra ännu. Definitioner och begrepp för hållbara anläggningskonstruktioner från TK-350 [18] behöver kopplas ihop till EU:s regelverk för hållbara finanser [19] och EU-taxonomis klassificeringssystem för hållbara investeringar [20].

En stor fråga för svenska finansiella sektorn är: vad är en hållbar investering samt hur den ska mätas och följas upp. Behovet av att koppla EU:s reglering för hållbara finanser och tekniska standardiserade hållbarhetsbedömningsmetoder för identifiering av mest kostnadseffektiva investeringsåtgärder inom infrastruktur är en ny utmaning för både byggbranschen och finansiella sektorn.

I en nyutgiven rapport [146] prognoseras att socioekonomiska kostnaderna för ett varmare klimat kommer att överstiga investeringskostnaderna för omställning. Ju längre det dröjer med omställningen desto högre blir kostnader att hantera ett varmare klimat med dessa konsekvenser. **Figur 13** visar att det behövs ca 266 biljoner USD i de nödvändiga finansiella investeringarna i omställningsåtgärder fram till 2050, vilket skulle minska prognoserade socio-ekonomiska förluster på ca 1 266 biljoner USD till år 2100. Att styra mot begränsningen av den globala uppvärmningen av jordens atmosfär under 1,5 grader Celsius är ett mer kostnadseffektivt alternativ enligt scenarierna. Effektiva hållbara investeringar i omställningsåtgärder skulle också skapa en ekonomisk lönsamhet så länge det går att begränsa den globala uppvärmningen.



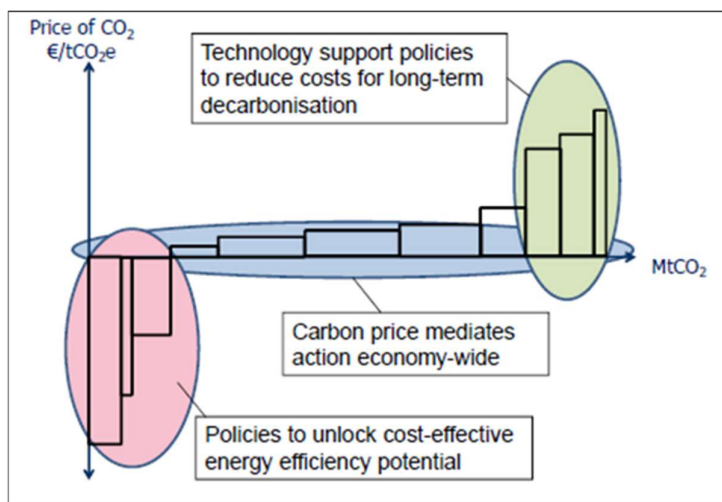
Figur 13: Sammanlagt behov i finansiella investeringar respektive förluster för att lösa klimatproblemet, d.v.s. låta jordens uppvärmning ligga under 1,5 grader Celsius enligt scenarier [146].

Bedömning av hållbarhetsaspekter hos anläggningskonstruktioner görs på en lokal nivå, d.v.s. kopplat till ett projekt. Att kunna se effekten av en sådan lokal åtgärd, d.v.s. kunna sätta ett ekonomiskt värde på "reducerade utsläpp" utifrån ett globalt perspektiv är en av de svåraste uppgifterna i omställningen av byggindustrin till att bli mer klimatneutral och dess komplexitet har illustrerats av McKinsey [3,4]. Slutsatsen är att världen förändras och de åtgärder vi anser vara dyra idag kan bli aktuella i framtiden genom anpassningar, innovationer och teknisk utveckling. **Figur 14** har tagits fram av International Energy Agency [147] och bygger på McKinseys kurva för möjligheter och kostnader för att minska växthusgaserna för att visa var olika instrument har högst kostnadseffektivitet.

I en perfekt värld skulle prissättning av koldioxidutsläpp ha räckt för att ställa om de industriella processerna så att de mest kostnadseffektiva klimatåtgärderna implementeras först. I verkligheten kompletteras marknadsregleringen med olika

politiska verktyg. Till vänster i **Figur 14** finns klimatåtgärder som har ett "negativt pris" - det vill säga de är teoretiskt lönsamma att genomföra. Av denna anledning är forskning, utveckling, tester och demonstration också viktiga komponenter i policymixen [147].

Det behövs utveckling av mer detaljerade investeringsstrategier inom hållbara finanser för att kunna använda redan befintliga hållbarhetsmått och begrepp inom infrastrukturbyggandet och inrikta finansiella investeringar på "rätta" saker. Ju längre vi dröjer med att uppfylla de totala klimatinvesteringsbehoven, desto högre blir kostnaderna, både för att mildra den globala temperaturökningen och för att hantera dessa effekter [146].



Figur 14: Kostnadseffektiv användning av politiska och marknadsdrivna instrument för att minska växthusgaser [147].

5 Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar

5.1 GAP-analys av förutsättningar för jämförelser av olika vägbeläggningar

Det finns vissa metodologiska svårigheter att använda EPD:erna för att jämföra miljöpåverkan mellan olika asfaltblandningar eller mellan asfalt- och betongbeläggningar. Produkter kan exempelvis ha olika funktion som gör att sammansättningen skiljer sig åt - de kan vara baserade på data med olika noggrannhet etc. Det är inte möjligt att använda eller tolka data i en EPD utan att ta del av texten som beskriver förutsättningarna.

En betongbeläggning har längre livslängd, vilket innebär färre underhållsåtgärder, färre trafikstörningar och vägavstängningar och lägre livscykelkostnader. Översta ytskikt på en betongväg har livslängd på ca 15–20 år, medan hela betongvägskonstruktion dimensioneras för 40 år. Betongvägar i tunnlar med regelbundet underhåll kan även hålla upp till 60 år [29,126]. Asfaltbeläggningar brukar kräva reparationsåtgärder redan efter 6–10 år [126]. Livslängd för asfaltvägskonstruktion är ca 40 år.

Samma problematik uppstår idag när producenter kommer ut med nya recept på asfaltmassor, t.ex. ersättning av bitumenhalten med restprodukter från trä- och pappersindustrin som bioolja och lignin. Flera svenska tillverkare som Skanska, Peab och Svevia har tagit fram sådana asfaltbeläggningar med bio-tillsatser. Det finns dock en hög etableringströskel för sådana innovativa blandningar i vägbeläggningar, eftersom beställare fortfarande är tveksamma och det är svårt att jämföra miljö- eller klimatprestanda mellan traditionella och innovativa vägbeläggningsmaterial.

Utvecklingen av en utökad hållbarhetsdeklaration i enlighet med EN 15643–5 och EN 17472, inklusive relevant information om miljöpåverkan, resurseffektivitet och livscykelkostnader förknippade med en viss vägkonstruktion, förväntas att lösa detta. Jämförelse av alternativa vägbeläggningsmaterial bör vara baserad på hela konstruktionens funktion över hela livslängden, vilket brukar definieras i funktionella och tekniska projektspecifika krav och nationella riktlinjer för dimensionering. Då kan alternativa utföranden för en anläggningskonstruktion jämföras samt ingående byggmaterial och produkter som underdelar av denna konstruktion under hela livslängden analyseras. Det är ett nytt tillvägagångssätt för jämförbarhet mellan olika material.

En sammansatt hållbarhetsbedömning av en vägkonstruktion förväntas leverera information om mest väsentliga aspekter för hållbarhetsarbete samt definiera mest sannolika framtidsscenarier för byggande, användande, drift och underhåll och slutlig avveckling. Enligt EN 15643–5 kan EPD:erna endast användas för att jämföra miljöpåverkan mellan produkter som uppfyller samma funktion, t.ex. olika typer av asfaltblandningar eller mellan asfalt- och betongbeläggningar om systemgränserna för EPD:erna inkluderar alla livscykelstadier för vägkonstruktionen.

I detta projekt har identifierats tre standarder som kan användas för att lösa ovan nämnda problem med jämförelse av olika materialtyper i alternativa vägkonstruktioner. I projektet har använts följande standarderna:

- EN 15804 [6], som beskriver regler för EPD framtagande för byggmaterial och produkter, samt hur EPD:er kan användas för jämförelser av liknande produkter.
- EN 15643–5 [23] och EN 17472 [24] som definierar regler för jämförelser av olika konstruktioner med liknande funktion och bestående av olika byggmaterial och produkter.



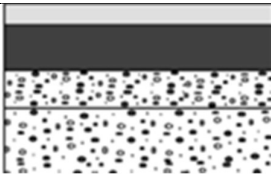
Detta har gjorts genom att applicera teoretiska metoder och tillvägagångssätten från de tre standarderna på hållbarhetsbedömningar av vägkonstruktioner och analysera tillämplighetsgrad av standarderna på dataunderlag som finns för vägkonstruktioner.

I Sverige är det främsta hindret för utvecklingen av en funktionell jämförelseekvivalent för hållbarhetsprestanda hos vägbeläggningar att det inte byggs vägkonstruktioner med överlager av betong. Det finns inte heller framtagna EPD för betongbeläggningar vare sig i Sverige eller Skandinavien. Det är svårt att skapa potentiella framtidsscenarier för modeller B, C och D för betongbeläggningar, eftersom det saknas erfarenheter med produktionstekniker, service och underhåll och verifierade livslängdsdata för betongbeläggningar i svenska förhållandena. Detta kan försvåra användande av standarderna EN 15643–5 och EN 17472.

I avsaknad av tillförlitliga produktspecifika indata om potentiella underhållsintervall och förväntad livslängd, kan deklARATION av miljöpåverkan från moduler C och D baseras på framtagna potentiella framtidsscenarier. Här kan framtagande av en funktionell jämförelseekvivalent från EN 15643–5 och EN 17472 vara en katalysator i arbete med EPD:er med bredare perspektivet på livscykeln. Funktionell jämförelseekvivalent ska avspegla hela livscykel av bedömda vägkonstruktion, d.v.s. samtliga moduler: A, B, C och D, och användas för att definiera relevanta jämförbara livscykelscenarier för en anläggningskonstruktion.

I denna studie har kartläggning av standardiserade hållbarhetsbedömningar för tre olika nivåer gjorts: byggmaterial och produkter, vägkonstruktioner och hela vägnätverket, se **Tabell 10**.

Tabell 10: Kartläggning av standardiserade hållbarhetsbedömningar för tre olika nivåer: byggmaterial och produkter, vägkonstruktioner och hela vägnätverket [26].

Nivå	Exempel	Standard	Tekniska krav	Funktion
Vägnätverk		Ingen standard	Ingår inte i standarderna	
Väg		EN 15643-5 & EN 17472		
Material		EN 15804 & ISO 21930		

5.2 Förslag på funktionell kravställning för betongvägsbeläggningar

Utvärdering av teknisk och funktionell prestanda ligger utanför ramarna för EN 15643–5 och EN 17472, vilket ger ett potentiellt tolkningsutrymme vid tillämpning av dessa standarder för hållbarhetsbedömningar av vägkonstruktioner. I detta projekt har ett tolkningsförsök gjorts för att hitta lämpliga funktionella jämförelseekvivalenter för olika nivåer, se **Tabell 11**.

Funktionell ekvivalens beskrivs i denna studie som kvantifieringsbara funktions- och tekniska krav utifrån vägdimensioneringen. Funktionell ekvivalens borde spegla hela vägkonstruktionens livscykel och användas för att definiera relevanta jämförbara livslängdsscenarioer för ett visst vägprojekt. Livslängdsscenarioer kan baseras på uppdragsgivarens projektbeskrivning, nationella riktlinjer och EPD-systemets moduler.

Utifrån detta kan sedan alternativa material ingående i en vägkonstruktion jämföras. Grunden för jämförelsen utifrån hela vägkonstruktionens funktion ska vara [23,24]:

- Funktionell ekvivalens ska vara baserad på funktionskrav som definieras i tekniska vägledningarna för dimensionering av vägkonstruktioner av olika materialslag samt beställarens projektspecifika krav i ett vägprojekt.
- Olika hållbarhetsaspekter som miljömässig, social, ekonomisk och teknisk prestanda bör bedömas parallellt och utifrån en likvärdig omfattning på konstruktionens livscykelstegen eller EPD-moduler.
- Hållbarhetsjämförelser mellan alternativa vägkonstruktioner bör byggas på likvärdiga utslutande och antaganden, t.ex. exkludering av visst material ur bedömningen, detta bör göras för samtliga alternativa utförande.

- Påverkan på hela vägkonstruktionens funktion bör beaktas vid definition av alternativa utföranden.

Tabell 11: Mest lämpliga funktionella ekvivalenter för hållbarhetsbedömningar på byggmaterials nivå och vägkonstruktionsnivå [26].

Standard	Användningsområde för vägar	Jämförelse enhet
Byggmaterials nivå		
EN 15804 [6] och PCR för byggprodukter [33]	Samtliga byggmaterial	<ul style="list-style-type: none"> - Massa (kg), t.ex. 1 kg cement - Längd (m), t.ex. 1 meter av vägbeläggningmaterial - Area (m²), t.ex. 1 kvadratmeter av asfaltbeläggning - Volym (m³), t.ex. 1 kubikmeter betong
PCR för betong och betongelement [39, 148]	Betongvägsbeläggningar	- Samma som i EN 15804
PCR för asfalt [35,36]	Asfaltbeläggningar	<ul style="list-style-type: none"> - EPD för A1-A5: en utlagd yta på 1m², som uppfyller tekniska och funktionella krav under hela beläggningens livslängd, som i sin tur bestäms vid dimensioneringen. - EPD för A1-A5 och minimum B1 och B4: en utlagd yta på 1m², som uppfyller tekniska och funktionella krav under hela beläggningens livslängd, som i sin tur bestäms vid dimensioneringen. För vägkonstruktioner definieras förväntad livslängd på 40 år. - EPD för A1-A3: 1 ton av asfaltmassa. - EPD för A1-A4: 1 ton av asfaltmassa som levereras till byggprojekt.
Vägkonstruktionsnivå		
Enligt de "gamla" standarder		
PCR för broar, vägkonstruktioner och tunnlar [149]	Vägkonstruktioner	- 1 km av anläggningskonstruktion per år.
Enligt de senaste standarderna		
EN 15643-5 [23] och EN 17472 [24]	Vägkonstruktioner	<ul style="list-style-type: none"> - Jämförelser mellan alternativa vägkonstruktioner eller dessa delar är endast möjligt om de dimensioneras att uppfylla samma funktion samt att bedömningen görs med samma systemgränser för samtliga jämförda vägar eller delar av vägar. - Standarderna ger inga specifika rekommendationer ang.. funktionella ekvivalenter.

Beställarens projektpassade krav bör beaktas som tilläggfunktioner och komplettera en funktionell ekvivalent för vägkonstruktionen. I de flesta fallen, bör en funktionell ekvivalent vara en standard vid användande av hållbarhetsbedömningar för vägkonstruktioner. I denna studie har några standardiserade parametrar som bör beskriva en funktionell ekvivalent för jämförelse av betongvägar utvecklats, se **Tabell 12**.

Tabell 12: Föreslagna funktionella ekvivalenter för LCA och LCC för betongbeläggningar [26].

Användningsområde	Exempel	Fördel med val av betong	Föreslagen funktionell ekvivalent*
Endast betong			
Vägar i närhet av tätbebyggda orter	Betong för högtrafikerade motorvägar [150]	<ul style="list-style-type: none"> Hög trafikvolym 	10 km**
Vägar i tunnlar	Silfverbrand [126,127]	<ul style="list-style-type: none"> Bättre reflektion av vägbelysning Minskad påfrestning på vägyta Ökad brandsäkerhet Längre livslängd med mindre underhållsåtgärder 	10 km**
Betong och asfalt sida vid sida			
Asfaltvägar i tätorter med busshållplatser i betong	Linköping, 40 m ² , h = 200 mm [152]	<ul style="list-style-type: none"> Statiska, koncentrerade laster på vägyta 	En busshållplats
Betongbeläggningar på asfalt		<ul style="list-style-type: none"> Vägbeläggningar med hög trafikvolym 	10 km**
Motorvägar	Betong i höger vägfäl (K1) och asfalt i omkörningsfilen (K2) [151]	<ul style="list-style-type: none"> Hög trafikvolym i K1, låg trafikvolym i K2 	10 km**
Kombinerade vägbeläggningar av asfalt och betong			
Asfalt ovanpå betongen	Asfalt ytskikt på en cementbaserad lager	<ul style="list-style-type: none"> Utökad lastkapacitet Avsedd att kombinera styrka & styvhet hos betong med mjukhet & åkkomfort hos asfalt. Den svenska erfarenheten är inte tillfredsställande: Problem med reflektionssprickor är frekventa. 	10 km**
Betong ovanpå asfalten	”Whitetopping” [133]	<ul style="list-style-type: none"> Översta betongskikt bidrar till motstånd mot koncentrerade och ihållande belastningar, extrema temperaturer (låga & höga temperaturer, brand) och slitage samtidigt som den ger ljusstyrka. Basskikt av asfalt bidrar till böjhållfasthet och flexibilitet med lägre investeringskostnader ”Whitetopping” ska inte användas för att reparera asfaltvägar med felaktig bärförmåga. Bra bindning mellan betong och asfalt är avgörande för en välfungerande vägkonstruktion. Minskad vägslitage pga. klimatförhållandena. 	2 km***

* Föreslagen i denna studie;

** På grund av den stora etableringskostnaden för tillverkning av en betongväg [126,127];

*** På grund av en enklare och kortare tillverkningsprocess för whitetopping än för andra betongvägtyper [126,127].

6 Slutsatser

6.1 Beställarkrav på hållbarhetsaspekter hos vägbeläggningar idag

Beställarnas upphandlingskrav styr och kan i vissa fall begränsa entreprenörernas arbete mot både minskning av klimatpåverkan och omställning mot cirkulära flöden. Beställarkraven mot minskning av klimatpåverkan och entreprenörernas klimatreducerande åtgärder följer i allmänhet en väletablerad praxis som följer EPD-standarder. Samtliga svenska beställare, både offentliga och privata, ställer krav på ett tredjepartsgranskat bevis på vägbeläggnings klimatprestanda i form av en EPD.

Trafikverket och kommunerna har satt maximala utsläppsvärdena för klimatpåverkan från asfaltmassor och betong. Beställarnas maximala utsläppsvärden används sedan för att köpa in material med EPD:er och lägre klimatpåverkan i anläggningsprojekt. I denna studie har vi kartlagt redovisade utsläppsvärden för asfaltmassor från flera svenska entreprenörer som Skanska, NCC, Svevia, Veidekke och Peab. Tredjepartsgranskade och godkända EPD:er användes som underlag för datainsamling. Bedömningen gjordes enbart utifrån informationen angiven i EPD:er. Jämförelseanalys mellan utsläppsvärden från EPD:er för asfaltmassor och Trafikverkets maximala utsläppsvärden för år 2024 och år 2030 visar att klimatprestanda av de flesta asfaltmassorna uppfyller Trafikverkets och svenska kommunernas klimatkrav, d.v.s. ligger under maximala utsläppsvärdena för 2024. De flesta tillverkare kan redan idag garantera uppfyllande av maximala utsläppsvärdena även för 2030.

Klimatpåverkan från asfaltvägbeläggningar ligger mellan **0,028** och **0,045** kg CO₂e/kg asfalt för produktionsfasen (A1-A3) år 2024 och prognoseras att minskas och ligga mellan **0,020** och **0,033** kg CO₂e/kg asfalt år 2030 i enlighet med Trafikverkets och stora kommunernas maximala utsläppsvärden. De värdena kommer troligen att höjas när nya EPD-beräkningsregler (PCR) för asfaltmassor träder i kraft.

Beställarnas maximala utsläppsvärde för anläggningsbetong (A1-A3) är satt som **0,125** kg CO₂e/kg betong för år 2024 och förväntas att sänkas till **0,108** kg CO₂e/kg betong till år 2030. Det finns en stor reduceringspotential med klimatförbättrad betong enligt senaste versionen av Svensk betongs Vägledning för klimatförbättrad betong. Angivna exempel på potentiella lägsta nivåer för klimatpåverkan från anläggningsbetong ger optimism att fortsätta arbeta med klimatanpassning av betongblandningar i Sverige. Det anges att det finns redan idag teknik att producera betongblandning med CO₂e-utsläpp (A1-A3) mellan **0,066** och **0,098** kg CO₂e/kg betong. KTH:s senaste forskning visar att optimering av vägkonstruktionslösning med en treskiktsbeläggning skulle spara ytterligare ca 27 procent av cementen och minska klimatpåverkan från produktionsfasen (A1-A3). Med tanke på att betongbeläggning har en längre livslängd och kräver färre underhållsåtgärder kan klimatreducering uppnås under användningsfasen (Modul B).

Användandet av EPD:er är dock begränsat till bedömning av miljöpåverkan från beläggningar för tillverkningsskede, d.v.s. moduler A1-A3. Detta är huvudorsaken till att EPD:er tas fram och används för jämförelse av samma asfaltmassatyp (t. ex. ABT, ABS) från olika tillverkare. Informationen om miljöpåverkan från moduler C och D används dock inte i affärsmässiga sammanhang, t. ex. i beställarkravet på asfaltmassor i anläggningsentreprenader. Det är oftast bristen på jämförbara indata för modul C och

modul D som förhindrar en bredare affärsmässig användning av sådana EPD:er av beställare i infrastrukturprojekt i Sverige. Beläggningsens klimatpåverkan från reparations- och underhållsåtgärder under användningsfasen (modul B) samt rivning och återvinning/återanvändning av byggmaterial i beläggningar (moduler C och D) kan överskrida klimatpåverkan från produktionsfasen (modul A1-A3).

6.2 Förutsättningar för framtida jämförelser av olika vägbeläggningar

Behovet av att koppla EU:s reglering för hållbara finanser och tekniska standardiserade hållbarhetsbedömningsmetoder för identifiering av mest kostnadseffektiva investeringsåtgärder inom infrastruktur är en ny utmaning för både byggbranschen och den finansiella sektorn. De olika grenarna inom EU:s hållbarhetsstandardisering är inte kopplade till varandra ännu. Definitioner och begrepp för hållbara anläggningskonstruktioner behöver kopplas ihop till EU:s regelverk för hållbara finanser och EU-taxonominns klassificeringssystem för hållbara investeringar.

Det behövs utveckling av mer detaljerade investeringsstrategier inom hållbara finanser för att kunna använda redan befintliga hållbarhetsmått och hållbarhetsbegrepp inom infrastrukturbyggandet och inrikta finansiella investeringar på "rätta" saker. Ju längre vi dröjer med att uppfylla de totala klimatinvesteringsbehoven, desto högre blir kostnaderna, både för att mildra den globala temperaturökningen och för att hantera dessa effekter.

Trafikverket och andra beställare behöver genom sina upphandlingskrav våga testa och därmed skapa förutsättningar för entreprenörerna och branschen att arbeta med konkreta åtgärder som ökar cirkulära flöden, t.ex. öka andel av returasfalt (RAP) i nya asfaltmassor, ersätta bitumen med bio-baserade bindemedel (som räknas som restprodukter från andra industrier) och öppna för användande av nya typer av vägbeläggningar bestående av innovativa komponenter.

Betong har flera fördelar som beläggingsmaterial men används för närvarande knappt på svenska motorvägar. Situationen är densamma i de andra skandinaviska länderna och i många andra länder runt om i världen. Betongtillverkningen, eller främst tillverkningen av cement, står för 6–8 procent av de globala CO₂e-utsläppen och det är därför man måste hushålla med användningen av betong. Å andra sidan närmar vi oss post-fossilolja-eran vilket innebär att bitumen (nödvändigt för asfaltproduktionen) måste ersättas av alternativa bio-bindemedel framställda från andra källor (t.ex. från skog). Enligt arbetsgruppens uppfattning kommer betong att spela en viktig roll i vägkonstruktioner i framtiden men vi måste använda det på ett mer miljövänligt sätt.

På grund av bristen på erfarenhet av design och konstruktion av betongbeläggningar byggs de flesta vägar i Sverige av asfalt. Asfaltbeläggningarna anses vara ett billigare alternativ med hänsyn till de initiala investeringarna, men deras underhåll kan bli kostsamt över tiden. Dessutom kräver en ökning av axelvikter, förändringar av de traditionella sätten att resa, t.ex. användningen av automatiserade och guidade fordon, och de strängare kundkraven för att minska klimatpåverkan utveckling av nya recept för vägbeläggningar med bättre hållbarhetsprestanda.

I avsaknad av tillförlitliga produktspecifika indata om potentiella underhållsintervall och förväntad livslängd, kan deklaration av miljöpåverkan från moduler C och D baseras på

framtaga potentiella framtidsscenarier. Här kan framtagande av en funktionell jämförelseekvivalent från EN 15643–5 och EN 17472 vara en katalysator i arbete med EPD:er med bredare perspektivet på livscykel. Funktionell jämförelseekvivalent ska avspegla hela livscykel av bedömda vägkonstruktion, d.v.s. samtliga moduler: A, B, C och D, och användas för att definiera relevanta jämförbara livscykelscenarier för en anläggningskonstruktion.

Kartläggningen av svensk och internationell status med livslängddata i kapitel 3 visar att nuvarande dataunderlag är för bristfälligt, vilket komplicerar en praktisk implementering av senaste standarder för hållbara byggnadsverk, t. ex. för att skapa en funktionell jämförelseekvivalent för hållbarhetsaspekter mellan alternativa vägkonstruktioner. Bristen på svenskanpassade data om vägprestanda för olika typer av material är svårt att kompensera genom användande av databas för vägar i likartade klimatförhållanden i andra länder.

6.3 Utveckling och test av nytt ramverk för hållbara vägbeläggningar

Enligt senaste standarderna, kan alternativa konstruktioner jämföras med hjälp av en funktionell jämförelseekvivalent och inom samma systemgränser, vilket skapar grunden för en rättvis jämförelse av konstruktioner, bestående av olika material och komponenter. De alternativa konstruktionerna ska dock ha samma tekniska funktion och jämförelsen ska göras inom samma systemgränser, d.v.s. omfattning på bedömda livscykelstegen. I denna studie har några standardiserade parametrar som skulle komma beskriva en funktionell ekvivalent för jämförelse av betongvägar utvecklats.

6.4 Rekommendationer för nästa steg

Det har identifierats flera inriktningar för vidareforskningen om betongvägsbeläggningar:

- **Vidareutveckling av konstruktionslösningar** för betongvägsbeläggningar som kombinerar hög hållfasthet och hög slitstyrka med låga CO₂e-utsläpp. Forskningen bör inriktas på ersättning av Portlandcement med alternativa cementbaserade material som industriella restprodukter som flygaska, masugnsslagg och kiselrök och bränd lera.
- **Optimering av betongvägskonstruktion** med hänsyn till bärförmåga, böjstyvhet och slitstyrka. I Sverige använder vi en tvåskiktsbetongvägsbeläggning, men beräkningar visar att en treskiktsbeläggning skulle spara 27 procent av cementen. Vidareforskning behövs för att undersöka om en trelagersbeläggning är praktiskt möjlig att producera och om kompositstrukturen kommer att fungera homogent.
- **Dimensioneringsverktygen** för svenska asfaltvägar har successivt utvecklats och moderniserats men motsvarande utveckling av dimensioneringsmetoder och verktyg för betongvägsbeläggningar är avgörande för att skapa ett konkurrenskraftigt alternativ mot asfaltvägbeläggningar.
- I ett hållbarhetsperspektiv är det bästa alternativet att skjuta upp rivningen och utbyte av en befintlig infrastruktur. Följaktligen är **forskning om reparation, underhåll och förstärkning** av befintliga betongvägsbeläggningar brådskande. Byte av uttjänta bergkrossmaterial, spruckna delar av betongvägsbeläggningar

- med t.ex. nya tekniker som prefabricerade betongplattor är områden där behövs mer forskning och utveckling.
- Betong kan också ha en roll för att förbättra prestandan hos gamla asfaltbeläggningar. Teknik med en betonglager ovanpå en befintlig asfaltbeläggning kallas whitetopning. De nordamerikanska erfarenheterna av whitetopning är omfattande och goda [133]. Det behövs **forskning för att anpassa utländska erfarenheter** till svenska förhållanden.

Litteraturförteckning

- 1 Trafikverket (2023): TDOK 2015:0480 Klimatkrav i planläggning, byggskede, underhåll och på teknisk godkänt järnvägsmateriel.
- 2 Gemensamma miljökrav för entreprenader (2018). Utgivet av Stockholms stad, Malmö stad, Göteborgs stad och Trafikverket.
- 3 McKinsey & Company (2009): Pathways to a Low-Carbon Economy, Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, 192 pp.
- 4 McKinsey & Company (2010): Impact of the Financial Crisis on Carbon Economics. Version 2.1 of the Greenhouse Gas Abatement Cost Curve, 14 pp.
- 5 EN 15804:2012+A1:2013 (2013): Sustainability of construction works -Environmental Product Declarations - Core rules for the product category of construction products.
- 6 EN 15804:2012+A2:2019 (2019): Sustainability of construction works -Environmental Product Declarations - Core rules for the product category of construction products.
- 7 Strömberg L.(2018): Digitalisering av EPD för asfaltbeläggningar. SBUF rapport 13472.
- 8 Svensk betong (2023): Vägledning klimatförbättrad betong. Utgåva 2.0.2023.
- 9 Mukherjee A., Dylla H. (2017): Challenges to using environmental product declarations in communicating life-cycle assessment results: Case of the asphalt industry. Transportation Research Record 2639 (1), pp. 84–92.
- 10 Strömberg L., Hintze S., Al-Qadi I.L. and Okte E. (2020): Assessment of asphalt concrete EPDs in Scandinavia and the United States, publicerad i proceedings of The International Symposium on Pavement, Roadway, and Bridge Life Cycle Assessment, Sacramento, California, USA, 3-6 June 2020.
- 11 Strömberg L., Wendel M., Berglund M., Lindgren Å. (2020): Digitalization of EPDs for asphalt – experience from Sweden and input from Norway. Accepted for Proceedings of 7th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Madrid 12-14 May 2020.
- 12 Strömberg L. (2017): Conceptual Framework for Calculation of Climate Performance with Pre-verified LCA-Tools, Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol. 11, pp. 29-37, 2017, DOI:10.17265/1934-7359.
- 13 Strömberg L. (2017): Current difficulties with creation of standardized digital climate calculations for infrastructural projects, Proceedings of the Pavement Life-Cycle Assessment Symposium 2017, Champaign, Illinois, USA, April 12-13, pp. 23-29, ISBN: 978-1-315-15932-4 (eBook).
- 14 Strömberg L. (2016): Verified climate calculation of contractors' design. Proceedings of International High- Performance Built Environment Conference – A Sustainable Built Environment Conference 2016 Series (SBE16), Sydney, Australia, pp. 1-9, 1877-7058 © 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd. Available online at www.sciencedirect.com.

- 15 Swei O., Reed Miller T., Akbarianc M., Gregory J., Kirchaine R. (2019): Effects of industry competition in the paving sector, Massachusetts Institute of Technology, Manuscript under review in the journal Transport Policy.
- 16 Nilsson R., Saleh I. & Gustafsson M. (2022): Hållbara betongvägar – Underhåll (Etapp I). SBUF ID 13373.
- 17 Strömberg L. (2021): Dynamisk optimering av betongkonstruktioner – LCA och LCC som metoder att nå klimatneutral användning av sprutbetong i tunnlar. SBUF rapport 13518.
- 18 SIS/TK 209 Hållbarhet hos byggnadsverk. Hämtat: april 2024 från: <https://www.sis.se/standardutveckling/tksidor/tk200299/sistk209/>.
- 19 https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en.
- 20 <https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/>.
- 21 Sustainable Development Goals, SDG. Hämtat april 2024 från: <https://sdgs.un.org/goals>.
- 22 Sveriges Riksdag (2017): Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige.
- 23 EN 15643-5-2017 (2017): Hållbarhet hos byggnadsverk – Hållbarhetsvärdering av byggnader och anläggningar – Del 5: Ramverk för principer och krav för anläggningar.
- 24 EN 17472 (2020): Sustainability of construction works – Sustainability assessment civil engineering works - Calculation methods.
- 25 Yaqoob S. (2024): Concrete pavements' repair techniques and numerical assessment of dowel bar load transfer efficiency. Licentiat avhandling. KTH Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering. Division of Concrete Structures. TRITA-ABE-DLT-2356. ISBN 978-91-8040-808-0.
- 26 Strömberg L., Silfwerbrand J., Ansell A., Hintze S. (2020): Making Concrete Pavements Competitive by Using the Standardized Framework for Comparisons of Infrastructure Projects in Terms of Cost-Efficiency and Climate Impact, Journal of Nordic Concrete Research - Publ. No. NCR 62 – ISSUE 1 / 2020 – Article 2, pp. 21-39, DOI: <https://doi.org/10.2478/ncr-2020-0004> | Published online: 09 Jul 2020.
- 27 Strömberg L., Silfwerbrand J., Ansell A. and Hintze S. (2021): Possibilities with LCA and LCCA for sustainable concrete and asphalt roads, publicerad i proceedings of the XXIV Concrete Research Symposium, Sandefjord, Norway, 17-20 August 2021.
- 28 Strömberg L., Khazanovich L. and Hintze S. (2021): Enhancement of sustainable road design towards compatibility between pavement materials, publicerad i proceedings of the 12th International Conference on Concrete Pavements, Minneapolis, Minnesota, USA, 29 August – 2 September 2021.
- 29 Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., Strömberg, L. (2021), Evaluation of Rapid Repair of Concrete Pavements Using Precast Concrete Technology: A Sustainable and Cost-Effective Solution. Nordic Concrete Research, 65 (2), pp 107-128.

- 30 Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., Strömberg, L. (2022). Overnight rehabilitation of concrete pavements using precast concrete technology. Paper presented at XXIV NCR Symposium, Stockholm, Sweden, 16- 19 August 2022, 4 pp.
- 31 Yaqoob, S., Silfwerbrand, J., & Balieu, R G- R. (2024): A Parametric Study Investigating the Dowel Bar Load Transfer Efficiency in Jointed Plain Concrete Pavement Using a Finite Element Model. Buildings 2024, 14, 1039. 20 pp.
- 32 ISO 21930:2017 (2017): Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services.
- 33 Product Category rules (2012), Construction Products and Construction Services. 2012:01, version 2.2.
- 34 NPCR Construction products and services – Part A (2017). EPD Norge.
- 35 Asphalt Mixtures Product category classification (2018): UN CPC 1533 & 3794, 2017:01 VERSION 1.0, EPD International.
- 36 NPCR 025:2017 (2017) Version 1.1 Part B for Asphalt.
- 37 EPD Norge, hämtat april 2024 från: www.epd.no.
- 38 EPD International, hämtat april 2024 från: environdec.com.
- 39 SS-EN 16757 (2017) Product Category Rules for concrete and concrete elements.
- 40 Dam T.V., Spragg R., Wathne L., Cooper M., Taylor P., Felag M. (2024): Guide for Reducing the Cradle-to-Gate Embodied Carbon Emissions of Paving Concrete. National Concrete Pavement Technology Center Iowa State University.
- 41 Svevia EPD (2020): Asfaltsprodukter tillverkade i fasta verk - AG, ABb, ABT, ABS. Ägare: Svevia AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-02281, gäller till 2025-10-31.
- 42 Peab EPD (2023): ABT11 from Bjärsgård asphalt plant. Ägare: Peab Asphalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10547, gäller till 2028-10-11.
- 43 Peab EPD (2023): ABT11 from Dingtuna asphalt plant. Ägare: Peab Asphalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10548, gäller till 2028-10-11.
- 44 Peab EPD (2023): ABT11 from Fröland asphalt plant. Ägare: Peab Asphalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10550, gäller till 2028-10-11.
- 45 Peab EPD (2023): ABT11 from Jumsta asphalt plant. Ägare: Peab Asphalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10521, gäller till 2028-10-11.
- 46 Peab EPD (2023): ABT11 from Kålleröd asphalt plant. Ägare: Peab Asphalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10551, gäller till 2028-10-11.

- 47 Peab EPD (2023): ABT11 from Lekhyttan asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10552, gäller till 2028-10-11.
- 48 Peab EPD (2023): ABT11 from Linneryd asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10553, gäller till 2028-10-11.
- 49 Peab EPD (2023): ABT11 from Rällsjön asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10554, gäller till 2028-10-11.
- 50 Peab EPD (2023): ABT11 from Styvinge asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10555, gäller till 2028-10-11.
- 51 Peab EPD (2023): ABT11 from Sundsvall asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10556, gäller till 2028-10-11.
- 52 Peab EPD (2023): ABT11 from Sävsjö asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10557, gäller till 2028-10-11.
- 53 Peab EPD (2023): ABT11 from Umeå asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10558, gäller till 2028-10-11.
- 54 Peab EPD (2023): ABT11 from Vederöd asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10559, gäller till 2028-10-11.
- 55 Peab EPD (2023): ABT11 from Vidbo asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10560, gäller till 2028-10-11.
- 56 Peab EPD (2023): ABT11 from Vålberg asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10561, gäller till 2028-10-11.
- 57 Peab EPD (2023): ABT11 from Västberga asphalt plant. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-10562, gäller till 2028-10-11.
- 58 Peab EPD (2018): Eco-Asfalt® Plus. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-01317, gäller till 2023-07-04.
- 59 Peab EPD (2018): Eco-Asfalt® Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-01172, gäller till 2023-01-08.

60 Peab EPD (2021): Polymer modified bitumen, PMB. Ägare: Peab Asfalt AB, Registrerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03962, gäller till 2026-11-12.

61 EPD generator for products (2018). Eng. Version. LCA.no.

62 Skanska EPD (2020): ABT 16 Vallsta Asphalt Plant. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-2514-1242, gäller till 2025-11-10.

63 Skanska EPD (2021): ABT Skanska Gron AsfaltBio Zero. Gallivare, Lulea, Umea, Sundsvall, Borlange och Sodertalje asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-2820-1517, gäller till 2026-05-31.

64 Skanska EPD (2021): AG Skanska Gron asfalt BioZero. Gallivare, Lulea, Umea, Sundsvall, Borlange och Sodertalje asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-2821-1518, gäller till 2026-05-31.

65 Skanska EPD (2021): Abb Skanska Gron asfalt BioZero. Gallivare, Lulea, Umea, Sundsvall, Borlange och Sodertalje asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-2822-1516, gäller till 2026-05-31.

66 Skanska EPD (2023): ABS, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4831-4091, gäller till 2028-08-28.

67 Skanska EPD (2023): Abb, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4832-4089, gäller till 2028-08-28.

68 Skanska EPD (2023): AG, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4833-4088, gäller till 2028-08-28.

69 Skanska EPD (2023): AG, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4834-4087, gäller till 2028-08-28.

70 Skanska EPD (2023): ABT, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4842-4097, gäller till 2028-08-28.

71 Skanska EPD (2023): ABS PMB, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4843-4096, gäller till 2028-08-28.

72 Skanska EPD (2023): ABS kkv <7, Skanska Industrial Solutions, Luleå asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-4844-4095, gäller till 2028-08-28.

- 73 Skanska EPD (2024): ABb PMB, Skanska Industrial Solutions, Dalby asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5731-5030, gäller till 2029-01-08.
- 74 Skanska EPD (2024): ABT, Skanska Industrial Solutions, Dalby Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5732-5029, gäller till 2029-01-08.
- 75 Skanska EPD (2024): ABb, Skanska Industrial Solutions, Dalby asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5734-5026, gäller till 2029-01-08.
- 76 Skanska EPD (2024): ABb, Skanska Industrial Solutions, Vikans Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5735-5024, gäller till 2029-01-08.
- 77 Skanska EPD (2024): AG, Skanska Industrial Solutions, Vikans Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5736-5023, gäller till 2029-01-08.
- 78 Skanska EPD (2024): ABT PMB, Skanska Industria Solutions, Vikans Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5737-5022, gäller till 2029-01-08.
- 79 Skanska EPD (2024): ABb PMB, Skanska Industrial Solutions, Vikans Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-5738-5021, gäller till 2029-01-08.
- 80 Skanska EPD (2024): AG, Skanska Industrial Solutions, Upplands Väsby Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-6157-5417, gäller till 2029-02-26.
- 81 Skanska EPD (2024): ABS, Skanska Industrial Solutions, Upplands Väsby Asfaltverk. Ägare: Skanska Industrial Solutions AB, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-6158-5416, gäller till 2029-02-26.
- 82 Svensk Betong (2017). Betong och klimat.
- 83 ISO 14001:2015 (2015) Miljöledningssystem - Krav och vägledning.
- 84 NCC EPD (2024): Asphalt mixtures from Bollnäs asphalt plant – Växbo. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03652, gäller till 2027-12-15.
- 85 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Borlänge asphalt plant – Gustafs. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03981, gäller till 2028-07-04.
- 86 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Borås asphalt plant – Ramnaslätt. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03979, gäller till 2027-07-04.

87 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Eskilstuna asphalt plant – Kjula. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03639, gäller till 2027-07-04.

88 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Gävle asphalt plant. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03650, gäller till 2027-09-13.

89 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Göteborg asphalt plant – Kärra. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-020080, gäller till 2027-02-15.

90 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Halmstad asphalt plant – Biskopstorp. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03980, gäller till 2027-10-06.

91 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Hudiksvall asphalt plant. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03651, gäller till 2027-12-13.

92 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Jönköping asphalt plant – Ubbarp. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-04998, gäller till 2028-07-02.

93 NCC EPD (2023): Asphalt mixture from Kalmar asphalt plant – Trekanten. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-11915, gäller till 2028-12-16.

94 NCC EPD (2023): Asphalt mixture from Karlstad asphalt plant – Alster. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-11124, gäller till 2028-11-03.

95 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Klippan asphalt plant – Kvidinge. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-07352, gäller till 2027-11-06.

96 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Lund asphalt plant – Södra Sandby. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03641, gäller till 2027-11-01.

97 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Mora asphalt plant – Grönsberg. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03978, gäller till 2028-07-04.

98 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Norrköping asphalt plant – Skärlunda. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-06733, gäller till 2027-10-04.

99 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Piteå asphalt plant. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-04437, gäller till 2026-09-16.

- 100 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Skellefteå asphalt plant. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03642, gäller till 2028-06-21.
- 101 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Stockholm mastic asphalt plant – Arlanda. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03250, gäller till 2028-03-05.
- 102 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Stockholm asphalt plant – Riksten. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-02305, gäller till 2027-11-14.
- 103 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Stockholm asphalt plant – Arlanda. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03443, gäller till 2027-11-01.
- 104 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Sundsvall asphalt plant – Råsta. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-07347, gäller till 2027-11-14.
- 105 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Uddevalla asphalt plant – Porsen. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-01641, gäller till 2028-03-20.
- 106 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Västerås asphalt plant – Vändle. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03640, gäller till 2027-07-10.
- 107 NCC EPD (2022): Asphalt mixtures from Örebro asphalt plant – Dylta. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-06732, gäller till 2027-10-04.
- 108 NCC EPD (2023): Asphalt mixtures from Östersund asphalt plant – Gräfsåsen. Ägare: NCC Industry Nordic AB, Publicerad hos EPD International, deklarationsnummer: S-P-03638, gäller till 2027-11-13.
- 109 VTI (2015): Underhåll av databas över provvägar, SBUF-rapport 12522.
- 110 Trafikverket (2018) Användarmanual PMSV3- Information om vägstatus.
- 111 Gudmarsson A. (2014): Resonance Testing of Asphalt Concrete, Doctoral Thesis, KTH Royal Institute of Technology School of Architecture and the Built Environment.
- 112 Gudmarsson A. (2016): Reducerad beläggningstjocklek med alternativa bindemedel, SBUF projekt 13107.
- 113 Ansell A., Racutanu G., Sundquist H. (2002): A Markov approach in estimating the service life of bridge elements in Sweden, Proceeding of 9th Int. Conference on Durability of Building Materials and Components. Brisbane, Australia.
- 114 Gasch, T., Ansell, A. (2017): Influence of varying ambient conditions on time-dependent deformations in concrete using multi-field modelling. In: Proceedings of the 23rd Nordic Concrete Research Symposium, Aalborg, Denmark.

- 115 Tompkins D. (2018): MnPAVE-Rigid 2.0, Minnesota Department of Transportation, Research Project Final Report.
- 116 Azarijafari H., Guo F., Gregory J., Swei O. (2019) The role of pavements in meeting GHG reduction targets, Massachusetts Institute of Technology, CSHub, Research brief, Volume 2019, Issue 6.
- 117 Alauddin Ahammed M. (2017): Concrete pavement life cycle environmental assessment & economic analysis: A manitoba case study. Published at Proceeding of Pavement Life-Cycle Assessment conference, USA, Illinois.
- 118 Almeida J.O., R.M. Delgado, P.F. Teixeira (2016): A bridge life-cycle cost optimization methodology, Proceeding of International Association for Life-Cycle Civil Engineering.
- 119 Brattebø H. (2012): ETSI Stage 3 Task group 4: Life Cycle Assessment of Bridges. Norwegian University of Science and Technology (NTNU).
- 120 EU directive 2014/24/EU on public procurement, February 2014.
- 121 Riksdagen (2016): Act on Public Procurement 2016:1145.
- 122 Trafikverket (2011): Technical Requirements for Road Construction, TRV 2011:072, TDOK 2011:264.
- 123 Trafikverket (2024): PMS Objekt, hämtat april 2024 från: <https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>.
- 124 Trafikverket (2017): Support with LCC for planning and design of roads and railways, version 1.1, 2017.
- 125 Silfwerbrand, J., (2010): Three-layer Concrete Pavements for Increased Sustainability. Proceedings, 7th International DUT-Workshop on Design and Performance of Sustainable and Durable Concrete Pavements, Carmona, Spain, Oct. 10-11, 16 pp.
- 126 Silfwerbrand, J. (2014): The Advantages of Concrete Pavements in Tunnels. Proceedings, 12th International Symposium on Concrete Roads, Prague, Sept. 24-26, 2014.
- 127 Silfwerbrand, J. (2016): Not Concrete or Asphalt but Concrete and Asphalt – A Discussion Based on Swedish Pavements. Proceedings, 11th International Conference on Concrete Pavements, San Antonio, Texas, USA, August 28-31, 2016, pp. 609-619.
- 128 Dolk E. (2017): Concrete Pavements Have a Future, Betong, No. 4, June 2017, pp. 43-44.
- 129 Färdplan för fossilfri konkurrenskraft. Betongbranschen (2023). http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2018/04/ffs_betongbranschen.pdf.
- 130 Färdplan cement. För ett klimatneutralt betongbyggande (2023). Cementa. http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2018/04/ffs_cementbranschen.pdf.

- 131 Uppenberg S. (2020): Klimateffektivisering I planering och projektering. SBUF-rapport 13577.
- 132 Svensk Standard SS 137003:2021 (2021): Betonganvändning.
- 133 Silfwerbrand, J. (2004): The Philosophy of Whitetoppings. Proceedings, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, Turkey, April 3-7, 2004, 11 pp.
- 134 Boverkets klimatdatabas. Hämtat april 2024 från:
<https://www.boverket.se/sv/klimatdeklaration/klimatdatabas/om-klimatdatabas/>.
- 135 Trafikverkets Klimatkalkyl. Hämtat april 2024 från:
<https://klimatkalkyl.trafikverket.se/Modell>.
- 136 Gemensamma miljökrav för entreprenader (2022), remiss 2022. Utgivet av Stockholms stad, Malmö stad, Göteborgs stad och Trafikverket.
- 137 European Asphalt Pavement Association (2019). Asphalt in figures 2019.
- 138 Agardh S. & Parhamifar E. (2014): Vägbyggnad. Stockholm: Liber AB.
- 139 RISE testbädd LingoCity. Hämtat april 2024 från:
<https://www.ri.se/sv/berattelser/lignocity-en-oppen-testbadd-med-stora-mojligheter>.
- 140 Trafikverkets ändringar och tillägg till AMA Anläggning 2023.
- 141 PCR Road materials — Environmental product declarations — Product category rules complementary to EN 15804 for bituminous mixtures, CEN/TC 227.
- 142 Veidekke EPD (2022): Veidekke Ag 16 160/220. Ägare: Veidekke Industri AS, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-3648-2596, gäller till 2027-07-15.
- 143 Veidekke EPD (2022): Veidekke Agb11 160/220 Miljøasfalt. Ägare: Veidekke Industri AS, Registrerad hos EPD Norge, deklarationsnummer: NEPD-3650-2594, gäller till 2027-07-15.
- 144 Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Bygg- och anläggningssektorn, Fossilfritt Sverige, 2024.
- 145 Färdplan för en hållbar finansmarknad, Finansinspektionen, 2022.
- 146 Global Landscape of Climate Finance 2023, Methodology, Climate Policy Initiative, November, 2023.
- 147 International Energy Agency (2011): Summing up the parts. Combining Policy Instruments for Least-Cost Climate Mitigation Strategies, 72 pp.
- 148 Sub-PCR to PCR 2012:01 Concrete and concrete elements (EN 16757:2017), PCR 2012:01-SUB-PCR-G, EPD International 2018.
- 149 Product Category Rules (PCR) for bridges, elevated highways and tunnels, Version 1.11, EPD International, 2019.

150 Cormier B., Thébeau D. (2004): Determination of a Dedicated Concrete Pavement Network Using Probabilistic Life-Cycle Cost Analysis. Proceedings, 9th International Symposium on Concrete Roads, Istanbul, Turkey, April 3-7, 2004, 11 pp.

151 Hultqvist B.-Å., Dolk E. (2015): Betongbeläggning i tungt trafikerade körfält på motorväg. Exempel och erfarenheter från några olika länder. VTI Report No. 837, Swedish National Road and Transport Research Institute, Linköping, Sweden, 44 pp.

152 Svensk Byggtjänst (2002): Betong på mark – Platsgjutna lösningar. Handbook.