ID: 13706

KLIMATPOSITIV GC-BRO I TRÄ - MÖJLIGT?

Förstudie

Petra Brinkhoff, Jacob Lindberg, Isabelle af Ekenstam, Niklas Blomqvist, Carolin Viklund, Frida Panzar, Tobias Larsson, Kristine Ek, Malin Norin

FÖRORD

Sedan föreliggande projekt söktes har förutsättningarna för projektets del i att bidra till arbetspaket AP 4 Klimatpositiv bro i ansökan till Energimyndigheten ändrats. Tyvärr blev den ansökan ej beviljad varför detta projekt har genomförts för sig självt. Mot bakgrund av detta har innehållet till viss del ändrats. Sociodukt-kopplingen (att sammankoppla två olika socioekonomiska områden) kommer endast behandlas ytligt i inledningen av denna rapport. Mot bakgrund av detta har också projektets titel förändrats för att den i en större utsträckning skall spegla projektets innehåll.

Projektledare har varit Petra Brinkhoff där rapportens huvudförfattare förutom Petra varit Jacob Lindberg, Isabelle af Ekenstam, Niklas Blomqvist, Frida Panzar och Carolin Wiklund.

Arbetsgrupp på NCC Infrastructure:

- Petra Brinkhoff, projektledare
- Kristine Ek, LCA
- Jacob Lindberg, LCA
- Malin Norin, Hållbarhet
- Carolin Wiklund, Hållbarhet
- Niklas Blomqvist, Klimat
- Frida Panzar, Affärsutveckling
- Isabelle af Ekenstam, Landskapsarkitektur
- Tobias Larsson, Konstruktör

Referensgruppen:

- Kristoffer Ekholm, Trafikkontoret
- Lars-Olof Nilsson Trafikverket
- Robert Jockwer, Chalmers
- Roberto Crocetti, Kungliga Tekniska Högskolan
- Robert af Wetterstedt, Bjerking
- Carson Warren, Bjerking
- Jens Karlsson, Martinsons Byggsystem KB
- Håkan Larsson, Moelven Töreboda AB

Vi vill rikta ett stort tack till samtliga i ovan nämnda referensgrupp för sitt deltagande under referensgruppsmöten samt den workshop som hölls i projektet. Dessutom vill vi tacka SBUF som finansierat detta projekt.

Projektet har utförts från augusti 2019 till och med november 2020.

Petra Brinkhoff, november 2020

SAMMANFATTNING

För att uppnå riksdagens mål om klimatneutralitet till år 2045 krävs transformativa lösningar, en möjlig sådan utforskas i detta projekt. Mål och syften med rapporten är att utforska om och hur träkonstruktioner kan utgöra basen för infrastruktur-investeringar som ur ett livscykelperspektiv har en klimatpositiv nettoeffekt, samt att utreda förutsättningar för att skapa gröna vistelsemiljöer på träbroar, anpassade för att hantera dagvatten och klimatförändringar på bästa sätt. Utbyggd cykelinfrastruktur i form av sociodukter ger förutsättningar för ett hållbart och säkert resande, vilket i sin tur leder till flera samhällsekonomiska vinster i form av förbättrad allmänhälsa, bättre luftkvalitet, minskade förseningar och minskade socioekonomiska klyftor. Växtbeklädda broar kan bidra med flera ekosystemtjänster såsom förbättrad luftkvalitet, jämnare temperatur, ökad biologisk mångfald, förbättrad dagvattenhantering och inte minst utgöra en plats för rekreation. En inledande workshop utfördes, med medlemmar ur referensgruppen samt arbetsgruppen, som sedan låg till grund för fortsatta studier samt livscykelanalys över klimatpåverkan. Under studien har ett konceptförslag tagits fram; en tvärspänd plattbro av limträ och konstruktionsvirke, 22 m lång och 5 m bred, med två körfält i vardera riktningen. Bron utformas med väderskyddad bottenplatta av limträ, asfaltbeläggning, träräcken med infälld belysning samt två landfästen av armerad betong. En växtbädd placeras utefter hela brons längd (22*1*0.3m), innehållande lättviktssubstrat med biokol. Perenner och ängsvegetation av områdestypiska arter tåliga mot torka rekommenderas för ökad biologisk mångfald samt minimerat bevattningsbehov. Dränering utformas för att kunna hantera klimatförändringar såsom mer frekventa torrperioder och ökad nederbörd.

Klimatberäkningar har genomförts i enighet med standarden EN 15804 för att bedöma träbrons klimatpåverkan under hela dess livscykel från utvinning av material och transporter, genom byggnation och drift samt sluthantering. Sammantaget blir klimatpåverkan i utgångsläget ca 66 ton CO_2e. 39 ton CO_2e går att reducera med hjälp av följande åtgärder, vattenkraftsbaserad el och adaptiv LED-belysning (-26 ton CO_2e), återvunnen råvara till konstruktionsstål, armeringsjärn och aluminium (-5,1 ton CO_2e). Byte av fossila drivmedel till HVO100 (-8,6 ton CO_2e) betong med 35% masugnsslagg istället för cement (-4,4 ton CO_2e) samt asfalt med mindre klimatpåverkan (-0,4 ton CO_2e). Kvarvarande 27 ton CO_2e kräver någon form av kompensation i form av kolinlagring, så kallade negativa utsläpp. Inom bron sker tillfällig kolinlagring motsvarande ca 68,6 ton CO_2e, varav ca 67,5 ton inom träkonstruktionen, 0,7 ton inom biokol samt 0,4 ton inom växtlighet. För att kunna räkna med den mängd biogent kol som finns inlagrat i konstruktionen som bestående kolsänka behöver byggnationen enligt relevanta standarder stå i minst 100 år, vilket dock inte är möjligt enligt Trafikverkets angivelser om teknisk livslängd för träbroar om maximalt 80 år. Förslag till fortsatta studier för klimatpositiv cykelbro: Undersöka möjligheten att köpa kompensationsrätter för klimatkompensation utanför projektet, alternativt utforska trovärdighet utifrån alternativ standard vid beräkning av klimatpåverkan från byggnadsverk, samt att undersöka möjligheter för lokal produktion av energi till elnätet under driftskede, genom solceller, vind-eller vågkraft.

Ordlista och definitioner

Biogen koldioxid	Biogen koldioxids ursprung är kol som tagits upp och bundits i biomassa, det vill säga växter, träd, biogas med mera. Detta brukar särskiljas från fossil koldioxid som kommer från kol från icke förnybara bränslen, till exempel olja, naturgas och brunkol.
CCS-teknik	CCS samt Bio-CCS (Bioenergy + Carbon Capture and Storage) innebär koldioxidavskiljning vid förbränning, av fossilt resp. biologiskt material. Koldioxiden transporteras till hålrum i berggrunden för permanent lagring. Tekniken finns idag, men är kostsam och infrastrukturlösningar för transport av koldioxid saknas fortfarande.
EPD	Environmental Product Declaration - Tredjepartsgranskad miljövarudeklaration och är en typ av LCA. EPD:er för byggprodukter utförs vanligen enligt standard EN 15804
Emissionsfaktor - kg CO_2e/enhet	Anger storleken på utsläpp av växthusgaser omräknat till koldioxidekvivalenter per mängd material, används inom klimatberäkningar och redovisas vanligen i kg CO_2e/kg, kg CO_2e/m^2 eller kg CO_2e/m^3
GWP	Global Warming Potential. Utsläppen av olika växthusgaser kan med hjälp av GWP-värden omräknas till koldioxidekvivalenter för att summera produkters klimatpåverkan och underlätta jämförelser i klimatberäkningar.
LCA	Livscykelanalys - En analys av den totala miljöpåverkan som sker under en produkts eller tjänsts livscykel. Produkten eller tjänsten definieras som funktionell enhet och kan exempelvis utgöra 1 m^2 yttertak. Resultatet ger företaget möjlighet att rikta insatser där de gör som störst miljömässig nytta.
Moduler i LCA	Uppdelningen av de olika skedena under en produkts /tjänsts livscykel, som produktion av råmaterial och komponenter (moduler A1-A3), transport till byggplats (modul A4), byggnation (modul A5), drift och underhåll (moduler B1-B7) sluthantering (moduler C1-C4) och återvinningspotential (modul D).
Sociodukt	Sociodukt används för att beskriva en bro som kan överbygga sociala barriärer och sammanbinda olika sociokulturella alternativt socioekonomiska områden.

INNEHÅLL

1 SYFTE & MÅL 5
2 BAKGRUND 6
2.1 DISPOSITION AV RAPPORTEN 6
2.2 INLEDNING 6
2.3 BROAR AV TRÄ 7
2.4 CYKELVÄNLIG STAD 7
2.5 EKO-SOCIODUKTER 7
2.6 KLIMATANPASSNING 8
2.7 KLIMATPOSITIVT BYGGANDE 8
3 GENOMFÖRANDE 9
3.1 METOD 9
3.2 TIDPLAN 10
3.3 AVGRÄNSNINGAR 10
4 WORKSHOP 11
5 BROKONCEPT 12
5.1 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR TRÄBROAR 12
5.2 KORT OM KLIMATPÅVERKAN FRÅN BROAR 14
5.3 KLIMATREDUCERANDE ÅTGÄRDER FÖR TRÄBRO 15
5.4 KONSTRUKTIONSLÖSNINGAR FÖR TRÄBRO OCH REFERENSALTERNATIV 19
5.5 UPPSKATTAD KLIMATPÅVERKAN FÖR VALD KONSTRUKTIONSLÖSNING FÖR TRÄBRON 21
5.6 KLIMATREDUCERANDE ÅTGÄRDER OCH RESULTERANDE KLIMATPÅVERKAN FÖR VALD KONSTRUKTIONSLÖSNING FÖR TRÄBRON 27
6 UTVÄRDERING AV VÄXTLIGHET PÅ TRÄBROAR 33
6.1 VÄXTLIGHET PÅ BROAR 33
6.2 NULÄGESANALYS AV VÄXTLIGHET PÅ BROAR 33
6.3 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄXTLIGHET PÅ OCH I ANSLUTNING TILL TRÄBROAR 34
6.4 KONKRET VÄXTFÖRSLAG TILL KONCEPTBRO 38
6.5 BIOKOL I VÄXTBÄDDAR 39
7 KLIMATANPASSAD DRÄNERING FÖR TRÄBRO 40
7.1 VATTENRELATERADE FRÅGESTÄLLNINGAR 40
7.2 DAGENS DIMENSIONERINGSNORMER 40
8 BESKRIVNING KONCEPTBRO – SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT 43
9 DISKUSSION, SLUTSATSER OCH NÄSTA STEG 44
10 LITTERATURFÖRTECKNING 46
BILAGA A – LCA-DATA FÖR KLIMATPÅVERKAN AV MATERIAL SOM ANVÄNDS I KAPITEL 5.5 50

1 SYFTE & MÅL

Rapporten syftar till att utforska om och hur träkonstruktioner kan utgöra basen för infrastruktur-investeringar som ur ett livscykelperspektiv har en klimatpositiv nettoeffekt. Syftet är också att undersöka hur en träbro för gång-och cykeltrafik bör utformas för att ge förutsättningar för ett hållbart och tryggt resande, kunna möta framtida klimatförändringar och samtidigt utgöra en del av en grön stadsplanering. Detta nås genom att undersöka möjligheterna för växtlighet på och i anslutning till träbroar samt vilka konsekvenser det skapar både ur ett konstruktionsperspektiv och ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv.

Målet är att identifiera lösningar för att gång-och cykelträbroar genom hela sin livscykel ska ha en positiv klimatpåverkan samt att utreda förutsättningar för att skapa gröna vistelsemiljöer på träbroar, anpassade för att hantera dagvatten och klimatförändringar på bästa sätt. Inom målbilden ingår även att vidga föreställningarna om vad en traditionell bro är, hur den ser ut och fungerar.

Några frågeställningar som beaktats i projektet är bland annat:

1) Träbroar – Gång- och cykelbro
    - Hur ska materialval och byggprocessen inklusive transporter utformas så att träbron har en neutral eller positiv klimatpåverkan under byggnationens hela livslängd?
        - Finns möjligheten att montera in belysning i träbrons räcken för att minska materialåtgången?
        - Finns möjligheter att integrera solceller och/eller vindkraft i brokonstruktionen, i syfte att använda lokalproducerad förnybar energi till belysning och/eller uppvärmning av vägbanan?
    - Vilka konstruktionsrestriktioner finns och hur styr de val av typ av träbro?

2) Växtlighet
    - Växtlighet kan rena luften från koldioxid samt skapa en oas för rekreation i stads- och trafikmiljö för människor och djur. Utöver detta, finns det möjlighet att genom växtligheten bidra till den biologiska mångfalden?
    - Hur ska utformningen av bron ske så att framkomligheten för cyklister och gående är rationell och säker men att växtligheten inte enbart har en utsmyckande, utan också en reell funktion i form av koldioxidupptagare och mikrobiotop?
    - För växtligheten krävs växtbäddar, hur kan dessa utformas så att hänsyn tas till vikt utifrån brokonstruktionen?
    - Är det möjligt att göra någonting mer än så kallade växturnor på broar?

3) Klimatanpassning och dränering
    - Hur skall träbron med dess växtbäddar på bästa sätt utformas för att hantera dagens situation med avseende på områdena i-iv nedan samt den ökade frekvensen av dessa i och med fortsatta klimatförändringar?
        (i) Dagvatten?
        (ii) Skyfall/hundraårsregn?
        (iii) Torrperioder?
        (iv) Höga flöden?

2 BAKGRUND

2.1 Disposition av rapporten

Rapporten är uppdelad efter de olika områden som studerats. Kapitel 2 ger bakgrundsinformation om broar i trä, cykelinfrastruktur, eko-sociodukter samt klimatanpassning och klimatpositivt byggande. Kapitel 3 är en genomförandebeskrivning och kapitel 4 återger den workshop som hölls på första mötet med referensgruppen. Kapitel 5 till 7 återger de tre studerade delarna; 1) Träbrokonceptet och dess påverkan ur ett livscykelperspektiv, 2) Växtlighet på träbroar samt 3) Anpassning till vattenförhållanden på träbron. I kapitel 8 beskrivs konceptbron och resultaten sammanfattas. Kapitel 9 diskuterar slutsatser samt intressanta uppslag till fortsatta studier.

2.2 Inledning

Riksdagen har fattat beslut om ett klimatpolitiskt ramverk och en klimatlag för Sverige. Målet ska vara att Sverige senast 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. Efter det ska negativa utsläpp uppnås (Riksdagsskrivelse, 2017).

För att uppnå riksdagens mål krävs det transformativa lösningar. Det framgår av bland annat forskningsprogrammet Mistra Carbon Exit samt inom den statliga utredningen Goda affärer – en strategi för hållbar offentlig upphandling från 2013. Transformativa lösningar innebär till skillnad från små gradvisa inkrementella förbättringar att nya innovationer eller ändrade metoder (till exempel tekniksprång) används för att minska klimatbelastningen. Det handlar enligt Naturvårdsverket (2019) om lösningar som ger minst 80 procent bättre effekt än konventionella lösningar.

För närvarande kan ungefär 21% (motsvarande 21 miljoner ton koldioxidekvivalenter, fortsättningsvis benämnt CO_2e) av Sveriges klimatpåverkan härledas till bygg- och fastighetsbranschen enligt Boverket (2019) baserat på data från 2016. Införandet av transformativa lösningar har därför stor potential att kunna sänka klimatpåverkan drastiskt. Detta är särskilt viktigt för byggnader och anläggningar som har lång livslängd och där underhåll- och driftsskedena är beroende av hur det byggts. Under 2017–2018 genomförde Naturvårdsverket den branschgemensamma innovationstävlingen; ”Transformativ infrastruktur”, med målet att identifiera innovationer för att bygga infrastruktur helt klimatneutralt, där fokus låg på just broar. (Naturvårdsverket 2018)

Klimatpåverkan från produkter och tjänster blir allt mer uppmärksammat i samhället med skarpare krav på reduktionsåtgärder. Sverige har som mål att vara klimatneutralt till år 2045. Den största beställaren inom byggnation av infrastruktur, Trafikverket, har samma målsättning vid upphandling av infrastruktur och det är även troligt att andra beställare så som kommuner och privata aktörer allt mer kommer att följa detta.

Det innebär i praktiken att broar i Sverige kommer att behöva byggas klimatneutralt inom ett par årtionden. Trafikverkets etappmål för reduktion för anläggningar färdigställda efter år 2020, 2025, 2030, 2040 samt 2045 är 15%, 30%, 50%, 70% respektive 100%. För att följa upp detta mål använder sig Trafikverket av det webbaserade beräkningsverktyget Klimatkalkyl. Förenklade livscykelanalyser görs med verktyget och innefattar skedena från och med uttag av naturresurser för byggnation till och med drift. Avfallshantering ingår dock inte.

En möjlig transformativ lösning som utforskas i detta projekt är hur träkonstruktioner med integrerad växtlighet kan utgöra basen för infrastrukturinvesteringar som har en klimatpositiv nettoeffekt genom hela livslängden, dvs genom materialtillverkning, produktion, underhåll, drift, rivning och sluthantering. Trä som konstruktionsmaterial ger generellt sett en minskad klimatpåverkan, framförallt på grund av att energiåtgången under råvaruutvinning och bearbetning är relativt begränsad.

2.3 Broar av trä

Ur ett historiskt perspektiv byggdes många träbroar men i takt med teknikens och trafikens utveckling under senare delen av 1800-talet och under 1900-talet minskade träets betydelse som brobyggnadsmaterial (TräGuiden, 2019). Det ersattes först med stål och senare med betong. Utvecklingen av limträ under senare delen av 1900-talet innebar att större träbalkar kunde tillverkas, vilket medförde större spännvidder för balkbroar. I Kanada började en ny teknik att utvecklas på 1970-talet med tvärspända plattbroar av limträ. Denna teknik har gjort det möjligt att bygga broar av trä även för tung vägtrafik med samma slags asfaltbeläggningar som används på brobanor av betong. Numera byggs denna typ av tvärspända plattbroar i många länder världen över.

I de nordiska länderna genomfördes under 1990-talet en gemensam satsning på utveckling av träbrobyggandet och introduktion av tvärspända plattor. Vägverket (nu Trafikverket) införde som en del av denna satsning tekniska beskrivningar även för träbroar, på samma sätt som det funnits för konstruktioner av betong, stål eller aluminium (Trafikverket, 2019a).

Fortfarande byggs dock mycket få träbroar i Sverige. År 2016 byggdes 170 broar varav 10 i trä och 2017 byggdes 136 broar varav 9 i trä. Av det totala beståndet av vägbroar utgör träbroarna mindre än 1% (Woodnet, 2019). Anledningen till detta kan hittas i olika saker, till exempel att det tycks finnas en osäkerhet pga. brist på kunskap om trä som bärande konstruktionsmaterial inom infrastrukturlösningar, regelverkets utformning samt att det saknats rutiner kring underhållsåtgärder för träbroar.

2.4 Cykelvänlig stad

Sedan början av 1950-talet har bilen dominerat stadskärnorna, vilket har utformat gatubilden i städer som Stockholm och Köpenhamn. Gående och cyklister har fått den lilla del av vägkanten som är kvar när bilfilerna har fått sitt utrymme (Koglin, 2014). Köpenhamn har sedan dess gradvis lyckats utveckla sin infrastruktur till att bli mer cykelvänlig, men det skedde inte över en natt. Forskare har delat in utvecklingen under åren 1912–2013 i fyra perioder, benämnda som ”first cycling city”, ”car city”, ”liveable city” och ”liveable cycling city” (Agervig – Carstensen T, m fl., 2015). Om man blickar tillbaka till de svenska städerna så skulle alltså en infrastrukturplanering som syftar till en etappvis utbyggnad av cykelinfrastrukturen vara effektiv och rimlig om man vill följa exemplet från Köpenhamn och bli en livable cycling city.

Ett ökat cyklande inom städerna innebär stora samhällsekonomiska fördelar, bland annat minskade restider, lägre fordonskostnader, ökad trafiksäkerhet och förbättrade hälsoaspekter (Sveriges Kommuner och Landsting 2010), men för att nå dit så behöver också tillgängligheten för de cyklande öka (Gössling, 2015). Majoriteten av de svenska regionerna har politiskt satta mål för ökat cyklande (Trafikanalys, 2017). Ändå finns det en tröghet i utbyggnaden och satsningen på cykelinfrastrukturen. Att överbygga saknade kopplingar mellan områden i form av sociodukter kan tillföra länkar i vägnätet som innebär en ökad tillgänglighet och exklusivitet för cyklister och gående. Det kan vara ett effektivt sätt att bygga ut cykelvägnätet i en stad.

2.5 Eko-sociodukter

Begreppet sociodukt används för att beskriva en bro som kan överbygga sociala barriärer och sammanbinda olika sociokulturella alternativt socioekonomiska områden. I många städer kan en infrastrukturell barriär, till exempel en järnväg eller en motorväg, också innebära en social barriär. Det hindrar människor att enkelt ta sig mellan olika stadsdelar trots korta geografiska avstånd.

Till skillnad från en bro kan ofta en gångtunnel under en motorväg eller järnväg upplevas som otrygg, med dålig belysning och skadegörelse, vilket gör att många undviker att ta sig till andra sidan. Litzén (2006) menar att för att förstå individers och gruppers sårbarhet och relation till oro

för brott måste individen ses i hela sitt sociala livssammanhang och hänsyn bör tas till psykiska och fysiska faktorer, socioekonomisk tillhörighet, socialt nätverk, var man bor etcetera I trygghetsundersökningar utförda i Stockholm framkommer att framförallt kvinnor kan uppleva gångtunnlar och liknande platser som otrygga, vilket begränsar kvinnans frihet att röra sig i det offentliga rummet. Detta illustrerar vikten av att använda ett genusperspektiv på trygghethetsfrågor. (Litzén, 2006)

En ekodukt har, till skillnad från sociodukten ovan, som uppgift att sammanbinda ekosystemen på båda sidor, det vill säga en bro för växtlighet och djurliv och som införs för att uppnå en grön kontinuitet i landskapet. En eko-sociodukt karaktäriseras som en planskild passage för människor över väg som till skillnad från en konventionell gång- och cykelbro är bredare för att kunna rymma vegetation SLU (2013).

Den gröna vistelsemiljön kan bidra till ökad biologisk mångfald i städer. Inom infrastrukturprojekt anses biologisk mångfald vara en prioriterad fråga för framtiden och det pågår ett brett samarbete och samverkan mellan bland annat Trafikverket, Länsstyrelser och SLU i arbetet kring ersättningsbiotoper i anslutning till infrastruktur (Naturvårdsverket, 2010).

2.6 Klimatanpassning

I och med de förändringar i klimatet som väntas ske framöver kommer vi i Sverige få ett varmare klimat och en ökad nederbörd. De broar som konstrueras idag kommer att möta dessa förändringar, vilket kommer att ställa högre krav på klimatanpassade lösningar vad gäller bland annat omhändertagande av dagvatten. Bron behöver därför vara utformad utifrån denna dräneringsaspekt och avrinning måste ske effektivt, då trä är mer känsligt mot vatten än alternativa konstruktionsmaterial.

2.7 Klimatpositivt byggande

Inom SOU 2020:4 - Vägen till en klimatpositiv framtid, beskrivs att Sveriges mål om netto-noll utsläpp av växthusgaser år 2045 efterföljt av negativa nettoutsläpp, är mycket svåra att nå utan någon form av kompenserande åtgärder. Genom elektrifiering, energieffektivisering, utbyggnad av förnybar energiproduktion samt införande av CCS-teknik (främst inom industriprocesser som inte klarar sig utan fossila energikällor, exempelvis cementindustrin) etc, kan nära-nollnivåer av växthusgasutsläpp nås inom industri och transportsektor. Utsläpp som väntas kvarstå är metan- och luftgasutsläpp från till exempel förbränning av biobränslen, avloppsreningsverk och från jordbruket, motsvarande ca 15% av nuvarande totala utsläpp. De kompenserande åtgärder som nämns för att lyckas nå klimatpositivitet innefattar bland annat ökad kolinlagring i skog och mark (genom exempelvis beskogning och återvätning av dränerade våtmarker), bio-CCS samt kolinlagring inom biokol men även inom långvariga träkonstruktioner. Att lagra kol i marken i form av biokol nämns som en teknik med potential att kunna implementeras inom närmaste framtiden, medan utvecklande av CCS-teknik tar längre tid och innebär högre kostnader (SOU 2020:4, 2020).

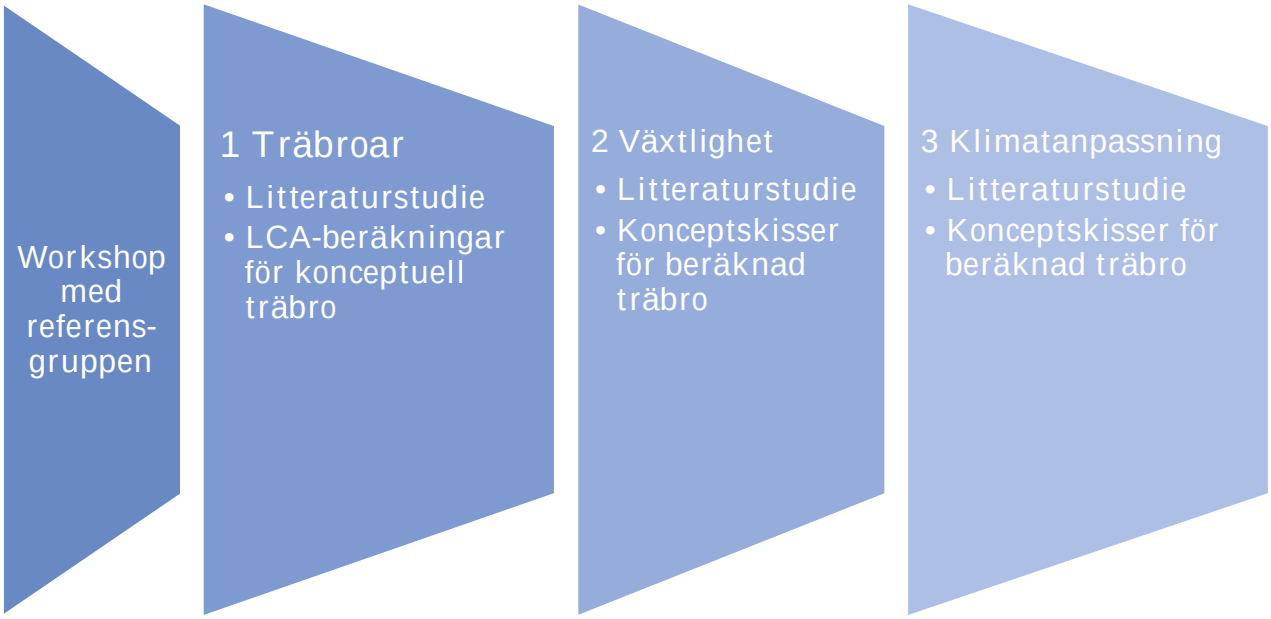
3 GENOMFÖRANDE

Genomförandet av projektet beskrivs genom dess metod och tidplan i kapitel 3.1 respektive kapitel 3.2 samt avgränsningar i kapitel 3.3.

3.1 Metod

För att uppfylla rapportens syfte ”att utforska om och hur träkonstruktioner kan utgöra basen för infrastrukturinvesteringar som ur ett livscykelperspektiv har en klimatpositiv nettoeffekt, samt att undersöka hur en träbro för gång-och cykeltrafik bör utformas för att ge förutsättningar för ett hållbart och tryggt resande och kunna möta framtida klimatförändringar och samtidigt utgöra en del av en grön stadsplanering”, har genomförandet av projektet resulterat i en stegvis process, som framgår i Figur 3-1.

En inledande workshop genomfördes med medlemmar ur referensgruppen samt arbetsgruppen, med fokus på insamling av tvärvetenskaplig kunskap avseende möjliga lösningar för att bygga klimatpositiva träbroar. Resultatet från workshopen har legat till grund för fortsatta litteraturstudier inom varje delområde, där ytliga undersökningar av lösningar gjorts inledningsvis, som sedan specificerats utefter att resultat för konceptbron kunnat presenteras. Växtlighet och klimatanpassning har därefter adderats, anpassade efter föreslagen lösning för gång-och cykelträbron.



Figur 3-1. Genomförandebeskrivning där områden och aktiviteter bygger på varandras utförande.

Klimatpåverkan från träkonstruktionen behöver belysas ur ett livscykelperspektiv, som i sin tur baseras på materialmängder och byggnadsteknik. Projektorganisationen har överenskommit att livscykelperspektivet skall beaktas med input från en befintlig EPD för ett framtaget brokoncept (stål och betongbro) vad gäller de delar som är lika för trä- respektive stål- och betongbro. För delar som skiljer dem åt inhämtas information från träleverantörer.

I föreliggande projekt sker också samordning med SBUF-projektet ”Biobaserade hybridbroar för cykelinfrastruktur”, SBUF id: 13652, som hanterar en snarlik frågeställning genom att:

- Projektmedlemmar har deltagit på uppstartsmöte för ”Biobaserade hybridbroar för cykelinfrastruktur”
- En av projektledarna inom ”Biobaserade hybridbroar för cykelinfrastruktur” är med i referensgruppen i detta projekt

3.2 Tidplan

I Tabell 3-1 visas projektets tidplan. Aktuella delmoment är markerade i grått i respektive månadsruta med start i augusti 2019.

Tabell 3-1: Tidplan för projektet med uppstart i augusti 2019 och avslut november 2020.

Tidplan	2019																
	Beviljade medel i maj 2019. Uppstart i augusti.																
Projektledning																	
Arbetsgruppsmöten	Mycket låg fart i projektet.																
Referensgruppsmöten																	
Workshop																	
Litteraturstudie																	
Rapportskrivning																	
Redovisning																	
Granskning																	

3.3 Avgränsningar

Inom livscykelanalysen som genomförts för cykelträbron har endast klimatpåverkan beaktats, övrig miljöpåverkan har inte varit aktuell att beräkna inom ramarna för detta projekt. Samtliga skeden (A1-A3[1], A4-A5[2], B1-B7[3], C1-C4[4] samt D[5]) har innefattats i analysen, i enighet med nya riktlinjer inom standarden EN 15804 (CEN, 2019).

Klimatpåverkan från grundläggning har inte tagits med i klimatberäkningen då det förekommer för stora skillnader i markförhållanden från plats till plats för att göra ett rimligt antagande. Detta bör tas hänsyn till vid tolkning av resultat samt vid fortsatt arbete. Vissa antaganden är baserade på konservativa medelvärden. De antaganden som gjorts kan innebära vissa osäkerheter, vilket även det bör tas höjd för vid tolkningen av resultatet.

Som referensalternativ används en EPD för en GC-bro i betong och stål. Klimatpåverkan för den är 97,6 kg fossil CO_2e per år och meter. Bron är dimensionerad för 80 år och 44,4 meter vilket innebär cirka 347 ton fossil CO_2e över dess livslängd. Det är dock viktigt att poängtera att broarna inte ska jämföras med varandra då de inte följer samma förutsättningar och inte är baserade på samma funktion. I detta fall är dessutom stål- och betongbron längre än träbron. En jämförande livscykelanalys som publiceras publikt kräver enligt ISO 14040 och ISO 14044 att rapporten ska granskas av en extern panel bestående av minst tre personer (EN ISO 2006, 2018). Detta är ofta ett mycket omfattande arbete som inte ingår i denna studie.

[1] A1-A3: Produktskede (Fritt översatt från EN 15804)
[2] A4-A5: Konstruktionsskede (Fritt översatt från EN 15804)
[3] B1-B7: Användarskede (Fritt översatt från EN 15804)
[4] C1-C4: Avfallsskede (Fritt översatt från EN 15804)
[5] D: Framtida potential från återvinning och återanvändning (Fritt översatt från EN 15804)

4 WORKSHOP

Den 17 oktober 2019 hölls en workshop med referensgruppens medlemmar i syfte att samla in tvärvetenskaplig kunskap avseende möjliga lösningar för att bygga klimatpositiva träbroar som verkar som sociodukter. Syftet kunde uppfyllas genom att personer med olika sorters kompentenser närvarade. De som deltog under mötet återfinns i Tabell 4.1.

Tabell 4.1. Workshopdeltagare på första referensgruppsmötet.

Från referensgruppen:	Från arbetsgruppen:
• Robert Jockwer	• Jacob Lindberg
• Håkan Larsson	• Frida Panzar
• Jens Karlsson	• Petra Brinkhoff
• Carson Warren	

Nedan redovisas en sammanfattning från det som framkom under workshopen avseende idéer om åtgärder för att uppnå klimatpositivitet.

Frågor och diskussion kring ytbeläggning av bron. Det som styr är att bron måste vara en säker passage för fotgängare och cyklister. Detta måste påverka själva utformningen av bron map

- ytbeläggning,
- ljus,
- värme eller annat som kan användas för att ytan inte skall vara halkig.

Det diskuterades vilka möjliga lösningar på ytbeläggning som finns.

- Asfalt – enligt Trafikverkets krav skall ytan beläggas med tätskiktsmatta och asfalt. Asfalt är inte optimalt ur klimatperspektiv.
- Galler som fästs på ytan vilket skulle göra ytan mindre halkig.
- Saltlösning är inte uppskattat av cyklister, hellre grus.
- Färg som idag finns på cykelbanor som är reflekterande och lite friktionshöjande.

Det fördes en diskussion om huruvida det är möjligt att inkludera sociala aspekter i rapporten. Visa på att byggandet och hur man bygger gång- och cykelbro har positiv inverkan på cyklandet. Diskussionen kring detta mynnade ut i att ett kort avsnitt om själva grunden till projektet skulle tas med även om det får vara avgränsat eftersom projektet i första hand fokuserar på en klimatpositiv GC-bro och inte GC-broars positiva inverkan på samhällen.

Diskussion kring Trafikverkets regelverk både med avseende på livslängd av träbro som är 80 år enligt regelverket och på ytbeläggning (se ovan) samt att träbroar inte får beläggas med jord. Mötet förstod dessa restriktioner men kom överens om att ändå titta på alternativa åtgärder som i dagsläget inte ryms inom regelverket.

Angående ytterligare åtgärder för att minska klimatbelastningen från bron diskuterades energiförsörjning på bron. Om det är möjligt att tillverka energi som kan lagras och sedan användas när den behövs för ljus och uppvärmning av broytan, vilket skulle kunna ge en positiv nettoeffekt under brons driftskede. Några förslag som diskuterades var:

- Värmeslingor med överskottsvärme från fjärrvärme
- Solceller
- Ljus som rör sig med de som tar sig över bron.
- Luftvärmepump med ackumulatortank som drivs med solceller.
- Biokol kan kanske användas i samband med växtlighet. Biokol fungerar renande för vattnet samt fungerar som en kolsänka. Dock behöver man titta på att det inte bara blir en tillfällig kolsänka.

5 BROKONCEPT

I detta kapitel undersöks hur en träbro kan utformas till att vara klimatneutral eller möjligen ”klimatpositiv” sammantaget under dess livscykel. Klimatpositiv innebär här motsatsen till negativ klimatpåverkan. Ett exempel på en åtgärd för att möjliggöra positiv klimatpåverkan är att fånga in och lagra koldioxid från luften.

Klimatpåverkan undersöks för hela brons livslängd, det vill säga materialtillverkning, produktion, underhåll, drift, rivning och återvinning. Konstruktionen ska klara de belastningar som krävs för att praktiskt kunna användas, bland annat tyngd från växtlighet, persontrafik och brons egenvikt.

5.1 Förutsättningar för träbroar

Delar av projektets arbetsgrupp har inom ramen för detta projekt deltagit vid en workshop inom det SBUF-finansierade projektet ”Biobaserad cykelinfrastruktur för urbana miljöer”. Flera av workshopens deltagare ställde sig generellt tveksamma till en brokonstruktion helt i trä. Istället förordades en hybridlösning där trämaterialet utgör merparten av konstruktionen och att resterande delar består av till exempel stål. Under workshopen nämndes några osäkerheter med trä utifrån ett konstruktions- och driftsperspektiv. Dessa ses som extra viktiga att beakta i konstruktionslösningen som föreslås i kapitel 5.4. Svårigheterna med trä som nämndes under workshopen var:

- Variabilitet i dess egenskaper som kan ge beständighetsproblem
- Problem med fukt, speciellt för broar över vatten
    - Fuktigt trä kan frysa och spricka
    - Risk för svampangrepp
- Risk för mycket underhåll
- Känslighet mot skador och vibrationer
- Brandrisk

Regelmässigt har förutsättningarna för träbroar funnits sedan ett par decennier tillbaka. På 1990-talet gjordes en nordisk satsning på träbrobyggandet med introduktion av tvärspända plattor. Dessutom införde Vägverket (numera Trafikverket), tekniska beskrivningar med krav på gång- och cykelbroar samt vägbroar i trä på samma sätt som för konstruktioner i betong, stål och aluminium. Dessa finns beskrivna i dokument för krav och råd för brobyggande och brounderhåll (Trafikverket, 2019a b, c, d).

Träbroar kan enligt Trafikverket byggas med en teknisk livslängd på antingen 40 eller 80 år (Svenskt trä., 2019). Livslängden beror bland annat på hur bron utformas, hur väl dess detaljer är konstruerade samt dess underhåll. Det viktigaste för lång livslängd är att träet hålls torrt. En lösning för detta kan vara att ha tak över bron. Om bron saknar tak måste den utformas så att den skyddas mot väder genom byggtekniska åtgärder där fokus är att undvika ansamling av vatten på bron (Trafikverket, 2019a). Enligt Trafikverket (2019a) ska brobaneplattor av trä ha en tätskiktsmatta. Dessutom ska fukthalt och temperatur kunna mätas i alla slutna utrymmen. Ytterligare ett krav är att vattentäta mellanlägg ska läggas mellan träytor som annars skulle ligga mot varandra där det riskerar att uppstå kapillär fuktvandring, exempelvis vid diagonaler i fackverk.

Enligt Trafikverket (2019a) krävs något typ av beläggning på vägbanan för gång- och cykelbroar. Enligt Träguiden, Svenskt Trä (2019) används vanligen beläggning av trä, grus eller asfalt. För att klara våt vägbana eller vinterförhållanden kan beläggningen ges cirka en centimeter djupa och breda spår med två centimeters mellanrum. Sandning gör då att väggreppet ökar. Träbeläggningen läggs med fördel tvärs färdriktningen, alternativt diagonalt där regnvatten kan rinna i spår om bron har lutning i längdled. Diagonal beläggning ger också tystare trafik. Det går att använda asfalt som

beläggning på träkonstruktionen om underlaget är tillräckligt stabilt för den avsedda trafiken. Samma sorts asfalt kan användas till träbroar som till andra broar.

Träet kan också behöva impregneras beroende på dess exponeringsklass, alternativt att det skyddas av ett tätskikt. För väg- eller marina miljöer gäller generellt att skydda mot röta och virkesförstörande insekter och svampar. Krav ställs också på att limträ[6] som utsätts för nederbörd eller solstrålning ska skyddas med pigmenterad ytbehandling. Virke som inte impregneras eller skyddas på annat sätt är mera utsatt för sprickbildningar. Från en statisk synpunkt saknar sprickorna betydelse men om de leder till att vatten tränger in i träet kan röta uppstå vilket försvagar träet (Svenskt Trä, 2019).

Grundläggning[7] och underbyggnad dimensioneras och anpassas efter markförhållanden och de laster som råder. Då träbron har en låg egenvikt blir de vertikala lasterna små men innebär att dimensionering för horisontella bromskrafter ställer krav på landfästena i underbyggnaden. Underbyggnaden består av landfästen och eventuella mellanstöd, vilka i huvudsak består av betong men kan också tillverkas av trä (trä får dock inte vara i kontakt med marken) (Svenskt Trä, 2019).

Det finns flera olika krav på brons räcken. För gång- och cykelbroar accepterar Trafikverket räcken av trä, där så kallade spjälräcken med vertikala spjälor är vanliga. Räcken för vägbroar ska vara av stål, betong eller aluminium eftersom de ska klara påkörningskrafter.

Det finns flertalet dimensionsmässiga krav enligt Trafikverket (2019a). Ett krav är att det ska finnas tvärband mellan huvudbalkar vid upplag när spännvidden är större än åtta meter. Vid val av tvärspänd broplatta utgör själva spännsystemet det tvärband som krävs.

Konstruktionsdelar i trä måste vara belägna minst 80 cm från närmaste markyta samt 50 cm över vattendrag. Trafikverket (2019a) föreskriver vidare att träbron ska dimensioneras enligt standarderna SS-EN 1995-1-1 och SS-EN 1995-2.

För underhåll gäller (för träbroar med teknisk livslängd på 80 år), att underhållsplanen ska omfatta (Trafikverket, 2019a):

- Förspänning och förankringsanordningar för denna
- Förband
- Tillåtna fuktkvoter i konstruktionen
- Träskyddets funktion och underhållsbehov
- Anvisningar för inspektion och underhåll av ytbehandlingen

Att täcka broar med tak är det mest effektiva konstruktionsmässiga träskyddet för broar, under förutsättning att bron utformas så att nederbörd inte kan komma åt den (Svenskt Trä, 2019).

En gång- och cykelväg kan följa en intilliggande väg eller vara friliggande med egen linjeföring. En dubbelriktad friliggande gång- och cykelväg med måttliga flöden bör vara 2,5 – 3,0 m bred. Om en cykelväg utgörs av ett regionalt cykelstråk avsett för arbetspendling med mål att öka andelen cyklister, bör bredden vara minst 3 meter. Utformning med kantsten, GCM stöd, ett stöd som avgränsar cykel- och gångstråk från vägar och gator, o.d. yl bör endast användas vid referenshastighet ≤ 80 km/tim och om vägen är försedd med vägbelysning. Om det i närheten av gång- och cykelvägen förekommer stup bör dessa förses med fallskydd om gång- och cykelvägen inte är försedd med räcke (Trafikverket, 2012).

[6] Limmat konstruktionsvirke
[7] Gränssnitt mellan underbyggnad och undergrund där laster från trafik och bro överförs till mark

5.2 Kort om klimatpåverkan från broar

Att använda trä i en bro beskrivs ofta som ett bra alternativ ur miljösynpunkt, men det finns inte mycket underlag där skillnaden mot traditionella material som stål och betong jämförts (Pousette et al, 2014). Ett alternativ är limträ där råmaterialen oftast är granvirke och syntetiskt lim.

Limträ är ett samlingsnamn för olika sorter av limmat konstruktionsvirke av trä, ett exempel är korslimmat trä. Klimatpåverkan för tillverkning av limträ varierar men utifrån en inventering av svensktillverkat limträ är klimatpåverkan från råmaterialuttag till produktion av limträ cirka 100 – 190 kg fossil CO_2e per ton, i genomsnitt ca 130 kg fossil CO_2e per ton baserat på miljövarudeklarationer från limträtillverkarna Setra Trävaror AB, Moelven Töreboda AB samt Martinsons AB. Limträ binder samtidigt cirka 690 kg biogen koldioxid per kubikmeter. Baserat på densiteten 416 kg/m^3 beräknas det per ton binda 1664 kg biogen koldioxid, vilket motsvarar cirka 45% kolinnehåll i träet (EPD Norge, 2015a, 2018, 2019).

Det finns också ett flertal miljövarudeklarationer framtagna för konstruktionsträ (alltså inte limträ). Två av dessa återfinns i EPD Norge (2015b; c), som redovisar genomsnittlig klimatpåverkan på 110 kg fossil CO_2e per tillverkat ton, från råmaterialuttag till produktion. Från miljövarudeklarationerna kan utläsas att 1580 kg biogen koldioxid binds i produkterna per ton, som ett genomsnitt.

Det finns få livscykelanalyser utförda där träbroar jämförs med konventionella broar av stål eller betong, varför det är svårt att ge några generella slutsatser kring den miljömässiga prestandan dem emellan. Jämförande studier bör användas eftersom det är svårt att jämföra broar som utvärderats i separata studier. Orsakerna är bland andra skillnader i platsspecifika förutsättningar, väderförhållanden, brolängd och bärighetskrav. För en jämförelse mellan träbroar och konventionella broar används i detta projekt en studie av Pousette et. al (2014) som utgångspunkt.

I Pousette et. al (2014) jämförs bland annat klimatpåverkan från en betongbro mot en träbro (med träplatta av oimpregnerad gran). Broarna anses likställda med avseende på funktion och beräkningarna görs för hela bron för dess beräknade livslängd på 80 år exklusive avfallshanteringen. Spännvidden på broarna är 15 meter och den fria brobredden är 7,5 m. Totalt användes cirka 11 cm asfalt i olika lager på broarna. Den totala klimatbelastningen var cirka 130 och 80 ton fossil CO_2e för betong- respektive träbron. För träbron var de två största bidragande posterna till klimatbelastningen tillverkningen av byggmaterialen (cirka 50 ton fossil CO_2e) och underhållet (cirka 25 ton fossil CO_2e). Övriga poster var transporter och byggaktiviteter (cirka 5 ton fossil CO_2e). De underhållsåtgärder som inkluderats var:

- Omspänning av stag
- Byte av asfalt
- Byte av isolering
- Byte av övergångskonstruktion
- Byte av räcke
- Byte av panel
- Ommålning av undersida broplatta

Byggnationen av träbron dominerandes av följande materialkategorier (ungefärlig klimatpåverkan i ton fossil CO_2e inom parentes):

- Stål (37)
- Asfalt (6)
- Limträ (4)
- Aluminium (2)
- Virke, färg, bitumen, gummi (<1 per material)

Det kan konstateras att betongbron hade en högre klimatpåverkan än träbron i Pousettes rapport. För träbron kommer den absoluta majoriteten av påverkan från andra material än just trä.

Om konstruktionen består av andra material än trä (till exempel betong och stål), krävs att dessa produceras med ett betydligt lägre klimatavtryck än vad som är fallet idag. Inom stål- och betongbranscherna i Sverige pågår arbete för kunna producera materialen klimatneutralt men det bedöms ta flera decennier innan det kan implementeras i stor skala (Svensk Betong, 2017; Jernkontoret, 2019). Även beläggningen i form av asfalt har en betydande påverkan. Det finns flera aspekter som asfaltbranschen arbetar med för att sänka klimatpåverkan, bland annat högre inblandning av återvunnen asfalt, användning av biobaserad energi vid tillverkning, tillverkning vid lägre temperaturer samt användning av biogent bitumen (från lignin) (NCC, 2020).

Generellt gäller att under brons hela livscykel använda material och energi som har en låg klimatpåverkan samt att arbeta resurseffektivt genom att minimera material- och energimängderna och på så sätt minska klimatavtrycket.

Enligt Trafikverkets krav och råd för brobyggande och underhåll (Trafikverket 2019a, b, c, d) finns det några konstruktionsdelar där trä inte bör ingå, främst pga. materialets känslighet mot fukt. Detta beskrivs delvis i föregående kapitel 5.1. Några exempel på konstruktionsdelar och material som utifrån olika förutsättningar måste eller bör vara i andra material än trä är:

- Grundläggningen; denna är mycket platsspecifik men tillåter stora delar av konstruktionen att vara i trä, dock får trä inte vara i kontakt med marken.
- Brobaneplatta i trä måste ha en tätskiktsmatta.
- Vattentäta mellanlägg behövs mellan träytor som annars ligger mot varandra.
- Impregneringsmaterial
- Pigmenterad ytbehandling.

5.3 Klimatreducerande åtgärder för träbro

I rapporten från Anläggningsforum (2020) som specifikt utreder klimatförbättrade åtgärder för infrastrukturprojekt anges ”alternativ konstruktion – träbro” som en övergripande åtgärd. I rapporten bedöms klimatbelastningen minska med cirka 25% jämfört med en konventionell bro i betong och stål. Det nämns även i rapporten att träbroar är speciellt lämpliga som GC-broar. Mera specifikt anges nedan några aspekter som kan beaktas för att minimera klimatpåverkan för träbroar.

Trä som kolsänka

Om klimatneutrala eller klimatpositiva lösningar eftersträvas behöver andelen trä i konstruktionen vara tämligen hög. Det behöver även undersökas i vilken grad en klimatpositiv effekt kan uppnås genom att kol binds i själva konstruktionen. För tillverkningen av de trämaterial som beskrivits tidigare i detta avsnitt antas klimatpåverkan till 130 kg och 110 kg CO_2e/ton limträ respektive konstruktionsträ. Dessutom anges att trä binder cirka 1664 och 1580 kg biogen koldioxid per ton limträ respektive konstruktionsträ. Sammantaget ger detta en klimatpositiv effekt om cirka 1500 kg CO_2e / ton trä. Frågan om det verkligen är rätt att räkna på det här sättet är dock diskutabel.

I livscykelanalyser för träprodukter antas ofta ett netto-noll-bidrag till klimatpåverkan när den koldioxid som tas upp av träet vid tillväxt sedan återgår till atmosfären vid förbränning i slutet av dess livscykel (Sveriges Byggindustrier, 2018). Förutsättningen är dock att skogsbruket sköts på ett sätt så att mängden nedhuggen skog inte är större än mängden återväxt av skog. I föreliggande rapport förutsätts att det trä som används har vuxit i Sverige som har en balans mellan nedhuggning och återväxt (Skogforsk, 2018).

Det finns flera viktiga aspekter och nyanser som gör frågan om trä som kolsänka problematisk. En av dessa är att den tidsmässiga aspekten av koldioxidens påverkan på klimatet är mycket komplicerad. Koldioxid som släpps ut i atmosfären har en mycket lång livslängd men dess effekt minskar med tiden. Givet detta tidsperspektiv kan det sägas att ett utsläpp idag och i framtiden har samma betydelse. Tidpunkten för utsläppet spelar dock roll sett ur ett kortare tidsperspektiv med tanke på risker för så kallade ”tipping points” som kan ge oåterkalleliga effekter på klimatet. Inlagring av kol kan på det sättet förskjuta dessa händelser (Sveriges Byggindustrier, 2018). Detta brukar benämnas som en ”timing-effekt” och är en form av diskontering av utsläpp. I Bergman (2012) anges att denna effekt kan beaktas ifall produkten lagrar kol i mer än 10 år. Det finns dock ingen vetenskaplig konsensus eller praxis för hur det ska hanteras. I standarden EN 15804 som används när livscykelanalyser för byggprodukter tas fram inom EU, står det att både tillfällig och permanent effekt av inlagring av biogent kol inte ska inkluderas vid beräkning av produktens klimatpåverkan (CEN, 2019):

> “The effect of temporary carbon storage and delayed emissions, i.e. the discounting of emissions and removals, shall not be included in the calculation of the GWP. The effect of permanent biogenic carbon storage shall also not be included in the calculation of the GWP.”

I EPD Internationals produktspecifika regler för livscykelanalyser av byggprodukter (2019a), står dock, i motsats till ovan, att kol som lagras mer än 100 år i en produkt ska antas vara permanent bundet:

> “Where some or all removed carbon will not be emitted to the atmosphere within the 100-year assessment period, the portion of carbon not emitted to the atmosphere during that period shall be treated as stored carbon.”

PAS 2050, som är en engelsk standard för att beräkna växthusgasutsläpp från produkter, använder en viktningsfaktor för biogen kolinlagring. Denna innebär att tillfällig kolinlagring är en fördel gällande växthusgasutsläpp och att inlagring över 100 år ses som permanent (BSI, 2011).

Slutsatsen av ovanstående är att det kan finnas möjlighet att betrakta trä i bron som en kolsänka. Mycket stor försiktighet bör dock iakttas vid ett sådant antagande, vilket det finns flera anledningar till. Några av dessa är:

- Generellt kan resultatet av klimatberäkningen påverkas starkt och en felaktig bild kan ges. Till exempel är tidshorisonten för ett sådant antagande långt och det är svårt att säga huruvida det inlagrade kolet behålls intakt under hela denna tid.
- Enligt Trafikverkets föreskrifter är den maximala tekniska livslängden som dimensioneras 80 år, vilket inte uppfyller 100 års inlagring i produkten.
- En del av trämaterialet i bron kommer att behöva bytas ut vid reparationer även om konstruktionen håller i mer än 100 år. Mängden av detta trä är svår att förutse exakt.
- Kolinlagring i trä innebär att koldioxid i närtid tas upp i en biogen källa (dvs. ett förnybart material), vilket inte ska förväxlas med koldioxid som för årmiljoner sedan togs upp i en fossil källa (dvs. ett icke-förnyelsebart material).

Växtlighet som kolsänka

Ett liknande resonemang som för trä gäller för den växtlighet som anordnas på bron. Växter tar tillfälligt upp koldioxid som lagras som kol och släpps ut som koldioxid igen när växterna dör och bryts ned eller förbränns. Resonemanget är även här att det är mycket tveksamt om enskilda växter står i 100 år. Däremot har en hel växtbädd lång livslängd med ett mer eller mindre konstant inne-

håll av växter. Enligt Ma et al (2017) varierar kolinnehållet i växter beroende på växtsort men är ungefär lika stort som för limträ, det vill säga 45%, vilket också antas inom denna rapport.

Biokol som kolsänka

En åtgärd för att öka kolinlagringen ytterligare är att blanda biokol i odlingsjorden. Biokol framställs genom pyrolys av biologiskt material. Pyrolysen innebär upphettning i syrefattig miljö till 300-1000 °C. Vanligen används växtdelar eller träflis som i vanliga fall gått direkt till förbränning (energiutvinning). Under pyrolysen blir ca 50% av råvarans kolinnehåll bevarat i biokolen i stabila kolföreningar. Resterande del kol blir till pyrolysgas som vanligen förbränns för att inte utgöra en miljörisk. Värmen som alstras från förbränningen värmer pyrolysen och restvärmen från processen kan utnyttjas som fjärrvärme. Koldioxidutsläppen från pyrolysen kan därav tillskrivas till den resurs som använts alternativt fjärrvärmen som producerats.

Beroende på pyrolysprocess och råvara får biokolen olika kolhalt, därav kan inga generella data kan antas utan varje tillverkare behöver testa sitt biokol i analys. Biokolen bryts inte ner såsom mull eller annat organiskt material utan håller kolpartiklarna mer eller mindre intakta i jorden i hundratals till tusentals år (Malmberg, J., Hellmann, J., & Bergquist, L. 2019). (Malmberg, 2019).

Studier har visat att den totala kolinlagringen inom växtsystemet blir större än enbart den från tillsatsen av biokol. Det sker genom ökad tillväxt hos växterna ovan jord, men även genom ett mer utvecklat rotsystem samt ökat mikroliv under jord (Schmidt, 2018). Detta är dock beroende av flera yttre förutsättningar som inte enkelt kan bedömas och således inget som det tas hänsyn till inom denna studie.

Biokol klassas av FN som en bestående kolsänka (SOU 2020:4), men för att få tillgodoräkna sig denna behöver biokolen lämnas intakt i minst 100 år även i detta fall. Vid användning av biokol i växtbäddar på bjälklag spelar sluthanteringen därför en viktig roll, då växtbäddskonstruktionen i sig rimligtvis inte håller så länge. Kan återanvändning som fyllnadsmassor garanteras så innebär det att koldioxiden binds i marken även fortsättningsvis, men förbränns den så återgår kolet till atmosfären.

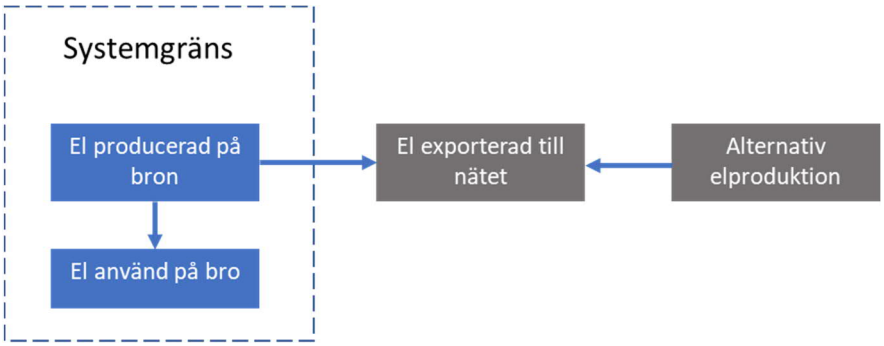
Energiförsörjning av bron

En annan aspekt att undersöka är om utrustning som genererar elektricitet och/eller värme kan installeras på eller i anslutning till bron. Denna energi kan då antingen användas till bron och/eller exporteras till nätet. Om den används till bron, belastas bron för klimatpåverkan för tillverkningen, driften och avfallshanteringen av utrustningen som genererar energin. Samtidigt behöver inte bron använda energi som produceras någon annan stans. Frågeställningen blir då ifall klimatpåverkan för en intern generering av energi är lägre än en extern generering. Samtidigt behöver frågor som säkrad tillgång på energi beaktas om energin produceras på bron.

Det finns flera tekniskt gångbara lösningar för förnybar energi, som till exempel energi från sol, vind, vatten eller vågor. Ett hinder med dessa är att de är intermittenta vilket innebär att energin endast kan användas när den genereras. En gång- och cykelbro behöver främst belysas under kvälls- eller nattetid även om det till exempel inte blåser då. Därmed blir systemet beroende av en fördröjande kapacitet för energin. Det bör dock kunna antas att detta kan lösas genom att till exempel installera solcellslampor med integrerade batterier. Tillverkningen, underhåll och byte av denna utrustning är dock också något som orsakar klimatpåverkan för bron.

Om energin kan exporteras till nätet behöver en metodmässigt viktig aspekt utredas. När energi tillverkad på bron exporteras till nätet innebär det att samma mängd energi inte behöver tillverkas någon annanstans. Det innebär i praktiken att energin tillverkad från bron kan ges en omvänd klimatbelastning. Ett sådant beräkningsförfarande är dock inte tillåtet vid livscykelanalyser för

miljövarudeklarationer som registreras hos EPD International (EPD, 2019a) eller utförda enligt EN 15804 (CEN, 2019). Detta är dock ingen lag enligt livscykelanalys generellt, men ifall beräkningarna ska vara trovärdiga utifrån hur miljövarudeklarationer görs, bör denna regel följas. Att använda denna omvända klimatbelastning är dock möjlig i livscykelanalyser och kallas systemexpansion. I detta fall utökas systemet till att även innefatta en alternativ energiproduktion som inte längre behövs, därav en omvänd klimatpåverkan för vårt system, se illustration i Figur 5-1.



Figur 5-1: Illustration av systemexpansion då energi (el) produceras på bron (©Jacob Lindberg).

Den alternativa energikällan ska dock vara representativ för och motsvara energikällan som bron hade fått sin energi av om den inte producerats på bron. I praktiken innebär det i de fall det är värme, fjärrvärme från det lokala nätet och i de fall det är elektricitet, den som annars hade köpts till bron. För att förenkla kan värmen antas vara producerad från genomsnittlig svensk fjärrvärme och elektriciteten från genomsnittlig svensk elektricitetsmix. För fjärrvärme är klimatpåverkan cirka 70 gram fossil CO_2e per kWh enligt Energiföretagen (2019) och för elektricitet är den 97 gram fossil CO_2e per kWh enligt Klimatkalkyl version 6.1 (Trafikverket, 2020).

Material- och energiåtervinning

En annan aspekt är återvinning vid avfallshanteringen. Potentiellt innebär återvinning att motsvarande material- eller energiresurs inte behöver produceras för en framtida produkt. Detta kan därmed ge en reducerad klimatpåverkan för den framtida produkten. På samma sätt som för energi som exporteras är detta inte tillåtet att tillgodoräkna sig i den egna produktens livscykel enligt EPD International. Det är dock tillåtet att presentera detta separat men siffran får inte summeras med övriga poster.

Karbonatisering av betong

Betong som används i konstruktionen kan ta upp koldioxid från atmosfären under livslängden genom en process som kallas karbonatisering. Det finns flera parametrar som avgör i vilken utsträckning koldioxid kan fångas upp och lagras som till exempel: kvalitet av betongen, yta som blir exponerad och hur länge betongen exponeras.

Att använda betong från jungfruliga källor och låta den ta upp koldioxid genom karbonatisering innebär fortfarande en netto-negativ klimatpåverkan eftersom upptaget av koldioxid under livslängden är så pass litet i jämförelse med utsläppet vid tillverkningen. Att däremot använda återvunnen betong med stor exponeringsyta, till exempel krossad betong, bör kunna bidra till en påvisbar reducerad klimatpåverkan för bron. Funktionsmässigt är det dock tveksamt om det finns någon lämplig användning för krossad betong i bron.

Använda återvunnet eller återanvända material

Som beskrivits för krossad betong kan klimatpåverkan potentiellt reduceras ifall återvunnet eller återanvänt material används istället för jungfruligt material. De material som används i brokon-

struktionen inventeras därför utifrån om de finns att tillgå som återvunna sådana och om användning av dem kan reducera klimatpåverkan för bron.

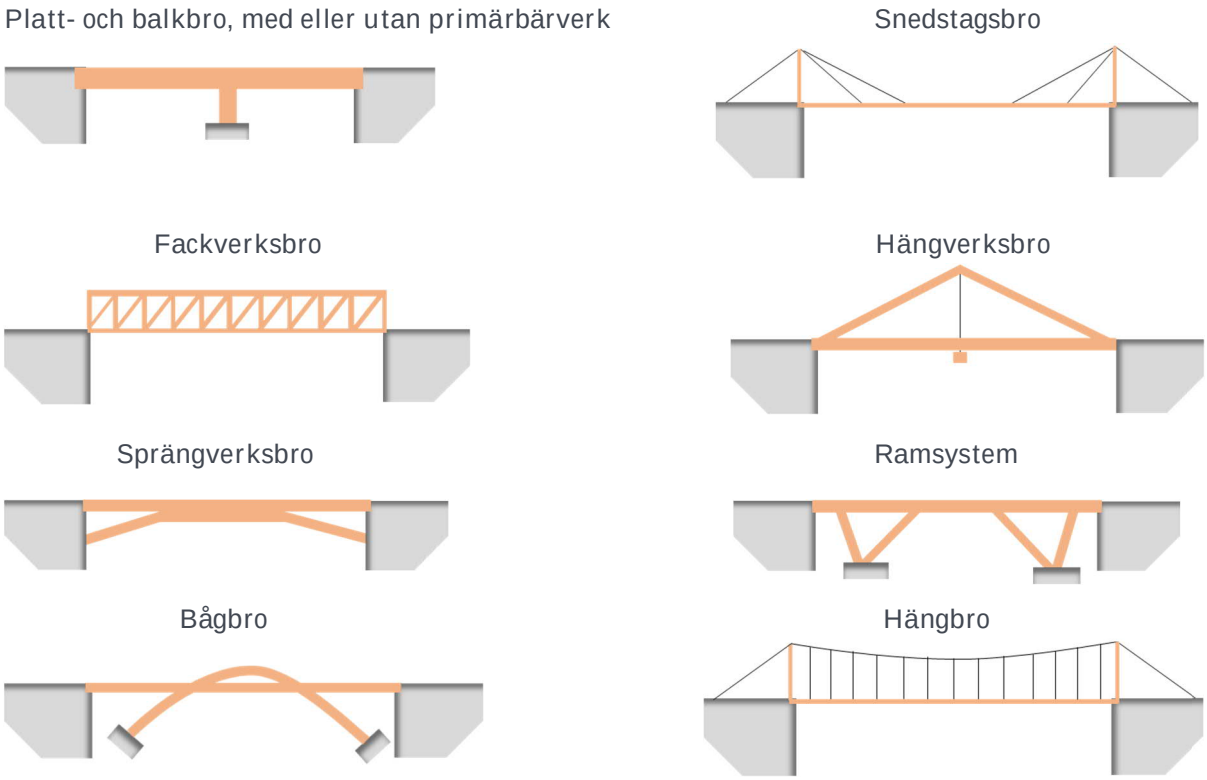
Använda förnybara naturresurser och restprodukter som material eller energi

En självklar aspekt för att minska klimatpåverkan är att använda förnybara naturresurser som material och energi. Dessutom kan klimatpåverkan minska om restprodukter från andra produktionskedjor används. Exempel på detta kan vara att använda drivmedel med en hög andel förnybart innehåll eller betong där masugnsslagg, en restprodukt från stålindustrin blandats in och delvis ersatt cement.

Som tidigare nämnts finns det goda förhoppningar om att byggmaterial i framtiden kommer kunna tillverkas med en lägre klimatpåverkan (till exempel stål och betong). Denna studie tar dock inte detta i beaktning utan utgår från dagens industriellt möjliga teknik.

5.4 Konstruktionslösningar för träbro och referensalternativ

Det finns många möjliga konstruktionslösningar för träbroar enligt Svenskt Trä (2019), och de kan byggas både som gång- och cykelbroar och som vägbroar. Några exempel visas schematiskt nedan.

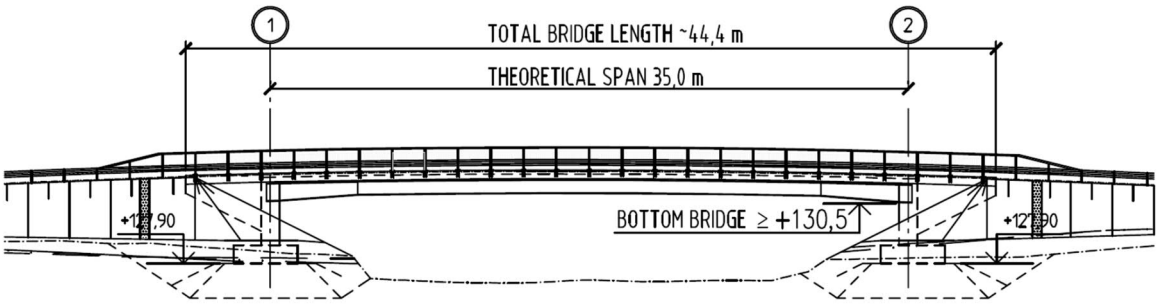


Figur 5-2: Schematisk beskrivning av olika träbrokonstruktioner (illustrationer efter Svenskt Trä, 2019)

Svenskt Trä (2019) ger också förslag på rörliga broar och broar med tak.

Som referensalternativ valdes en gång- och cykelbro för vilken en miljövarudeklaration tidigare tagits fram. Den är utformad konventionellt i stål och betong och är en samverkansbro med balkar av NCC. Miljövarudeklarationen är publicerad hos EPD International (EPD International, 2015). Denna bro anses utgöra en god referens för en konventionellt byggd gång- och cykelbro av stål och betong. Bron är byggd över Viskan utanför Borås och är 44,4 meter lång, 5 meter bred och har ett spann på 35 meter. Bron består av en struktur av stålbalkar som stödjer en betongplatta. Broytan är

belagd med asfalt. Ingen belysning eller annan elektrisk utrustning är installerad på bron. Den tekniska livslängden är 80 år. En ritning av referensalternativet ges i Figur 5-3.



Figur 5-3. Konstruktionsritning av referensalternativet

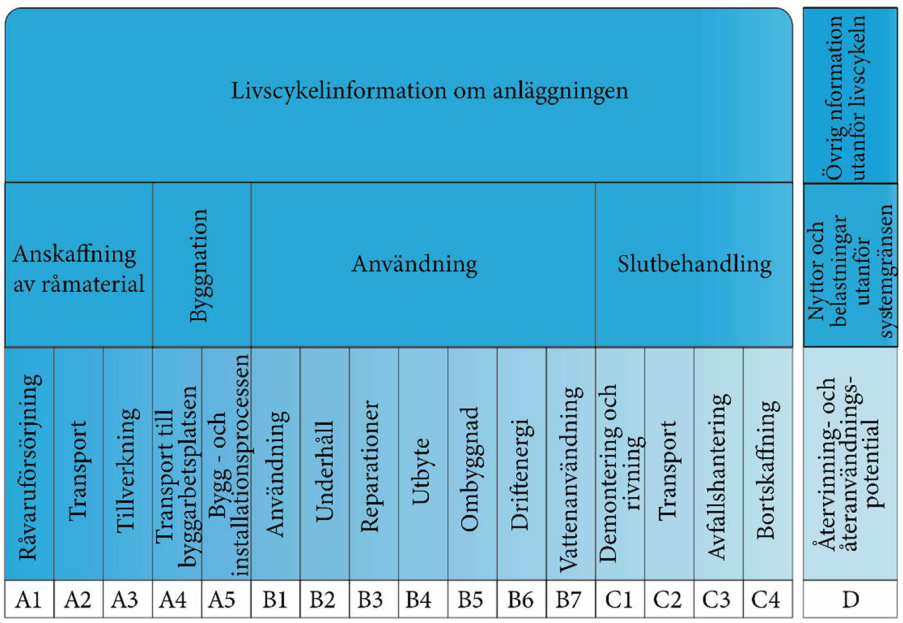
Vald konstruktionslösning för konceptbro

Den valda konstruktionslösningen för träbron är 22 m lång och 5 meter bred, för att ge plats åt gång-och cykelbanor samt en längsgående växtbädd. Det är en tvärspänd plattbro där både limträ och konstruktionsträ används för huvudparten av bron. Den tekniska livslängden för konstruktionen är enligt leverantörer för träbroelementen 80 år. Det har diskuterats huruvida landfästena på vardera sidan om bron kan tillverkas i trä eller inte. Det som talar emot är främst dess beständighet (den skulle ruttna innan brons livslängd uppnåtts) samt de laster den utsätts för (vid skottning, sopning eller för utryckningsfordon). Utfyllnadsmaterial såsom sten och jord tas inte med i beräkningarna på grund av osäkerheter då det kräver mycket platsspecifik information. Broytan är belagd med asfalt. Belysning är installerad på bron. Information om de mängder material som används för bron återfinns i nästkommande avsnitt. Typexempel på konceptbron exkl. växtbäddar visas i Figur 5-4.

Figur 5-4. Typexempel konceptbro, inkl. träräcke och exkl. växtbädd (Illustration: Martinsons, Träbroguiden 2015)

5.5 Uppskattad klimatpåverkan för vald konstruktionslösning för träbron

Ett vanligt tillvägagångsätt för livscykelanalys av olika typer av byggnadsverk är att följa en standard benämnd EN 15804 (CEN, 2019). I den anges vilka delar (benämnt moduler i EN 15804) av livscykeln som kan inkluderas. En översikt för detta ges i Figur 5-5.



Figur 5-5. Moduler enligt EN 15804 (CEN, 2019).

För att livscykelanalysen ska vara heltäckande behöver samtliga moduler i ovan figur inkluderas. För EPDn som används som referens i denna studie inkluderas samtliga moduler förutom C1. För vald brolösning är ambitionen att så långt som möjligt inkludera samtliga moduler. Fokus kommer dock att vara på A1-A3 då störst klimatpåverkan bedöms ske där. Generellt kommer de data som presenteras i denna rapport att väljas konservativt. Detta för att undvika att ett för lågt resultat erhålls. Tabell 5-1 ger en övergripande beskrivning av samtliga moduler och vad de innebär för brokonstruktionen.

Tabell 5-1. Beskrivning av modulerna (livscykelstegen) i EN 15804 (CEN, 2019).

Modul	Beskrivning	Modul	Beskrivning
A1	Utvinning av råmaterial till bron: trä, stål mm	B6	Energianvändning för bron
A2	Transporter av råmaterial för produktion av komponenter till bron.	B7	Vattenanvändning för bron (bedöms ej relevant då klimatpåverkan studeras)
A3	Tillverkning av komponenter till bron, till exempel räcken.	C1	Rivning av bron
A4	Transport av komponenter till bron till den geografiska platsen för bron.	C2	Transport av material som rivs till avfallshantering
A5	Byggnation av bron	C3	Material- eller energiåtervinning
B1	Användning av bron	C4	Deponi
B2	Underhållsåtgärder för bron	D	Framtida potential från återvinning och återanvändning[8]
B3	Reparationer av bron		
B4	Byte av delar till bron		
B5	Ombyggnad av bron		

[8] Modul D ska ses som tilläggsinformation och ska inte summeras i det slutgiltiga resultatet.

Nedan beräknas klimatpåverkan för träbron för varje modul. Detta görs i två steg. I steg 1 beräknas allt som har en klimatpåverkan. I steg 2 analyseras de åtgärder som bedöms kunna ge en klimatreducerande effekt. Samtliga beräkningar ska ses som översiktliga och gör inte anspråk på att vara exakta. När klimatberäkningen görs i steg 1 används generellt genomsnittliga data vad gäller klimatpåverkan av material och energi. Detta för att kunna undersöka potentialen av åtgärder i steg 2.

En viktig aspekt att beakta är tidsperspektivet. Bron antas stå 80 år och då är det mycket troligt att det finns andra tekniker för avfallshantering, det vill säga rivning, transport av rivningsmaterial och avfallshantering. Dessutom är potentialen för reduktion av klimatpåverkan från återvinning då antagligen lägre än den är idag, eftersom material troligen produceras med lägre klimatavtryck i framtiden. I standarden EN 15804 framgår dock tydligt att man ska utgå från befintliga tekniker i beräkningarna (CEN, 2019).

A1-A3 (Utvinning av material, transport från utvinning till produktion samt tillverkning av komponenter för bron):

Modulerna A1-A3 är vanligt att redovisa sammanräknat. För träbron visas de material, mängder som används för bron (exklusive grundläggning och schaktmassor) i Tabell 5-2. Dessutom visas valda emissionsfaktorer, materialens klimatpåverkan samt dess andel av total klimatpåverkan. Källor till emissionsfaktorerna visas i Bilaga A.

Tabell 5-2. Använda material till träbro exklusive grundläggning och schaktmassor, modul A1-A3

Material	Mängd (ton)	Emissionsfaktor (ton fossil CO2e/ton)	Klimatpåverkan (ton fossil CO_2e)	Andel av total klimatpåverkan (%)
Betong	84,9	0,16	13,6	44
Armeringsstål	4,6	1,03	4,7	15
Limträ	35,9	0,13	4,6	15
Polymermodifierad bitumen	8,3	0,4	3,1	10
Aluminium	0,2	8,4	2,0	6
Rostfritt stål	0,3	4,5	1,3	4
Stål	0,4	1,5	0,6	2
Slitlager asfalt	7,9	0,044	0,3	1
Akrylatfärg	0,2	1,1	0,2	<1
Konstruktionsträ	1,4	0,11	0,2	<1
Gummi	<0,1	2,7	0,1	<1
Trä, växtbädd	0,8	0,11	0,1	<1
Substrat[9], växtbädd	12,1	0,00376	0,04	<1
SBS-modifierad bitumen	<0,01	0,04	<0,01	<1
Polystyren	<0,01	3,4	<0,01	<1
Asfaltsprimer	<0,01	1,1	<0,01	<1
Impregneringsfärg	<0,01	1,1	<0,01	<1
Totalt	157,1	-	30,9	100

Klimatpåverkan för träbron (A1-A3) är 30,9 ton fossil CO_2e vilket motsvarar 17,6 kg fossil CO_2e per meter bro och år (22 meter lång bro över 80 år).

[9] Normalt är detta tegelkross, pimpsten, scoria, biokol och leca.

A4 (Transport av komponenter för bron):

För denna modul behöver flera antaganden göras om ursprunget av materialet. Det antas att fyra olika transportavstånd kan väljas; 5 km, 50 km, 500 km och 1000 km. Förenkling sker också genom att anta att enbart lastbil används som transportmedel. Emissionsfaktorn från Trafikverkets Klimatkalkyl används; 0,106 kg fossil CO_2e per ton-km. I Tabell 5-3 visas antagen sträcka och transporterad mängd för varje material samt den resulterande klimatbelastningen av transporten.

Tabell 5-3. Transportdata för modul A4

Material	Vikt (ton)	Transportsträcka (km)	Klimatpåverkan (ton fossil CO_2e)
Substrat till växtbädd	12,1	5	<0,1
Limträ, konstruktionsträ, trä till växtbädd, slitlager asfalt	46,0	50	0,2
Gummi, SBS-modifierad bitumen, polystyren, akrylatfärg, impregneringsfärg, armeringsstål, asfaltsprimer, polymermodifierad bitumen, betong	98,1	500	5,2
Stål, rostfritt stål, aluminium	0,9	1000	0,1
Totalt	157,1	-	5,5

Klimatpåverkan för modul A4 blir därmed 5,5 ton fossil CO_2e vilket motsvarar 3,2 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

A5 (Byggnation av bron):

Den tilltänkta träbrokonstruktionen prefabriceras vanligen och tillverkning i fabrik innebär större möjligheter använda förnybara energikällor, bidraget av fossila utsläpp antas därför vara försumbart. Prefabricering innebär kortare monteringstid och mindre energiåtgång på byggarbetsplatsen (TräGuiden, 2015). Resursåtgången i denna modul har inte kunnat bedömas för den specifika bron för studien. Data från Hussein och Shaswar (2011) har använts för att kunna göra en ungefärlig uppskattning. Där genomfördes en LCA för en träbro med liknande dimensioner som föreslagen träbro. I Hussein och Shaswar (2011) användes mobilkranar med en total dieselförbrukning på 325 liter. Med emissionsfaktorn för diesel som enligt Bilaga A är 2,88 kg fossil CO_2e per liter blir klimatpåverkan 0,9 ton fossil CO_2e. (Grundläggning ej medräknad)

Klimatpåverkan för modul A5 är 0,9 ton fossil CO_2e vilket motsvarar 0,5 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

B1 (Användning av bron):

Användningen av bron bedöms inte ge upphov till några utsläpp av klimatgaser. Samma antagande görs i referensbron. Utsläpp som sker på grund av att motordrivna- eller eldrivna fordon tar sig över bron inkluderas inte i studien. Detta benämns i CEN (2017a) som modul B8.

Här ingår däremot karbonatisering av den betong som används för bron. Samma antaganden har använts som för referensbron vilket motsvarar cirka 14,2 kg fossil CO_2e per ton betong under dess livslängd. Eftersom bron består av 84,9 ton betong (via grundläggningen) blir klimatbelastningen –1,2 ton fossil CO_2e, vilket motsvarar -0,7 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

B2 (Underhållsåtgärder för bron):

Denna del utgår från bedömningar som gjorts i samråd med brotillverkaren. Underhållsplanen som tas fram av brotillverkaren ligger till grund för de underhållsåtgärder som behövs under dess livslängd. I denna står i huvudsak vilka inspektioner som ska göras och hur bron ska underhållas för

att nå teknisk livslängd. Platsspecifika förutsättningar påverkar i mycket hög grad vilka underhållsåtgärder som behövs och hur ofta de behöver vidtas.

En stor och viktig del av underhållet rör ytbehandling (målning) som görs för att minska fuktutbytet mellan trä och omgivningen samt för att ge bron ett estetiskt utseende. För denna beräkning antas att ommålning sker vart 10:e år. Detta innebär 7 ommålningar under dess tekniska livslängd som är 80 år. Det antas att samma beläggning används som när bron ursprungligen målades. Då 165 kg används vid ett tillfälle, används 1155 kg färg totalt. Emissionsfaktorn för färgen som används är 1,1 kg fossil CO_2e per kg (enligt Tabell 5-2). Det ger totalt 1,3 ton fossil CO_2e. Avståndet som färgen transporteras antas vara samma som antas i Tabell 5-3, 50 km. Det ger ytterligare cirka 6 kg fossil CO_2e i belastning.

Klimatpåverkan för modul B2 är därmed 1,3 ton fossil CO_2e vilket motsvarar 0,7 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

B3 (Reparationer av bron):

Omfattningen av reparationer antas vara försumbart.

B4 (Byte av delar till bron):

Det finns inget officiellt dokument som anger när olika delar ska bytas ut. Bedömningar av detta har gjorts i samråd med brotillverkare. Det bedöms att grundkonstruktionen och de bärande delarna i normalfallet inte behöver bytas ut under dess livslängd. Däremot antas övriga delar bytas ut en gång. I Tabell 5-4 anges mängder av de material som ingår i de konstruktionsdelar som behöver bytas ut samt deras emissionsfaktor och den resulterande klimatpåverkan.

Tabell 5-4. Information om byte av delar för modul B4.

Material	Vikt (ton)	Emissionsfaktor (ton fossil CO_2e/ton)	Klimatpåverkan (ton fossil CO_2e)
Limträ	0,5	0,13	0,1
Konstruktionsträ	1,4	0,11	0,2
Trä, växtbädd	0,8	0,11	
Stål	0,02	1,5	0,03
Polymermodifierad bitumen	8,3	0,4	3,3
Slitlager asfalt	7,9	0,044	0,3
Totalt	18,1	-	4,0

I samband med att dessa material byts ut behöver de installeras på bron, vilket kräver energiresurser. Dessa försummas dock då de bedöms vara av marginell betydelse. Motsvarande mängder behöver också fraktas till bron samt bort för avfallshantering. För transport av material till bron görs samma antaganden som i Tabell 5-2 och för transport till avfallshantering antas ett avstånd om 50 km. Detta ger totalt 0,6 ton fossil CO_2e. Total klimatpåverkan för modul B4 blir därmed 4,6 ton fossil CO_2e vilket motsvarar 2,6 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

B5 (Ombyggnad av bron):

Ombyggnad av bron antas inte genomföras under brons livslängd.

B6 (Energianvändning för bron):

I referensalternativet sker ingen energitillförsel till bron. Ett grundkrav för träbron är dock att den ska vara belyst. Det är främst för att möjliggöra för trafikanterna att se bland annat vägytan och andra trafikanter men också för att skapa en känsla av trygghet. Enligt Trafikverket (2014) är

nyttan med belysning av gång- och cykelbanor i många fall större än för vägar för motortrafik. Det uppmuntrar även till ökad cykel- och gångtrafik.

I Trafikverket (2014) rekommenderas låga stolpar, cirka 4-6 meter höga, men det finns också exempel på belysning som är infälld i till exempel broräcken. För att minimera materialåtgången väljs för träbron det sistnämnda alternativet. Utformning av belysningen beror helt på platsspecifika förhållanden och eftersom platsen för träbron inte är fastställd görs enbart en bedömning av det strålningsflöde som behövs. För att få jämn belysning antas ljuskällor placeras på båda sidorna av bron.

Enligt Anläggningsforum (2020) består 90% av belysningsanläggningarna idag av högtrycksnatrium. Det står också att 90% av miljöpåverkan av belysningsanläggningar kommer från energiåtgången under användningsfasen. Vidare anges att en genomsnittlig belysningspunkt med konventionell teknik har en medeleffekt på 115 W och en genomsnittlig brinntid på 11 h/dag. För träbron är det troligtvis rimligt med en lägre effekt. Ovan data används dock här som ett konservativt antagande. Dessutom väljs tre belysningspunkter på vardera sida om bron. Emissionsfaktorn för elektricitet är i Klimatkalkyl 97 g fossil CO_2e per kWh.

För hela brons livslängd på 80 år blir därför klimatpåverkan 21,5 ton fossil CO_2e, vilket motsvarar 12,2 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

C1 (Rivning av bron):

Denna modul är inte med i referensalternativet. Det har också varit mycket svårt att bedöma detta skede och hitta tillförlitliga data, dels på grund av att hantering under avfallshantering hittills ej varit obligatoriskt att redovisa i miljövarudeklarationer för byggprodukter. Denna modul innehåller därför störst osäkerheter i livscykelanalysen.

Ett konservativt antagande görs att all betong som används i konstruktionen vattenbilas bort. Detta är en metod där betong utsätts för vatten med högt tryck, vilket kan liknas vid en högtryckstvätt. Utifrån uppgifter från en leverantör av utrustning för vattenbilning av betong åtgår det 5,3 liter diesel per m^3 betong samt 2000 liter vatten per m^3 betong. Med diesels emissionsfaktor (2,88 kg fossil CO_2e/liter) från Bilaga A och med 84,9 ton betong (densitet antas till 2,35 ton per m^3) blir klimatpåverkan 0,6 ton fossil CO_2e. Klimatpåverkan från vattenförbrukningen antas försumbar.

Armeringen antas sorteras bort i samband med vattenbildningen och klimatpåverkan antas försumbar.

Asfalten fräses bort där antagande från Trafikverkets LCA-verktyg EKA (Energi och Koldioxid i Asfaltproduktion) om 1,6 liter diesel per ton asfalt används. Då totalt 16,2 ton asfalt och polymermodifierad bitumen behöver fräsas bort ger det klimatpåverkan på 0,1 ton fossil CO_2e.

För demonteringen av stommen i trä har det varit svårt att hitta uppgifter. Därav görs antagande att samma förbrukningsmängder används som för modul A5 (Byggnation av bron). Klimatpåverkan blir därmed 0,9 ton fossil CO_2e.

För hela brons livslängd på 80 år blir därför klimatpåverkan 1,6 ton fossil CO_2e, vilket motsvarar 0,9 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

C2 (Transport av material som rivs till avfallshantering):

Det antas att allt material för bron fraktas bort för vidare avfallshantering. Allt material bedöms energi- eller materialåtervinnas, vilket antas ske lokalt. Det antas att alla material transporteras 50 km med samma emissionsfaktor som används för modul A4, 0,106 kg fossil CO_2e per ton-km. Då

total vikt enligt Tabell 5-2 och Tabell 5-4 är 175,2 ton blir total klimatpåverkan 0,9 ton fossil CO_2e, vilket motsvarar 0,5 kg fossil CO_2e per meter bro och år.

C3 (Material- eller energiåtervinning):

I huvudsak antas material- eller energiåtervinning som avfallshanteringsmetod. Enligt EN 15804-standarden ska beräkningarna göras enligt förhållanden som råder idag (CEN, 2019). Det går därför inte att anta metoder för återvinning som har lägre klimatpåverkan än vad de har i nuläget.

I standarden definieras ”end-of-waste state” som ett begrepp för att avgöra om påverkan från hanteringen ska inkluderas i den aktuella livscykeln eller om den ska allokeras till nästa livscykel. Påverkan från hantering av material som inte längre är ett avfall ska allokeras till nästa livscykel. För att material inte längre ska klassas som avfall gäller följande (fritt översatt från engelska):

- Materialet kan användas för ett specifikt syfte
- Det finns en marknad och en efterfrågan på materialet med ett positivt marknadsvärde
- Materialet uppfyller tekniska krav för specifika syften och uppfyller tillämplig lagstiftning och standarder
- Återanvändning av materialet leder generellt inte till skadlig påverkan på miljön eller människors hälsa.

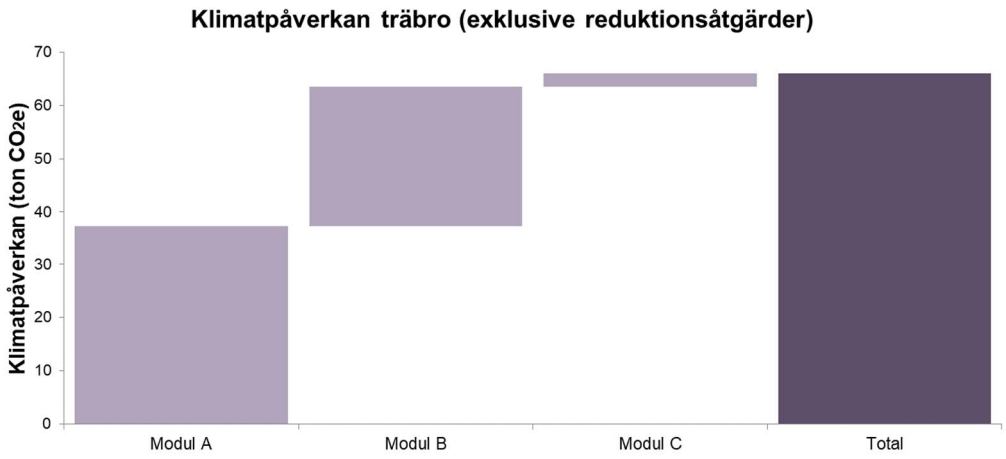
I denna studie antas att allt material materialåtervinns förutom trä som energiåtervinns. Materialen som materialåtervinns antas vara insatsvaror till en kommande produkts livscykel, till exempel stål som smälts och återanvänds som armeringsstål och betong som krossas och används som ballast i ny betong. Trä antas vara ett sekundärt bränsle som blir elektricitet och värme. Det antas att materialen efter transport (modul C2) uppfyller ovan ställda kriterier och ingen klimatpåverkan sker för modul C3. Klimatpåverkan för förbränningen av trä inkluderas dock, men det antas att dessa klimatutsläpp är biogena.

C4 (Deponi):

Inget material antas gå till deponi.

Sammantaget resultat för hela livscykeln:

I Figur 5-6 visas ett vattenfallsdiagram för klimatpåverkan för träbron över hela dess livscykel (modul A-C), vilken blir ungefär 66 ton fossil CO_2e. Störst klimatpåverkan sker i modul A. Klimatpåverkan för modul C är dock mycket osäker men bedöms inte vara i paritet med modul A och B.



Figur 5-6: Vattenfallsdiagram över klimatpåverkan för träbron för modulerna A-C, innan klimatreducerande åtgärder tillämpats.

5.6 Klimatreducerande åtgärder och resulterande klimatpåverkan för vald konstruktionslösning för träbron

Utifrån ovan träbrokonstruktion undersöks de åtgärder som kan göra bron klimatneutral eller klimatpositiv.

Utifrån tidigare avsnitt framgår att följande trämängder används på bron med 40 års livslängd:

- 1,0 ton limträ
- 4,4 ton konstruktionsträ

Följande trämängder används på bron med 80 års livslängd:

- 35,4 ton limträ

Utifrån de mängder trä som används på träbron under dess livstid beräknas att 67,5 ton koldioxid potentiellt har tagits/tas upp i träet från atmosfären. Som tidigare nämnts ska detta användas med mycket stor försiktighet.

a) Växtlighet på bron som kolsänka

Vad gäller växtlighet kan de likt trä antas ta upp cirka 1 600 kg koldioxid per ton. På bron kommer växtbäddar placeras, innehållande växter och odlingssubstrat anpassat för bjälklag. Kolinnehållet i substratet som helhet är mycket osäkert och exkluderas därför från beräkningarna. Av kapitel 6.4 framgår att växtbäddarna är 1 meter breda och placerade utmed hela brons längd. Bäddarna antas rymma ca 550 kg substrat/m^2 och 10 kg växter/m^2. Då brons längd är 22 meter innebär detta 12,1 ton substrat och 0,22 ton växter. Det skulle innebära ett upptag av cirka 0,4 ton CO_2e, då endast växterna inkluderas men på samma sätt som för åtgärd (a), bör detta användas med försiktighet i beräkningarna.

b) Biokol i växtsubstrat som kolsänka

För att kunna tillgodoräkna GC-bron en kolsänka från biokol i växtbäddarna så behöver en livscykel på minst 100 år kunna garanteras. Enligt planen för underhåll väntas växtbäddarna behöva bytas ut redan efter 40 år. Kan man däremot säkerställa att sluthanteringen av substratet från växtbäddarna innebär återanvändning som fyllnadsmassor så bör biokolen kunna inkluderas.

I enighet med rekommendationer i kap 6.1 antas användning av lättviktssubstrat bestående av tegelkross och pimpsten eller leca, vilka inte sorteras som brännbart (till skillnad från mullbaserad odlingsjord), utan återanvänds som fyllnadsmaterial. Vi borde därför kunna förutsätta att biokolen hamnar i marken även under nästa livscykel och koldioxiden förblir inbunden.

Andelen biokol i växtsubstrat har visat sig mest fördelaktig i halter mellan 10-20%. Inom detta projekt har 15 % biokol antagits, vilket motsvarar 45 liter biokol per m^2 växtbädd (alternativt per meter bro), vid ett substratdjup om 300mm (Se utformning av växtbäddar Kap 6.1).

På grund av faktumet att mängden bundet kol skiljer sig mellan olika typer av biokol har den vid tillfället enda svenska tillverkaren av EBC-certifierat biokol använts. Skånefrö AB anger en kolinlagring om 0,75 kg CO_2-e/liter biokol, enligt uppgifter framtagna i samarbete med Ecoera AB (Skånefrö, 2020). Det ger det en kolinlagring i biokolet i hela växtbädden på bron motsvarande 0,7 ton CO_2e.

c) Energiförsörjning av bron

I utgångsläget används en konventionell belysning med högtrycksnatrium som drivs med el producerad som en genomsnittlig svensk elektricitetsmix. I Anläggningsforum (2020) beskrivs några möjliga klimatreducerande åtgärder för elbelysning. Det är dels att skifta till LED-belysning eller producera el lokalt från solceller. För dessa åtgärder blir reduktionen cirka 50% vardera. Dels kan adaptiv belysning reducera med cirka 20-50%. Räknar man lågt ger energieffektiviseringsåtgärderna (LED och adaptiv belysning) tillsammans en reduktionspotential om 60%. Om man skulle använda solceller behöver el exporteras till nätet. Det bedöms dock vara för stora osäkerheter i dessa beräkningar samt att det behöver göras antaganden som kan påverka utfallet kraftigt. Ytterligare en aspekt som kan beaktas om elen inte produceras på bron är att köpa elektricitet med låg klimatpåverkan, till exempel från vind- eller vattenkraft. Med 97,3 g fossil CO_2e per kWh som utgångspunkt och med en klimatpåverkan om 8,6 g fossil CO_2e per kWh för vattenkraft blir minskningen 91% (EPD International, 2018). Sammantaget föreslås att följande åtgärder vidtas:

- LED-belysning (50% reduktion)
- Adaptiv belysning (20% reduktion)
- Vattenkraftsbaserad el (91% reduktion)

Detta ger sammantaget 96% reduktion. Osäkerheterna i siffrorna är stora men det bedöms ändå att dessa åtgärder har en mycket stor reduktionspotential. Det ger en minskning av klimatbelastningen med 20,6 ton CO_2e.

e) Karbonatisering av betong

Användning av betong som har god förmåga till upptag av koldioxid från atmosfären via karbonatisering kan bidra till en reducerad klimatpåverkan. Enligt standarden EN 16757:2017 skulle karbonatisering kunna innebära ett upptag om maximalt 490 kg fossil CO_2e per ton cement, under förutsättning att betongen till exempel kan karbonatiseras helt samt att Portlandcement med minst 95% klinkerinnehåll används (CEN, 2017b). Praxis enligt standarden är dock att använda 75% av det teoretiska maximum som ett mer troligt praktiskt maximum. Detta skulle innebära ett maximalt upptag på 367,5 kg fossil CO_2e per ton cement. Om det sedan antas att betong består till 20% av cement innebär detta att 73,5 kg fossil CO_2e kan tas upp per ton betong under brons livslängd. Detta kräver också att den betong som används inte genomgått karbonatiseringsprocessen vid tidigare användning.

I modul B1 i kapitel 5.5 redovisades att 14,2 kg fossil CO_2e per ton betong genom karbonatisering. Det teoretiska maxvärdet kräver maximal exponeringsyta samt en mycket lång exponeringstid. Därmed är maxvärdet ej tillämpbart på nuvarande konstruktion. Ingen reduktion av klimatpåverkan genom karbonatisering.

f) Använda återvunnet eller återanvända material

Klimatpåverkan kan enligt Polluter Pays Principle reduceras om återvunnet eller återanvänt material används istället för jungfruligt material, eftersom endast återvinningssteget behöver inkluderas, inte tillverkningen. De materialslag där det bedöms relevant och rimligt att använda återvunnet material samt där det finns störst reduktionspotential är stål, armeringsstål och aluminium. I Tabell 5-5 anges reduktionspotentialen för dessa material. Beräkningen görs enbart för återvunnet material, inte återanvänt material. Återanvänt material belastas inte med någon klimatpåverkan.

Tabell 5-5: Ungefärlig potential till minskade klimatutsläpp genom att använda återvunna material i träbron.

Material	Klimatpåverkan jungfruligt material (kg fossil CO_2e/kg)	Klimatpåverkan återvunnet material (kg fossil CO_2e/kg)	Mängd inkl. byten (ton)	Reduktions-potential (ton fossil CO_2e)
Armeringsstål	1,03	0,37[10]	4,6	3,0
Aluminium	8,4	0,4[11]	0,2	1,6
Stål	1,5	0,2[11]	0,4	0,5
Totalt	-	-	-	5.1

Total minskning av klimatpåverkan bedöms vara cirka 5,1 ton CO_2e.

g) Använda förnybara naturresurser och restprodukter som material eller energi

Denna åtgärd bedöms viktigast för drivmedel som används samt den betong som konstruktionen består av.

För drivmedel antas att HVO100 används vilket har en klimatpåverkan som är cirka 90% lägre än konventionell diesel (Energimyndigheten, 2019). Den totala klimatpåverkan som diesel ger upphov till i modulerna A4, A5, B4, C1 och C2 är 9,5 ton fossil CO_2e. Om HVO100 istället används är den potentiella minskningen 8,6 ton fossil CO_2e.

Enligt rapporten från SBUF (2017) är det tekniskt möjligt med 35% inblandning av GGBS i betong. GGBS står för Ground-granulated blast-furnace slag och är en restprodukt från stålindustrin som det finns god tillgång på. Detta skulle ge ungefär 20% minskad klimatpåverkan för betongen och med 138,2 ton betong i konstruktionen skulle det ge en minskning om 4,4 ton fossil CO_2e.

För slitlagret av asfalt går det också att minska klimatbelastningen, genom en rad olika åtgärder som tidigare beskrivits. Enligt EPD International (2019b) är klimatpåverkan 20 kg fossil CO_2e per ton för en specifik sorts asfalt tillverkad vid ett specifikt asfaltsverk. Enligt Tabell 5-2 är klimatpåverkan för genomsnittlig asfalt 44 kg fossil CO_2e per ton. Totalt används 15,8 ton asfalt (inklusive byte efter 40 år). Detta ger en minskning av klimatpåverkan med 0,4 ton.

Total minskning för denna åtgärd är 13,4 ton fossil CO_2e.

h) Material- och energiåtervinning

Denna åtgärd ligger inom modul D (som tidigare beskrivits måste redovisas separat) och här utreds de möjliga nyttorna med återvinning eller återanvändning av material från bron.

I modul D beräknas både ”klimatnyttan” med att det återvunna materialet ersätter nytt material men också klimatpåverkan för de aktiviteter som sker efter ”end-of-waste”. Dessa aktiviteter kan handla om att materialet ytterligare behöver förädlas för att det ska vara likvärdigt med materialet som det ersätter.

Dock gäller det för de fall återvunnet material från tidigare livscykel ska återvinnas igen, går det inte att tillräkna sig klimatnytta med att ersätta virgint material.

De material som det bedöms möjliga att räkna på och som kan ge en betydande klimatreducerande effekt i en framtida livscykel är trä och betong.

[10] https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/8564/epd305%20Celsa%20Steel%20Service%202018.pdf
[11] http://www.recycling.se/branschfragor/atervinningens-klimatnytta

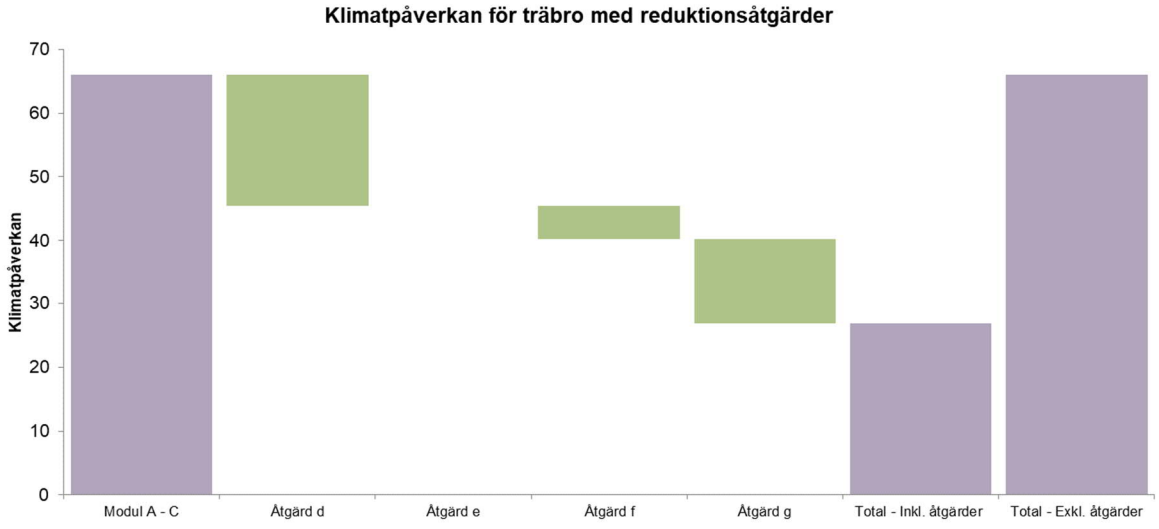
När limträ, konstruktionsträ och trä till växtbäddar förbränns bildas biogen koldioxid. Samtidigt genereras energi i form av el och värme. För att förenkla beräkningarna antas dessa förbrännas i ett värmekraftverk med enbart värme som restprodukt. Antag ett värmevärde för träprodukterna på 4,5 kWh/kg samt en värmeverkningsgrad för anläggningen på 90%. Förbränning av 40,8 ton trä ger därmed 165,2 MWh värme. Svensk fjärrvärme anges i Energiföretagen (2019) ha en genomsnittlig klimatpåverkan om 70 kg fossil CO_2e per MWh. Det innebär att 11,6 ton fossil CO_2e undviks eftersom genomsnittlig fjärrvärme inte behöver produceras.

Betong antas ersätta krossmaterial (ballast) i ny betong. Emissionsfaktorn för krossmaterial i Trafikverkets Klimatkalkyl är[12] 3,67 kg fossil CO_2e per ton. Från tidigare modul erhålls 84,9 ton betong som antas ersätta krossmaterial. Reduktionen blir därmed 0,3 ton fossil CO_2e. Betongen behöver dock krossas innan den kan användas och det antas behövas 0,65 liter HVO per ton betong för detta. Emissionsfaktorn för HVO är cirka 0,3 kg fossil CO_2e per kg utifrån antagandet om 90% minskning jämfört med diesel. Detta ger en klimatpåverkan på 0,02 ton fossil CO_2e. Total klimatnytta från betongen blir därmed 0,3 ton fossil CO_2e.

Totalt ger detta att 11,9 ton fossil CO_2e undviks genom åtgärden, men denna siffra ska användas med försiktighet eftersom den inte innebär någon minskning av klimatpåverkan under brons livscykel utan att klimatpåverkan undviks i nästa livscykel. Den redovisas därför inte i slutresultatet (Figur 5-7).

Sammanfattning av åtgärder för att göra bron klimatneutral/positiv

Åtgärderna bidrar i olika grad till att minska brons klimatpåverkan. Speciellt åtgärderna a, b, c och h (kolinlagring i trä, växter och biokol samt materialåtervinning) ska användas med stor försiktighet för att påvisa en minskning av brons klimatpåverkan. Dessa fyra åtgärder har därför uteslutits från slutresultatet (Figur 5-7). Där redovisas klimatpåverkan för brons ingående delar samt åtgärderna som kan förväntas att bidra till en reducerad klimatpåverkan. Modul A-C redovisas sammanräknat i Figur 5-7 utifrån resultatet i Figur 5-6.



Figur 5-7: Åtgärdernas reduktion av träbrons klimatpåverkan (i ton fossil CO_2e). Åtgärd e ger ingen reduktion.

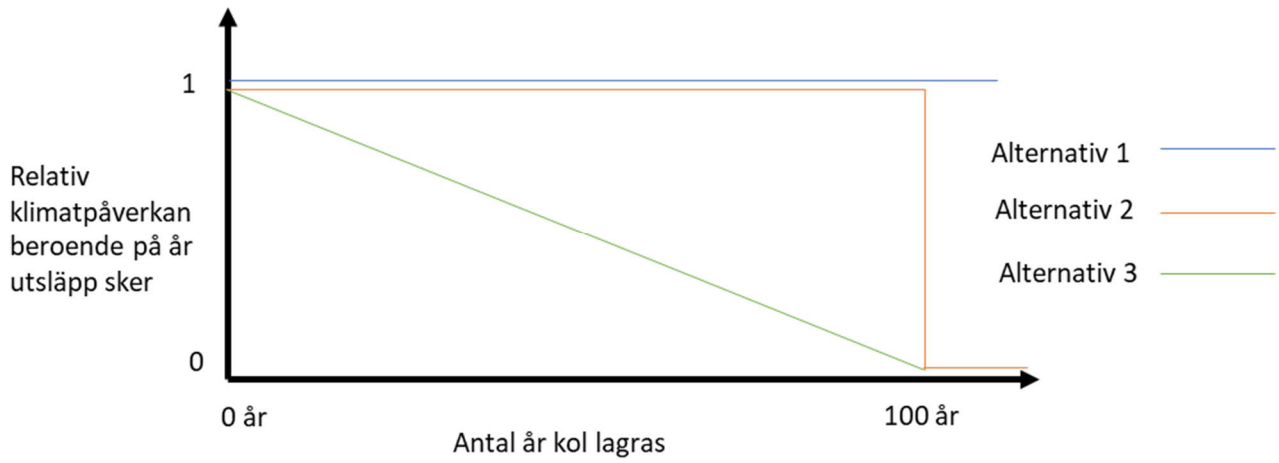
[12] Benämnt "Grus (vikt 1,5 ton/m3)"

Som kan ses i Figur 5-7 nås inte en klimatneutral eller klimatpositiv bro. Med undersökta åtgärder minskas klimatpåverkan för bron till ungefär 27 ton fossil CO_2e. Nedan förs dock ett resonemang kring möjligheten att inkludera åtgärderna a, b, c och h för att minska brons klimatpåverkan.

Trä som kolsänka (åtgärd a)

Den vetenskap och de standarder som detta projekt utforskat ger bilden av att inlagring av kol i produkter i olika utsträckning kan antas vara en kolsänka. När man gräver djupare i litteraturen finns olika modeller och här anges tre av dem.

Den första modellen (alternativ 1) utgår från att man inte kan beakta biogen kolinlagring som vare sig en tillfällig eller permanent kolsänka. I den andra (alternativ 2) antas kol som lagras mer än hundra år vara permanent och därmed bedömas vara en kolsänka. I den tredje (alternativ 3) antas en timing-effekt där fördröjda utsläpp av växthusgaser beaktas. Klimatpåverkan antas då minska linjärt med en faktor från ett till noll upp till hundra års kolinlagring. Dessa tre alternativ illustreras i Figur 5-8 med relativ klimatpåverkan beroende på antalet år som kolet har lagrats. En liknande illustration finns i Brandão och Levasseur (2010).



Figur 5-8: Illustration av den relativa klimatpåverkan beroende på antal år kol lagras enligt de tre modellerna (alternativ 1 - 3).

Eftersom brons tekniska livslängd är 80 år innebär alternativ 1 och 2 att träet inte är en kolsänka. Men om det trä som finns i konstruktionen inte byts på 100 år är det enligt alternativ 2 och 3 en permanent kolsänka. För alternativ 3 är vidare förhållandet linjärt mellan år 0 och 100 med en relativ klimatpåverkan från 1 till 0. Det innebär att trä som inte behöver bytas ut under konstruktionens livslängd om 80 år kan antas vara permanent upplagrat till 80%. Ifall alternativ 3 tillämpas på brokonstruktionen skulle inlagringen av koldioxid anses vara 50,6 ton. Tidigare angavs den maximalt potentiella kolinlagringen till 67,5 ton koldioxid, vilket hade varit fallet om allt trä i bron står i 100 år utan att bytas ut.

Växtlighet som kolsänka (åtgärd b)

Då växterna på bron har en mycket kortare livslängd än träet i bron är kolinlagringen av tillfällig karaktär. För att en kolsänka ska vara applicerbar växterna i bädden vara relativt konstant under en lång tid. Eftersom den fulla potentialen för beräkningsexemplet är 0,4 ton koldioxid blir upptaget lågt.

Biokol i växtsubstrat som kolsänka (åtgärd c)

Till skillnad från kolinlagring inom trä och växter kan biokol ses som en kolinlagring av mer permanent karaktär, men det kan finnas vissa osäkerheter gällande faktisk sluthantering av produkten,

vilket är relevant då växtbäddens livslängd blir mindre än 100 år. Denna åtgärd skulle innebära en minskning med 0,7 ton CO_2e, vilket ett relativt lågt upptag i förhållande till utsläpp samt övriga åtgärder.

Material- och energiåtervinning (åtgärd h)

Denna åtgärdstyp utgår från att man med systemexpansion (se Figur 5-1) beräknar utsläpp som undviks genom att man ersätter en annan produkt om inte behöver produceras. Detta är något som inte tillåts enligt EN 15804 och som inte bör användas för att kommunicera resultat till någon som inte är insatt i livscykelanalys med dess möjligheter och begränsningar. Denna åtgärd ger en minskning med 12,1 ton fossil CO_2e.

6 UTVÄRDERING AV VÄXTLIGHET PÅ TRÄBROAR

Redan ifrån barnsben lär vi oss att förstå att växter har blad och grenar ovan mark och rötter under mark. Det är en levande organism som har vissa behov för att trivas och fortsätta att utvecklas. Det är lätt att tänka att växter enbart kan leva där det finns mark och goda förhållanden med sol, vatten, koldioxid och näring.

Utgångspunkten för undersökningen är att initialt beskriva generella tekniska och behovsbaserade möjligheter och konsekvenser för växtlighet på och i anslutning till träbroar, för att sedan visa en konkret lösning för en konceptbro. Avslutningsvis beskrivs vilken klimatpåverkan växtlighet kan ha samt andra hållbarhetsaspekter som växtlighet kan bidra till.

Beskrivningarna i delkapitlen 6.1 och 6.3 nedan är en sammanställning av information från Gröna tak handboken (Grönatakhandboken/VINNOVA, u.d.) samt landskapsarkitektens program för utformning av växtbäddar och entréytor.

6.1 Växtlighet på broar

Växtlighet och grönska adderas ofta av lite olika anledningar. Det kan vara för att det finns olika krav från exempelvis certifieringar eller bestämmelser med grönytefaktor och dagvattenhantering. Det kan också vara för att en fastighetsägare eller beställare vill addera vistelsevärden. Växtlighet kan bidra till många olika kvaliteter och minska olika effekter på klimatet.

Växtlighet transpirerar vatten genom sina blad och motverkar på det sättet värmeöar i stadsmiljöer och förbättrar luftkvaliteten genom fotosyntesen. Eftersom de tar upp vatten minskar de avrinningen och växtbädden kan ha en reningseffekt. Växtligheten bidrar också till rekreationsmöjligheter samt ger kulturella och estetiska kvaliteter. Det har betydelse ur ett hälsoperspektiv där människan kan få mental återhämtning av grönskande miljöer. Växtligheten bidrar till biologisk mångfald och upprätthållande av ekosystem.

På broar kan växtligheten bidra ur ett helhetsperspektiv där vi kan få en grönare stadsmiljö som stödjer effekter på temperatur, luftkvalitet, avrinning och biologisk mångfald. Ser man till den enskilda bron är de största effekterna kulturella och estetiska kvaliteter samt att regnvattnet kan utnyttjas som resurs. Även mikroliv och insektslivet kan dra nytta av planteringarna på bron och finns det möjlighet till högre vegetation såsom buskar och eventuellt träd, kan även fåglar söka sig hit. Bron kan bli en slags faunapassage om man undersöker vad det finns för växt- och djurliv i omgivningen på vardera sidan om bron. Man kan på det sättet stödja den lokala faunan.

Möjligheten till att addera växtlighet på GC-broar kan sammanfattningsvis ge större effekter ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv än vid första anblicken. Växtlighet är en viktig pusselbit för att bibehålla våra ekosystem och vår gemensamma livsmiljö.

6.2 Nulägesanalys av växtlighet på broar

För att fördjupa sig inom de här aspekterna behöver vi också sätta det i sitt sammanhang. Några exempel på broar med växtlighet som finns idag är exempelvis stålbron Palace bridge aka Ponte-Palazzo i Arup samt den mer kända gamla järnvägsbron High Line i New York. Dessa broar har andra förutsättningar i jämförelse med en träbro. Det man kan säga är att de här exemplen är högt uppskattade och välbesökta broar. En av de äldre broarna som finns med växtlighet är The Green

Roof Bridge i Stuttgart som byggdes 1977 i samband med The national garden show. Den är byggd i betong och står kvar än idag, mer än 40 år efter sin invigning.

Ser man till vilka typer av broar som finns med växtlighet i Sverige är det framförallt ekodukter. Det är ofta breda betongbroar som går över större vägar för att skapa förutsättningar för växtlighet och djurliv att sprida sig mellan olika grönområden. Även för dessa skiljer sig förutsättningarna rejält i jämförelse med en cykelbro i trä. Gångbroar utsmyckade med växtlighet i Sverige är framförallt utformade med planteringskärl för säsongsväxter, vilka kräver regelbunden bevattning och näringstillförsel. Exempel på sådana broar finns att hitta bland annat i Enköping vid Strömparterren, i Uppsala vid Fyrisån och på Linda Fagerlins cykelbro i Stockholm.

Tittar man framåt finns ett tydligt intresse för att bidra till hållbarhet på olika sätt. Det är idag vanligt att högre krav inom hållbarhet ställs dels från kommuner men även inom olika certifieringar, exempelvis genom krav på grönytefaktor och åtgärder för klimatanpassning. Växtlighet kan på flera sätt bidra till ett mer hållbart samhälle.

Den slutsatsen man kan dra är att det finns ett stort intresse för broar med växtlighet och att det i dagsläget inte finns särskilt många exempel på cykelbroar i trä som har integrerade växtbäddar för flerårig växtlighet i Sverige (Isabelle af Ekenstam).

6.3 Förutsättningar för växtlighet på och i anslutning till träbroar

Det finns flera olika typer av växtlighet som kräver olika typer av förutsättningar för att trivas. På bron behöver man arbeta med växtbäddar som anläggs på ett bjälklag som består av brokonstruktionen. Växtbäddar på bjälklag är idag vanliga dels med gröna tak och dels med bjälklagsgårdar i nya bostadskvarter med garage under.

Växtbäddens beståndsdelar på ett bjälklag är vegetation, växtsubstrat (växtbädd), dräneringslager, avvattning, geotextil, rotspärr samt själva tätskiktet på bjälklaget. I vissa fall inkluderas även bevattning. De grundaste växtbäddarna som används är 30 mm för sedumtak och de djupaste växtbäddarna kan vara djupare än 1000 mm för träd och trädgårdskaraktär. De olika substratdjupen ger olika förutsättningar för olika typer av växtlighet. Substratdjupet begränsas ofta av bygghöjd eller bjälklagets bärighet. Växtsubstratet som används på bjälklag är därför sällan vanlig växtjord på grund av att den är allt för vattenhållande och därmed bidrar till tyngre laster på bjälklaget. Särskilda bjälklagsjordar innehåller ofta tillsatsmaterial med låg egenvikt och hög genomsläpplighet, exempelvis tegelkross, pimpsten, scoria, biokol, leca eller cellglas. I Figur 6-1 visas schematiskt olika typer av vegetation, substratdjup- och vikt samt laster.

①②③④ -Val av växtbädd beroende på önskemål och laster

-Växtbädd

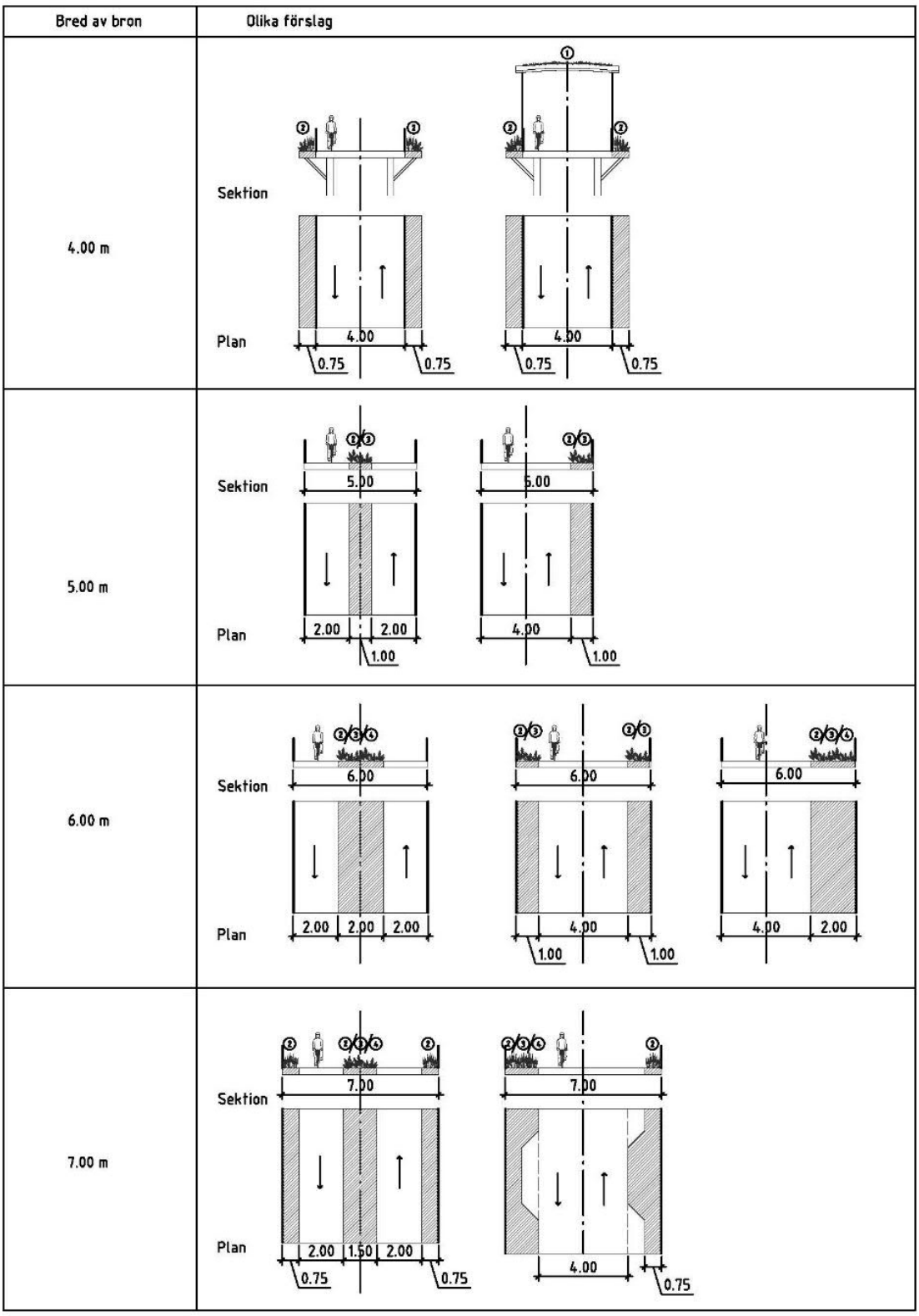
		Vegetation	Substratdjup (mm)	Substratvikt (kg/m2)	Vegetationsvikt (kg/m2)	Total Last (kN/m2)
	①	Sedum/ört	80-120	80-240	10	0.9-2.5
	②	Gräsmatta, äng, perenner	120-350	120-700	5-15	1.3-7.2
	③	Mindre buskar, perenner	300-600	300-1200	20-30	3.2 - 12.3
	④	Stora buskar, mindre träd	600-1500	600-3000	40-60	6.4 - 30.6

Figur 6-1 Vegetation, substratdjup och laster.

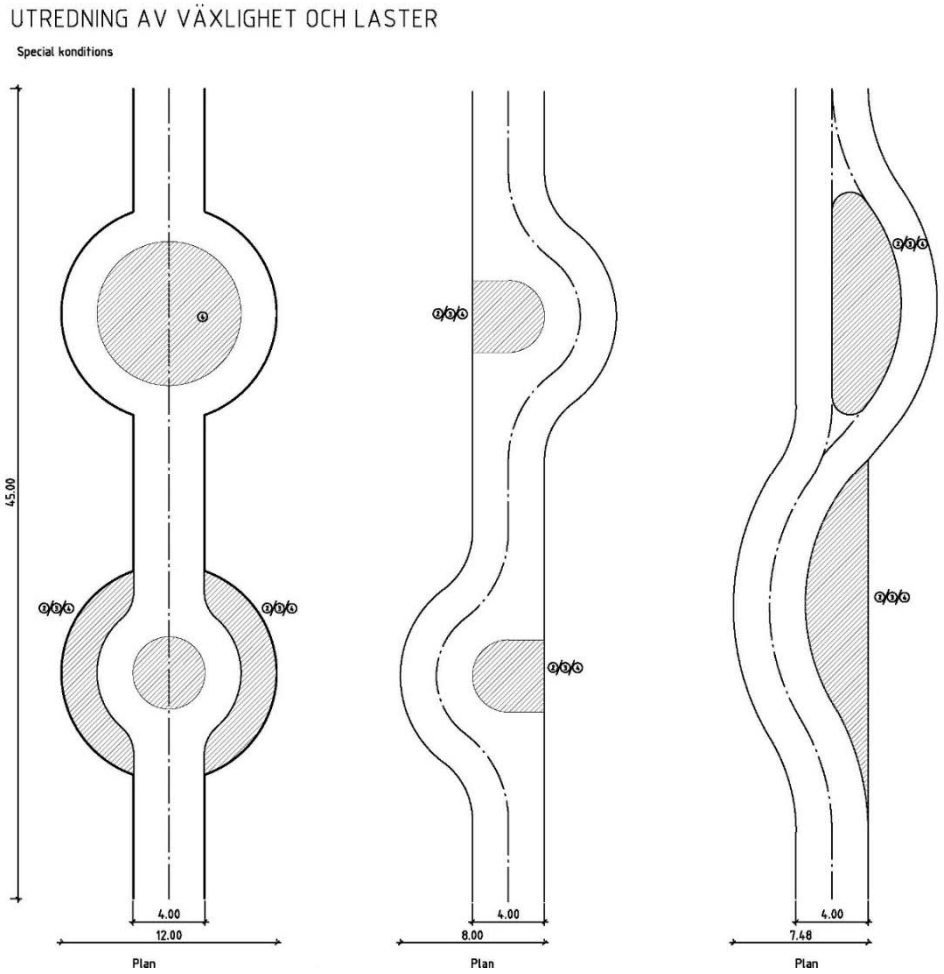
Brons bjälklag påverkas av substratets och materialets vikt, vindlaster, snölaster och framförallt av människorna som kommer att använda bron. Vid lastberäkningar av bjälklagsvegetation räknas den totala vikten av överbyggnaden. Det inkluderar vattenmättat substrat, vattenmättat dräneringslager, växtlighet samt vikten på övriga material. Träd på bjälklag kan innebära en stor belastning och kan med fördel placeras där det finns en underliggande konstruktion som kan hantera den lasten. På en bro placeras eventuella träd med fördel vid infästningspunkterna invid fast mark, eller vid en bropelare. Växtlighet kan ge ökade laster för vind på grund av annan råhet och friktion på broytan. Regnlaster kan påverkas beroende på avrinningshastigheten av vattnet på ytan. Avrinningen genom en växtbädd blir således mer långsam än med en bro utan växtlighet. Växternas struktur kan också öka snölasterna på grund av att de fångar upp mer snö än en plan yta.

Växtförutsättningarna på en bro är att det med största sannolikhet är vindutsatt samt att det är en begränsad yta att fånga upp regnvatten på. Troligtvis ger en öppen bro växtförhållanden med mycket sol. Med detta i åtanke kommer det vara en växtplats som utsätts för begränsade vattenmängder och torka i perioder. Därför är det av extra vikt att skapa vattenmagasin i växtbädden med dräneringsmattor som är vattenhållande samt eventuellt med ett fukthållande lager med stenull, filt eller liknande. Det här är även ett sätt att fördröja dagvattnet på bron. Under etableringsfasen kommer växtligheten behöva bevattnas. Det är fördelaktigt med ett bevattningssystem där exempelvis sprinklerbevattning enkelt kan plockas bort efter att växtligheten utvecklat sitt rotsystem. Ett bevattningssystem kan komma ifrån en uppsamlingscistern för regnvatten som kan placeras vid brofästet. Då kommer regnvattnet till användning och det är ett både ekologiskt och ekonomiskt fördelaktigt alternativ.

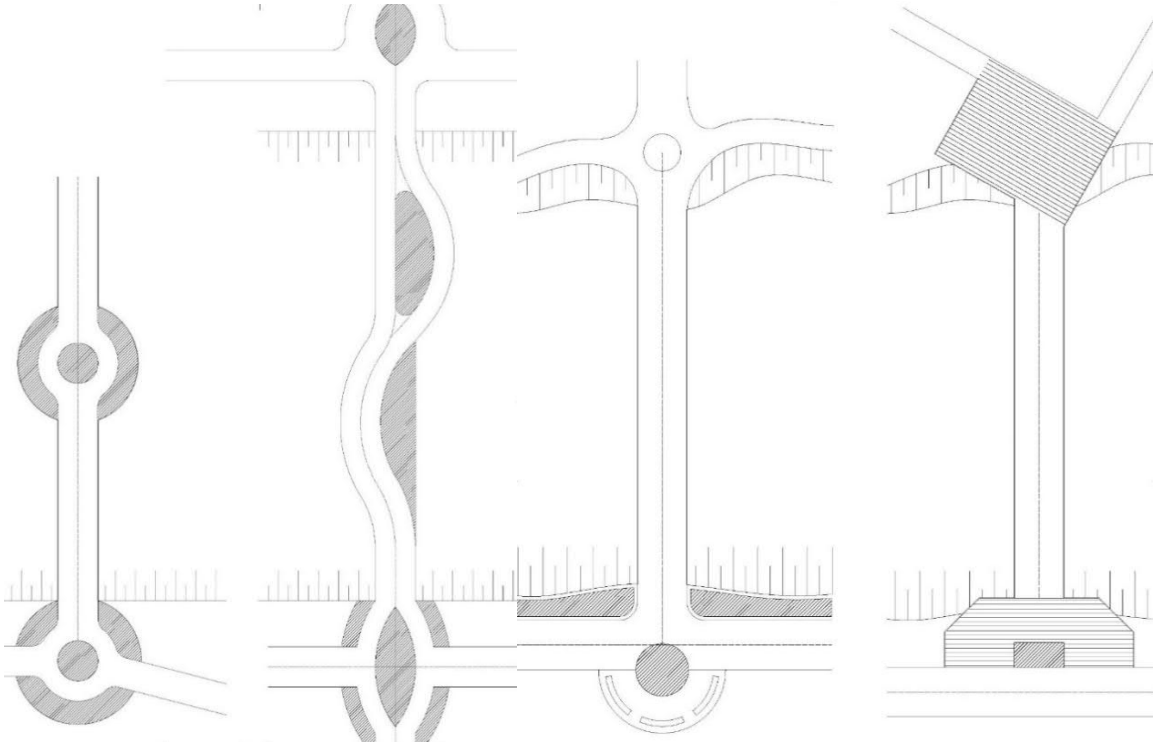
Vid utformningen av växtbäddarna finns flera olika alternativ. I Figur 6-2 och Figur 6-3 nedan presenteras olika förslag och möjligheter beroende på vilka specifika förutsättningar som finns i ett projekt. Det är också viktigt att utforma entréytorna till bron, Figur 6-4. Här kan det finnas växtbäddar på vanlig mark som kan komplettera brons vegetationsgestaltning.



Figur 6-2. Växtbäddars placering beroende av bredden på bron.



Figur 6-3. Olika utformning av växtområden på broar.

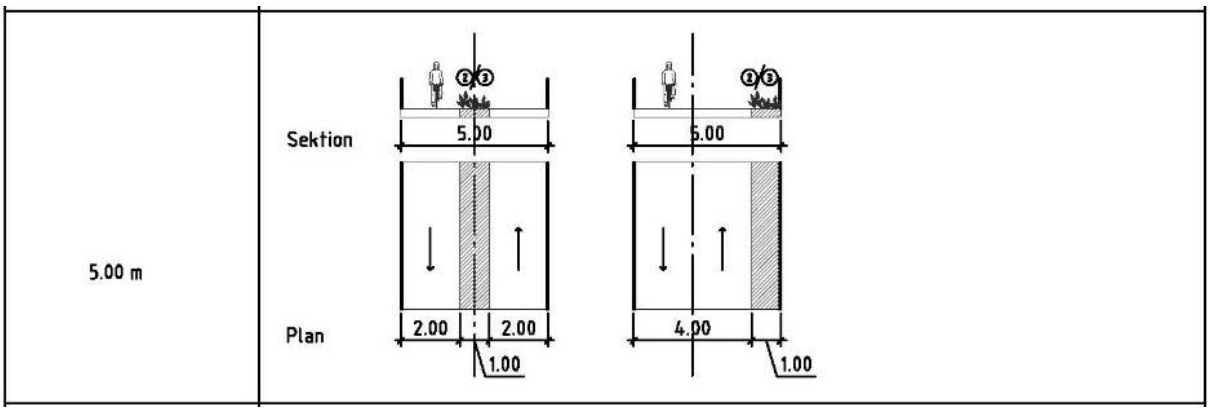


Figur 6-4. Olika utformning av entréytor.

6.4 Konkret växtförslag till konceptbro

Sammanställningen och förslag till växtlighet på konceptbron är utförd av Isabell af Ekenstam, NCC Building.

Konceptbron är 22 meter lång, 5 meter bred, samt klarar av 5 kN/m². Med dessa förutsättningar kan vi skapa en växtbädd med maximalt substratdjup på ca 300 mm. Växtbädden byggs av konstruktionsvirke med följande dimensioner (45 * 240 mm) * 2. Växtbädden är 1 meter bred och har längden av hela bron (Figur 6-5). Förslagsvis lättviktssubstrat för bjälklag. Växtbädden kan antingen placeras mellan körbanor eller efter ena sidan, beroende vad som passar omgivande trafiksituation och växtlighet bäst.

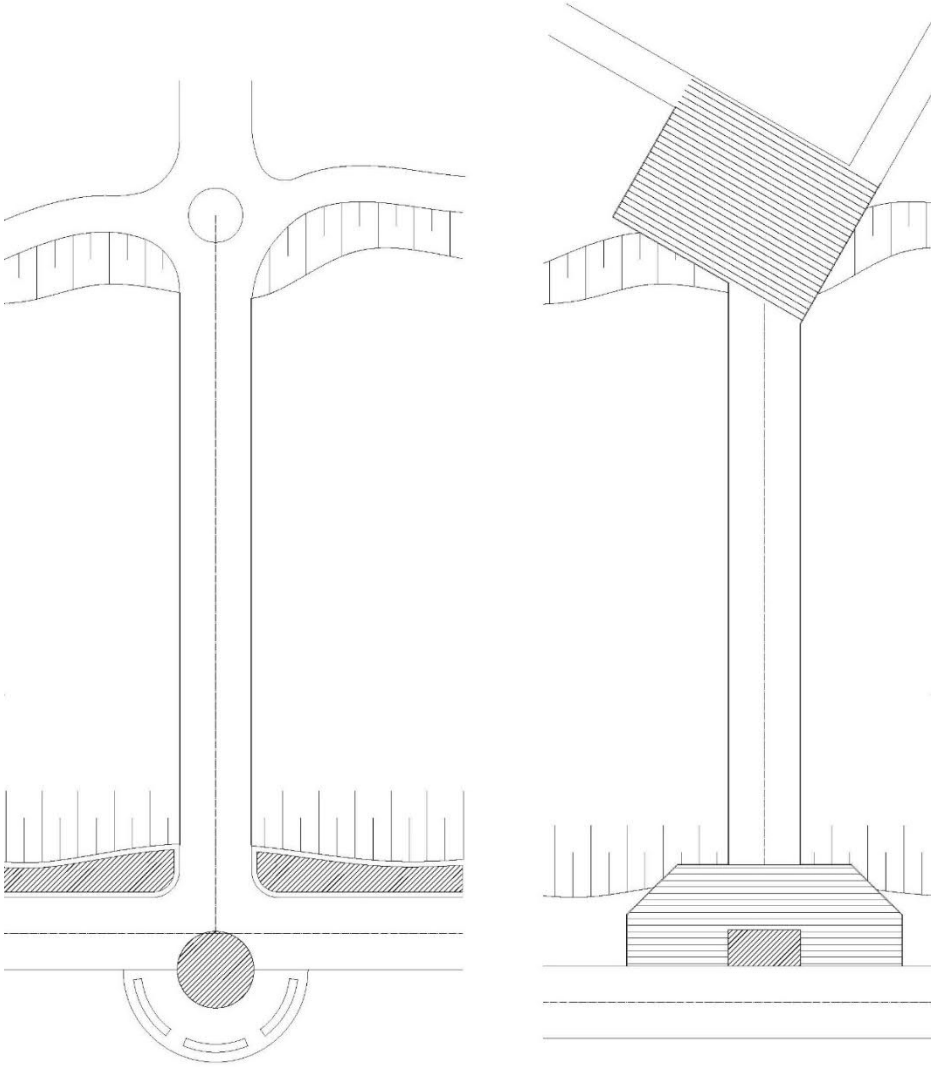


Figur 6-5. Förslag Aktuella utformningar av växtbäddar

		Vegetation	Substratdjup (mm)	Substratvikt (kg/m2)	Vegetationsvikt (kg/m2)	Total Last (kN/m2)
	2	Gräsmatta, äng, perenner	120-350	120-700	5-15	1.3-7.2

Figur 6-6. Förutsättningar för växtlighet i föreslagen växtbädd.

Vald utformning ger förutsättningar för ängs- och gräsvegetation samt för perenner (fleråriga växter), se Figur 6-6. Perenner och ängsvegetation rekommenderas, med områdestypiska arter tåliga mot torka och som även lockar pollinsatörer, för att minimera behovet av vattning samt ge ökad biologisk mångfald. Fleråriga växter innebär dels minde underhåll än ettåriga växter, men är främst bättre ur klimatperspektiv då de har högre kolinnehåll på grund av ett mer utvecklat rotsystem och ”träigare” struktur, vilket maximerar den tillfälliga kolinlagringen inom växtligheten. Entréytorna kan gestaltas på olika sätt beroende på vad som passar med omgivningen, aktuella utformningar visas i Figur 6-7.



Figur 6-7: Aktuella entréytor.

6.5 Biokol i växtbäddar

Biokol framställs genom pyrolys av biologiskt material, vanligen växtdelar eller träflis. Biokol har en hög vattenhållande- samt näringshållande förmåga till en låg vikt, vilket gör den fördelaktig att använda i substrat för bjälklagsodlingar. Biokolens höga katjonkapacitet gör att den fungerar likt en svamp som suger upp och håller kvar näringsämnen och gör de lättillgängliga för växternas rötter under lång tid. den är naturligt rik på fosfor men behöver näringsberikas men kväverik gödsel vid plantering för att inte skapa ett näringsunderskott. Det bästa ur klimatsynpunkt är att använda naturgödsel såsom grönkompost eller hönsgödsel istället för konstgödsel har hög klimatbelastning. Andelen biokol i växtsubstratet bör för bäst resultat ligga mellan 10–20%, en tumregel är att tillsätta lika stor del naturgödsel. (Malmberg, 2019)

Biokolen kan även fungera som ett filter för att fånga upp föroreningar i dagvattnet - vilket finns en vinning i om GC-bron överbygger en trafikerad väg. Biokol kan med fördel utgöra en del av s.k. blå-grön-gråa system där man kombinerar dagvattenhantering, hårdgjorda ytor och grön infrastruktur. Ett lyckat exempel på detta finns inom Stockholm stad, där man länge använt biokol i skelettjordar vid trädplantering, vilket har gett goda resultat för trädens tillväxt (Embrén, 2017).

7 KLIMATANPASSAD DRÄNERING FÖR TRÄBRO

7.1 Vattenrelaterade frågeställningar

De vattenrelaterade frågeställningar som identifierats i projektet är:

- Förändrade klimatlaster och dess inverkan på utformning och materialval
- Vatten som resurs för i övrigt klimatanpassad utformning tex växtlighet.

Brons anläggning och konstruktion behöver dimensioneras för framtida klimatlaster i form av

- Högre flöden
- Istryck
- Högre högvattenvattennivå,
- Högre medelvattennivå
- Förändrad grundvattennivå

7.2 Dagens dimensioneringsnormer

Nedanstående utgör utdrag ur Markunderbyggnaders egenskaps-förändringar med klimatlaster- (Rankka W, 2019)

Vattennivå, flöde, vattenhastighet och vattentryck

När det gäller vattennivåer, vattentryck, vattenflöde och vattenhastighet finns inga regler i Eurokodsystemet mer än att laster från fritt vatten ska beaktas. Inte heller i Boverkets konstruktionsregler, EKS 10 (Boverket 2016a), finns specificerat hur dessa laster ska beaktas.

För permanenta konstruktioner är det praxis i Sverige att vattennivåer, vattentryck (inklusive upplyft), vattenflöde och vattenhastighet i vattendrag beräknas som en last med ett högsta värde med en viss återkomsttid, ett medelvärde och ett lägsta värde med en viss återkomsttid för exempelvis broar, trummor och geokonstruktioner för infrastrukturanläggningar. Uppgifter om värden på dessa får tas fram i varje enskilt fall baserat på tillgängliga data. För temporära konstruktioner kan dock andra värden än enligt ovan tillämpas.

Enligt Trafikverkets regelverk, TK Geo och TR Geo (Trafikverket, 2013 och 2014a) och Krav och råd brobyggande (Trafikverket 2016a och 2016b), ska vattennivåer, vattentryck (inklusive upplyft), vattenflöde och vattenhastighet i vattendrag beräknas som en last med ett högsta värde och ett lägsta värde för broar. Dimensionerande värden i brottgränstillstånd ska motsvara vattennivå, vattentryck och vattenhastighet med en viss återkomsttid. Generellt tillämpas återkomsttider mellan 50–200 år för geokonstruktioner och broar, beroende av konsekvensen av klimatlasten.

Avvattning

Avvattningsanläggningar dimensioneras enligt Trafikverkets rådsskrift ”Avvattningsteknisk dimensionering och utformning – MB 310” (Trafikverket, 2014b) i vilken dimensionerande vattenflöde baseras på avrinningsområdets yta samt begreppet dimensionerande nederbörd. När det gäller dimensionerande nederbörd hänvisas till Svenskt Vatten ”Publikation P104, Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem” (Svenskt Vatten 2011). I publikationen redovisas bland annat hur extremflöden (maximala/dimensionerande flöden), som är underlag för dimensionering av maximalt flöde i ledningar och diken, kan bestämmas direkt från blockregnsstatistik, statistiska typregn eller kontinuerliga regnserier. Enligt MB 310 ska avvattningssystem dimensioneras

för en återkomsttid varierande mellan 1–20 år beroende avvattningsförutsättningarna och konsekvenserna vid bräddning

I Träguiden (Svenskt Trä 2019) beskrivs olika lösningar för hur kanter på träbroar bör utformas för att avleda nederbördsvatten. Avvattningen är viktig för att träbron skall kunna uppfylla en långvarig hållbarhet och här har brobanans kanter en stor betydelse. Hål genom bro-plattan bör undvikas eftersom det kan bli problem med fukt i träet om inte tätheten behålls Avslutning av tätskikt och beläggning vid kanten av en träplatta kan utföras på olika sätt. Vattnet leds till broänden då det enligt AMA Anläggning 17 inte är tillåtet att släppa vatten över kanten längs bron.

Erosion

Som underlag för dimensionering av erosions- och översvämningsskydd vid kusten finns inga regelverk eller standarder i Sverige, det som används idag är ofta amerikansk standard från US Army Corps of Engineers (2002). Vid dimensionering tas främst hänsyn till högsta högvatten (HHW), högsta våghöjd, samt översköljningseffekter.

Istryck

Vid dimensionering av broar ska istryck, enligt Trafikverkets regelverk, Krav Brobyggande (Trafikverket 2016a), beaktas. Storleken på istrycket, som ska antas angripa på nivåerna MHW och MLW, bestäms genom särskild utredning.

Vågkrafter

Hur vågkrafter och inverkan från fartygs svallvågor ska beaktas beskrivs i Vägverkets handbok ”Erosionsskydd i vatten vid väg- och brobyggnad” (Vägverket 1978). Erosionsskydd längs havsstränder kan dimensioneras enligt anvisningar i Coastal Engineering manual (US Army Corps of Engineers 2002) och i Environmental engineering for coastal shore protection (US Army Corps of Engineers 1989).

För broar ska strömtryck och vågkrafter bestämmas enligt SIS dokument ”Krafter från vågor och strömmar på kustnära byggnadsverk” (SIS 2007). Beskrivning av hur skydd mot strömmande vatten ska konstrueras finns, för geokonstruktioner för väg och järnväg, i TK Geo och TR Geo (Trafikverket 2013 och 2014a).

Dimensionering för ett framtida klimat

Dimensionering för ett framtida klimat innebär att dagens data på klimatlaster behöver kompenseras med hänsyn till förväntad utveckling och rådande osäkerheter. Hur stor klimatfaktor som bör tillämpas avgörs utifrån en bedömning av konsekvenserna om konstruktionen underdimensioneras. Om konsekvenserna blir samhällsekonomiskt mycket stora eller riskerna för människors liv och hälsa blir höga krävs stora säkerhetsmarginaler. Då det saknas dimensioneringsanvisningar för flertalet klimatlaster bör det ske med hänsyn till platsspecifika förutsättningar kombinerat med riskbedömning.

Gällande skyfall rekommenderar Länsstyrelserna i Stockholm och Västra Götaland att man i detaljplaner bör utgå ifrån regn med 100 års återkomsttid med en klimatfaktor på 1,2–1,4 för att kompensera översvämningsrisken i ett förändrat klimat. Detta innebär att regnvolymen väntas öka med 20–40 % fram till år 2100. Förutsättningarna varierar dock regionalt vilket också kan förändras med klimatförändringarna. (Länsstyrelserna, 2015)

Resultat – Rekommendationer om utformning av konceptbro

- Bron utformas utifrån ett klimatanpassat 200 års flöde.
- Brons avvattning dimensioneras enligt gällande bronormer men med en klimatfaktor för 10 års regn vilken avgörs utifrån regionala förhållanden.
- Det bedöms inte rimligt att utforma ett avvattningssystem som kan hantera skyfall utan för regn som överstiger brons avvattningskapacitet föreslås öppen avledning till vattendraget.
- Brons grundläggning dimensioneras med hänsyn till risken för eventuella förändringar i grundvattennivå vilken avgörs utifrån regionala förhållanden.
- Brons erosionsskyddas med beaktande av förändrade flödes- och nivåförhållanden
- Bevattningsbehov för planerade planteringar studeras och vid behov undersöks förutsättningar att designa avvattningssystemet för att minska detta.

8 Beskrivning konceptbro – Sammanställning av resultat

Den valda konstruktionslösningen för gång- och cykelbron är 22 m lång, 5 m bred med en teknisk livslängd på 80 år. Det är en tvärspänd plattbro där limträ utgör merparten av konstruktionen, som vilar på ett landfäste på vardera sida av bron bestående av armerad betong. Brobanan är klädd med tätskiktsmatta och belagd med klimatreducerad asfalt. Brons räcken är av tryckimpregnerat trä. Utgångsläget visar att klimatpåverkan för träbron över hela dess livscykel resulterar i ungefär 66 ton CO_2e. Störst klimatpåverkan sker i modul A, dvs. vid råvaruutvinning och materialtillverkning inkl. transporter.

Klimatreducerande åtgärder: Inblandning av masugnsslagg i betongen, som ersätter 35% av cementen. Återvunnen råvara till stål, armeringsjärn och aluminium. Klimatreducerad asfalt. Träräcken med integrerad, adaptiv LED-belysning. Vattenkraftsbaserad energiförsörjning och HVO100 istället för fossila drivmedel under transporter och dyl. Med undersökta åtgärder minskas klimatpåverkan för bron till ungefär 27 ton CO_2e, dessa åtgärder räcker inte för att nå målet om klimatneutral eller klimatpositiv bro. Den biogena kolinlagringen inom trä, biokol och växter, motsvarande ungefär 68 ton CO_2e räknas inte med i klimatberäkningen, då det inte går att garantera en livslängd om 100 år för materialen.

Växtbädden byggs av konstruktionsvirke, är 1 meter bred och har längden av hela bron (22 m), med substratdjup om 300 mm. Växtbäddens beståndsdelar är vegetation, lättviktssubstrat för bjälklag innehållande 15 % biokol, vattenhållande dräneringslager, avvattning, geotextil, rotspärr samt själva tätskiktet på bjälklaget. Fleråriga växter och ängsvegetation med områdestypiska arter tåliga mot torka rekommenderas.

Brons avvattning dimensioneras enligt gällande bronormer men med en klimatfaktor för 10 års regn vilken avgörs utifrån regionala förhållanden. För skyfall som överstiger brons avvattningskapacitet föreslås öppen avledning till vattendraget. Bron utformas utifrån ett klimatanpassat 200 års flöde. Brons grundläggning dimensioneras med hänsyn till risken för eventuella förändringar i grundvattennivå vilken avgörs utifrån regionala förhållanden. Brons erosionsskyddas med beaktande av förändrade flödes- och nivåförhållanden. Bevattningsbehov för planerade planteringar studeras och vid behov undersöks förutsättningar att designa avvattningssystemet för att minska detta.

9 DISKUSSION, SLUTSATSER OCH NÄSTA STEG

Det huvudsakliga hindret för att nå målet för en klimatpositiv gång- och cykelträbro är förutsättningen att den av trafikverket angivna livslängden för träbroar sätts till 40 resp. 80 år. Det omöjliggör möjligheten att tillgodoräkna sig den kolinlagring som sker inom brons stomme som permanent sådan inom klimatberäkning enligt gällande standard. (EN15804).

Åtgärd a (trä som kolsänka) och h (material- och energiåtervinning) går inte att applicera samtidigt då den förstnämnda bygger på att trä bibehåller sin struktur och den sistnämnda kräver att trä omvandlas till energi.

Om förutsättningarna sett annorlunda ut, ifall den tekniska livslängden kunnat bestämmas till 100 år och man istället utgått från EPD Internationals kriterier så hade den kolinlagring som sker inom konstruktionen varit möjlig att inkludera i beräkningen, under förutsättningen att uppgifterna redovisats separat. Om reduktionsåtgärderna a eller h samt b och c skulle inkluderas blir reduktionen ytterligare drygt 60 ton CO_2e, vilket skulle innebära en klimatpositiv bro.

För att behålla studiens trovärdighet inkluderas denna minskning inte i klimatpåverkan för träbron, då studien även riktar sig till personer som inte är specialiserade i livscykelanalys.

Livscykelanalysen i sin helhet är inte tillräckligt grundligt gjord för att det ska gå att säga exakt vad träbrons klimatpåverkan blir eller den exakta potentialen av klimatreducerande åtgärder. Analysen försvåras ytterligare av det inte är en reell bro som byggts eller är tänkt att byggas. Resultatet visar dock att det finns indikationer på en betydande reduktionspotential ifall träbron byggs med utgångspunkt att minska klimatpåverkan. Skillnaden i klimatpåverkan som uppkommer om en bro byggs med respektive utan dess klimatbelastning i beaktning bedöms därför vara stor. Det är viktigt att använda sig av det helhetsperspektiv som en livscykelanalys kan ge för att underlätta att identifiera de största bidragen och använda klimatreducerande åtgärder där de ger störst nytta.

Relevans av en klimatneutral bro

Målet om klimatneutral infrastruktur år 2045 innebär att det redan nu är viktigt att broar som byggs har låg klimatpåverkan från uttag av naturresurser till färdigställd bro och driften av den. Sannolikt kommer det flesta broar som byggs idag finnas kvar efter år 2045, därmed är det extra viktigt att möjliggöra för att såväl drift- och underhållsskedet som avfallshanteringen är klimatneutrala. Det är viktigt att hela livscykelperspektivet tas i beaktning när en bro byggs utifrån ett klimatperspektiv.

I rapporten rekommenderas inte något specifikt byggmaterial, istället utforskas potentialen för att använda trä som ett betydande konstruktionsmaterial för broar. I rapporten kan det konstateras att det finns olika för- och nackdelar att bygga broar av stål, betong eller trä ur ett klimatperspektiv. Å ena sidan har trä till exempel fördelen att generellt generera en lägre klimatbelastning än stål och betong vid tillverkningen. Trämaterial lagrar dessutom koldioxid under dess användningsfas. Å andra sidan pågår nu arbete för att nå en fossilfri tillverkning av stål och betong i industriell skala i Sverige inom några årtionden. Dessutom fyller olika material olika funktion i en bro där till exempel stål- och betongbroar generellt kan ha längre spännvidder än träbroar vilket innebär att mellanstöd kan undvikas i större utsträckning. Sammanfattningsvis finns det i framtiden troligtvis möjlighet att närma sig klimatneutralitet även vid användning av andra material än trä, eller åtminstone vid användning av andra material i kombination med trä.

För att lyckas sänka klimatpåverkan från byggnationer behöver klimattänket finnas med genom hela projektet från anbud till produktion, och många olika roller i ett projekt behöver involveras. Processen för att bygga klimatneutralt/-positivt kräver generellt att projekteringen sker i en något

omvänd ordning än vad som vanligen är fallet idag. För att nå uppsatta mål om klimatneutralitet/-positivitet behöver klimatberäkningar utförs i tidigt skede samt parallellt under projektets gång, där resultaten ingår i beslutsunderlag gällande konstruktionslösningar och materialval.

Ett stort ansvar ligger på materialtillverkarna - utvecklingen och tillgängligheten av klimatneutrala material behöver skyndas på. Även tillgången på giltiga miljövarudeklarationer kopplade till produkterna behöver säkerställas. Här behövs en tydlig dialog med leverantörerna men också att kraven skrivs in i leverantörsavtalen. En stor del av den klimatbelastning som uppstår under byggnationens livscykel härleds till energianvändning vid råvaruutvinning, materialtillverkning och transporter. Viktiga aspekter för att minska denna är att arbeta resurseffektivt och utnyttja dels förnybara resurser samt eftersträva cirkulära flöden.

Möjligheten till att addera växtlighet på gång-och cykelbroar har genom litteraturstudien visat kunna ge större effekter ur ett klimat- och hållbarhetsperspektiv än vid första anblicken. Lösningen som presenterats är fullt genomförbar och erbjuder mervärden som verkar för flera av de globala målen för hållbar utveckling. Grön infrastruktur är en viktig pusselbit för att bibehålla våra ekosystem och vår gemensamma livsmiljö, kan hjälpa till i hanteringen av lokala effekter av klimatförändringar och främja en god dagvattenhantering.

Trots att klimatneutralt och klimatpositivt byggande är i ropet saknas fortfarande digitala verktyg och databaser anpassade för att räkna med upptag av växthusgaser på ett standardiserat sätt. Inom området för landskapsutformning såsom grönområden och parker är tillgången på data än mer begränsad, då dessa områden hit tills helt saknat krav på klimatrapportering, vilket bidrar till ett glapp inom nationell klimatrapportering och att stora kolsänkor kan missas. En hel park som står i över 100 år har potential att lagra en stor mängd kol under lång tid, men storleken på denna kolinlagring är än så länge svår att räkna ut. Dessa luckor försvårar möjligheterna att utföra en rapportering av negativa utsläpp inom byggsektorn överlag, och går inte helt i linje med de nationella mål som finns gällande klimatpositivitet i framtiden.

Med de material och metoder som finns tillgängliga idag kan vi inte bygga en klimatpositiv gång-och cykelbro om inte någon form av kompenserande kolinlagring kan medräknas.

Uppslag till fortsatta studier:

- Undersöka möjligheten till klimatkompensation genom köp av certifierade klimatkrediter, vilka genereras från projekt och aktiviteter utanför projektgränsen där utsläpp av växthusgaser antingen undviks, minskas eller binds.
- Vidare undersöka möjligheter för lokal produktion av energi till elnätet under driftskede, genom solceller, vind-eller vågkraft som kan ersätta mindre hållbar elproduktion och genom s.k. systemexpansion utgöra utsläppsminskningar som kan tillräknas projektet.
- Undersöka möjligheten och trovärdigheten att vid beräkning av klimatpåverkan utgå från andra standarder än normalfallet, exempelvis den brittiska standarden PAS 2050.

10 LITTERATURFÖRTECKNING

Agervig Carstensen, T, Stahl Olafsson, A , Bech, N, Schmidt Poulsen, T & Zhao, C (2015) The spatio-temporal development of Copenhagen's bicycle infrastructure 1912–2013, Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography Volume 115, 2015 - Issue 2: Transformation of Cities

Anläggningsforum (2020). Klimatförbättringar i infrastrukturprojekt – Vägledning för planering och projektering. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/75013/Ineko.Product.RelatedFiles/2020_095_klimatforbattringar_i_infrastrukturprojekt.pdf

Berglund, C. och Ntirabampa, G. (2009) Träbroar för vägtrafik – möjligheter och hinder från några aktörers perspektiv. Examensarbete Luleå Tekniska Universitet.

Bergman, R. (2012). The effect on climate change impacts for building products when including the timing of greenhouse gas emissions. University of Wisconsin-Madison. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2012/fpl_2012_bergman003.pdf

Biobaserad cykelinfrastruktur för urbana miljöer. (2019) Workshop, 2019-06-19.

Brandão, M. och Levasseur, A. (2010) Assessing Temporary Carbon Storage in Life Cycle Assessment and Carbon Footprinting – Outcomes of an expert workshop. http://www.avnir.org/documentation/e_book/Workshop-Report-final.pdf

Boverket. (2019) Utsläpp av växthusgaser från bygg- och fastighetssektorn. https://www.boverket.se/sv/byggande/hallbart-byggande-och-forvaltning/miljoindikatorer---aktuell-status/vaxthusgaser/

BSI (2011) PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.

CEN. (2017a) EN 15643-5:2017. Sustainability of construction works - Sustainability assessment of buildings and civil engineering works - Part 5: Framework on specific principles and requirement for civil engineering works.

CEN. (2017b) EN 16757:2017. Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Product Category Rules for concrete and concrete elements.

CEN. (2019) EN 15804: 2012+A2:2019: Sustainability of construction works - Environmental Product Declarations - Core rules for the product category of construction products

EBC. (2020, 06). Guidelines of the European Biochar Certificate - Version 9.0E. . Retrieved from EBC foundation certificate: http/www.european-biochar.org/en/download

Embrén, B. &. (2017). Växtbäddar i Stockholms Stad - en handbok . Retrieved from stockholm.se/trad

EN ISO. (2006) EN ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.

EN ISO. (2018) EN ISO 14044:2006/A1:2018 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines – Amendment 1 (ISO 14044:2006/Amd 1: 2018)

Energiföretagen. (2019) Tillförd energi. https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi

Energimyndigheten. (2019) Drivmedel 2018. https://www.energimyndigheten.se/globalassets/statistik/drivmedel-2018.pdf

EPD International. (2015) Environmental Product Declaration for the pedestrian and bicycle bridge 15-1787-1 over Viskan in project Road 27. https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/10999/cd709_NCC_V27_bridge_.pdf

EPD International. (2018) Climate Declaration For Electricity From Vattenfall's Hydro Power. https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/9281/S-P-00088.pdf

EPD International. (2019a) General Programme Instructions For The International Epd® System Version 3.01.

EPD International. (2019b) Environmental Product Declaration for asphalt mixtures from Uddevalla asphalt plant – Porsen. https://gryphon4.environdec.com/system/data/files/6/17464/S-P-01641%20EPD%20Asphalt%20mixtures%20from%20Uddevalla%20asphalt%20plant%20_%20Porsen.pdf

EPD Norge. (2015a) Environmental Product Declaration – Limtre. https://www.martinsons.se/wp-content/uploads/2018/11/EPD_Limtra_346-236.pdf

EPD Norge. (2015b) Environmental Product Declaration – Sawn dried timber of spurce or pine. https://www.epd-norge.no/getfile.php/135810-1468939444/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-307-179-EN_Sawn-wood--English-version.pdf

EPD Norge. (2015c) Environmental Product Declaration – Structural timber of spruce and pine. https://www.epd-norge.no/getfile.php/135816-1481285791/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-EN_Structural-timber--English-version.pdf

EPD Norge. (2018) Environmental Product Declaration – Glulam beams and pillars. https://www.epd-norge.no/getfile.php/139532-1540552755/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1662-655_Spruce-glulam--untreated-.pdf

EPD Norge. (2019) Environmental Product Declaration – KL-tre. https://martinsons.se/wp-content/uploads/2019/05/NEPD-345-236-NO_KL-tre-reviderad-ODP.pdf

EttSthlm 19/06/2020: https://www.ettsthlm.se/artiklar-1/2020/6/26/tina-korsade-grnsen-jag-ville-g-emot-mina-vi-och-dom-knslor

Grönatakhandboken 02/11/20: https://gronatakhandboken.se/https:/om-gronatakhandboken

Gössling, S och Choi, A. (2015) Transport transitions in Copenhagen: Comparing the cost of cars and bicycles, Lunds Universitet

Hussein, S. och Shaswar, H. (2011) Jämförelse mellan en träbro och en betongbro: En LCA-analys med fokus på koldixidutsläpp samt en LCC-analys. Institutionen för Geovetenskaper, Byggteknik, Uppsala Universitet. Examensarbete.

Jernkontoret. (2019) HYBRIT – fossilfri stålproduktion. https://www.jernkontoret.se/sv/vision-2050/koldioxidfri-stalproduktion/

Koglin, T. (2014). Cykeln och bilsamhället. Gränsløs. Tidskrift för studier av Öresundsregionens historia, kultur och samhällsliv., 4, 64–73.

Litzén, Staffan (2006) Oro för brott i urban miljö. Trygghetsundersökningar med anknytning till Stockholm. Stockholms Universitet. Kriminologiska institutionens rapportserie

Länsstyrelserna. (2015). Rekommendationer för hantering av översvämning till följd av skyfall -stöd i fysisk planering. Stockholm: Länstrelserna.

Ma, S., He, F.,Tian, D., Zou, D., Yan, Z., Yang, Y., Zhou, T., Huang, K., Shen, H och Fang, J. (2017) Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. Biogeosciences, 15, 693-702, 2018. https://doi.org/10.5194/bg-15-693-2018.

Malmberg, J. H. (2019). Biokol i gröna klimatskal. :. Malmö: Scandinavian Green Roof Institute.

Mistra Carbon Exit (2019). https://www.mistra.org/forskningsprogram/mistra-carbon-exit/

Naturvårdsverket. (2019) http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/innovationer/

Naturvårdsverket. (2010) En analys av åtgärdsprogram för hotade arter i jordbrukslandskapet, Rapport 6356.

Naturvårdsverket. (2018) Innovationstävling Transformativ infrastruktur – banbrytande innovationer för nollutsläpp. Rapport 6855. https://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-6855-4.pdf?pid=23825

NCC. (2020) Personlig kommunikation med Linda Löwhagen, NCC Industry.

Pousette, A., Norén, J., Peñaloza, D., Wiklund, U. och Pantze, A (2014) LCA för vägbro – Analys av en byggd betongöverbyggnad och en alternativ träöverbyggnad. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. SP Rapport: 2014:73.

Rankka W., L. H. (2019-11-28). Markunderbyggnaders egenskaps-förändringar med klimatlaster-BIG A2017-28. Linköping: Statens geotekniska institut, SGI.

SBUF (2017) Klimatoptimerat Byggande Av Betongbroar – Råd och vägledning. https://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/5091a3fe-9f6c-4f98-b1e2-c2416df0aa42/FinalReport/SBUF%2013207%20Slutrapport%20Klimatoptimerat%20byggande%20av%20betongbroar.pdf

Schmidt, H.-P. (2018). Pyrogenic carbon capture and storage. Wiley, GCB Bioenergy.

SOU 2020:4. (2020). Vägen till en Klimatpositiv framtid. Statens Offentliga Utredningar.

Skogforsk. (2018) Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan – Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid. https://www.skogforsk.se/cd_495c83/contentassets/-4b4b423402784d658204a7784723637b/det-svenska-skogsbrukets-klimatpaverkan.pdf

Skånefrö (2020) Biokolsbbrorschyr: hämtad från https://skanefro.se/biokol/

Svensk Betong. (2017) Betong och klimat – En rapport om arbetet för klimatneutral betong. Rapport – Augusti 2017.

Svenskt Trä. (2016) Limträhandbok – del 1. https://www.svenskttra.se/siteassets/6-om-oss/publikationer/pdfer/limtrahandbok-del-1-svenska-2018.pdf

Svenskt Trä. (2019) Träguiden. https://www.traguiden.se/

Svenskt trä (2019) Broräcken https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/broracken/?previousState=1

Svenskt trä (2019) Brodetaljer https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktiv-utformning/trabroar/trabroar/brodetaljer/?previousState=1

Sveriges Byggindustrier (2018) Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus. https://www.ivl.se/download/18.72aeb1b0166c003cd0d1d5/1542035270063/C350.pdf

Sveriges Kommuner och Landsting (2010). GCM-handbok. Solna: SKL Kommentus AB.

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). (2013) Gröna broar ekologiska, sociala och estetiska tillgångar. https://stud.epsilon.slu.se/5417/7/blomfeldt_j_130415-1.pdf

Sveriges riksdag (2017) Riksdagsskrivelse. https://data.riksdagen.se/fil/86D53EA0-0729-4044-83A8-43F95735F511

Trafikanalys (2017) Regionala mål för cykling https://www.trafa.se/globalassets/rapporter/underlagsrapporter/2017/regionala-mal_-sammanstallning.pdf

Trafikverket. (2014) Vägbelysningshandboken, https://www.trafikverket.se/contentassets/799732cdb35e439fbb1329106fecfac8/handbok_vagbelysning_ver_14_140625.pdf

Trafikverket. (2019a) Krav Brobyggande. TDOK 2016:0204. Version 3.0.

Trafikverket. (2019b) Krav Brounderhåll. TDOK 2013:0415. Version 4.0.

Trafikverket. (2019c) Råd Brobyggande. TDOK 2016:0203. Version 3.0.

Trafikverket. (2019d) Råd Brounderhåll. TDOK 2013:0416. Version 4.0.

Trafikverket. (2020) Klimatkalkyl. http://webapp.trafikverket.se/Klimatkalkyl/

TräGuiden. (2015) Projektering. https://www.traguiden.se/planering/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/projektering/

TräGuiden. (2019) Träbroar – historisk återblick. https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/trabroar/trabroar--historisk-aterblick/trabroar--historisk-aterblick/

Woodnet. (2019) Svenkt Trä vill se fler träbroar. https://www.woodnet.se/article/view/647008/svenkt_tra_vill_se_fler_trabroar

BILAGA A – LCA-DATA FÖR KLIMATPÅVERKAN AV MATERIAL SOM ANVÄNDS I KAPITEL 5.5

Material	Emissions-faktor	Enhet	Källa
Akrylatfärg	1,1	kg fossil CO_2e/kg	https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider56/products-documents/elastocolor-pain-paintplus-rasante-rasantesf-tonachinoplus-waterproof-01378-epdc2d0607879c562e49128ff01007028e9.pdf?sfvrsn=3677c2a_0
Aluminium	8,4	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Aluminium
Armeringsstål	1,03	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Stål, armeringsstänger
Asfaltsprimer	1,1	kg fossil CO_2e/kg	Samma antagande som ”Akrylatfärg”
Betong	0,16	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Betong, anläggning
Diesel	2,88	kg fossil CO2e/liter	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Diesel (MK 1)
Elektricitet	0,097	kg fossil CO_2e/kWh	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – El
Gummi	2,7	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Syntetgummi (Ballastmatta)
Impregnerings-färg	1,1	kg fossil CO_2e/kg	Samma antagande som ”Akrylatfärg”
Konstruktions-trä och trä till växtbädd	0,11	kg fossil CO_2e/kg	Genomsnitt av tv EPD från Norwegian Wood Industry Federation • https://www.epd-norge.no/getfile.php/135810-1468939444/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-307-179-EN_Sawn-wood--English-version.pdf • https://www.epd-norge.no/getfile.php/1358161481285791/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-308-179-EN_Structural-timber--English-version.pdf
Limträ	0,13	kg fossil CO_2e/kg	Genomsnitt av EPD från Martinsson, Moelven och Setra: • https://www.epd-norge.no/getfile.php/135786-1468935559/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-346-236-NO_Limtre.pdf • https://www.epd-norge.no/getfile.php/139068-1530528866/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1576-605_Standard-limtrebjelke.pdf • https://www.epd-norge.no/getfile.php/139532-1540552755/EPDer/Byggevarer/Heltreprodukter/NEPD-1662-655_Spruce-glulam--untreated-.pdf
Polymermodifi-erad bitumen	0,4	kg fossil CO_2e/kg	LIFE CYCLE INVENTORY: BITUMEN, Eurobitume
Polystyren	3,4	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Cellplast, expanderad polystyren (Lättfyllnadsmaterial)
Rostfritt stål	4,5	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Stål, rostfritt stål och rostfri armering
SBS modifierad bitumen	0,04	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Bitumenmatta
Slitlager asfalt	0,44	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Asfalt, 6,5% bitumen
Stål	1,5	kg fossil CO_2e/kg	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Stål, generellt värde, EU - average
Substrat, växtbädd	0,00376	kg fossil CO_2e/kg	Substratet består av tegelkross, pimpsten, scoria, biokol, leca Detta har approximerats med Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Grus (vikt 1,5 ton/m3)
Transport, lastbil	0,106	kg fossil CO_2e/ton km	Trafikverkets Klimatkalkyl version 6.1 – Lastbil