



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## **Reducerat koldioxidutsläpp från betongbroar genom dagens tillgängliga teknik**

Downloaded from: <https://research.chalmers.se>, 2026-04-05 19:34 UTC

Citation for the original published paper (version of record):

Al-Ayish, N., Ekström, D., Uppenberg, S. (2018). Reducerat koldioxidutsläpp från betongbroar genom dagens tillgängliga teknik. *Husbyggaren*, 1/2018: 15-18

N.B. When citing this work, cite the original published paper.

# REDUCERAT KOLDIOXIDUTSLÄPP

från betongbroar genom dagens tillgängliga teknik



Genom aktiva val och ett medvetet klimatarbete i samverkan mellan alla aktörer i värdekedjan finns det **möjligheter att reducera klimatbelastningen från vanliga plattrambroar med storleksordningen 50** procent. Om klimataspekten däremot inte beaktas vid utformning och val av produkter visar projektresultaten att det finns risk att klimatbelastningen ökar med samma storleksordning.

TEXT: NADIA AL-AYISH, STEFAN UPPENBERG & DANIEL EKSTRÖM

**T**ransportinfrastrukturen står för en betydande del av väg- och järnvägens totala klimatpåverkan där en stor del av utsläppen kommer från tillverkningen av stål och betong, två huvudbeståndsdelar i broar och andra byggnadsverk. För att minska utsläppen av klimatgaser och nå de nationella miljömålen har Trafikverket sedan 2016 börjat ställa klimatkrav på leverantörer i investerings- och underhållsprojekt. Kravet gäller för alla projekt med ett investeringsvärde på över 50 miljoner kronor. Trafikverkets långsiktiga mål är att minska klimatgasutsläppen

Brotyp	Antal	%
Plattrambro	5681	46
Rörbro	3455	28
Plattbro	1752	14
Valvbro	932	7
Balkbro	376	3
Balkrambro	247	2
Bågbro	3	0
Övriga	3	0
<b>Total</b>	<b>12 449</b>	<b>100</b>

Tabell 1. Fördelning av Trafikverkets broar med spännvidd 20 meter eller kortare.  
(Sammanställning hämtad från BaTMan mars 2016.)

» med 15 procent till 2020, 30 procent till 2025 och noll nettoutsläpp till 2045 jämfört med utgångsläget 2015.

Inom SBUF projektet "Klimatoptimerat byggande av betongbroar - råd och vägledning" har man undersökt hur klimatsmart man kan bygga vanligt förekommande betongbroar med dagens bästa tillgängliga teknik för utformning och dimensionering samt materialval. Konkreta möjligheter att uppfylla Trafikverkets klimatkrav undersöktes genom en rad olika åtgärder som identifierats i samråd med experter inom området.

#### ANALYS PÅ SVERIGES VANLIGASTE BROTYP

En viktig del i projektet var att identifiera ett referensfall som representerar majoriteten av dagens brobyggande. Detta för att tydligt kunna beskriva vilka förbättringspotentialer som finns för att minska infrastrukturens klimatgasutsläpp. Enligt den undersökning av Trafikverkets brostatistik som genomfördes konstaterades att de vanligaste broarna har en konstruktionslängd på 20 meter eller mindre. Dessa utgör 75 procent av alla befintliga broar. Av dessa broar dominerar plattrambro som utgör 46 procent av det totala beståndet, se tabell 1. Utformningen och principen för en plattrambro är enligt figur 1.

För att tydligt kunna hitta ett samband mellan åtgärder och potentiell minskning av klimatpåverkan har man i projektet valt att analysera sex olika brofall. Dessa utgörs av befintliga broar med olika dimensioner, exponeringsklasser, betongspecifikationer och armeringsmängder. Det är utifrån dessa unika förutsättningar som klimatpåverkan har räknats fram. Broarna har analyserats in i minsta detalj ända in på betongens sammansättning.

#### BERÄKNING AV KLIMATGASUTSLÄPP MED LIVSCYKELANALYS

För att kunna reducera klimatpåverkan av

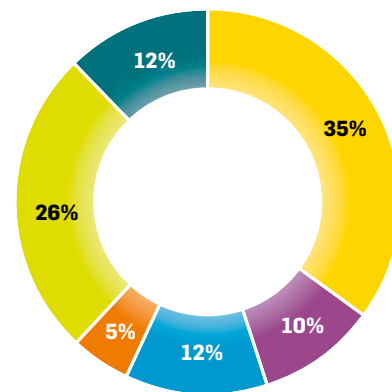
en produkt behöver man först identifiera all material och energi som flödar in och ut ur ett system samt de emissioner som uppstår. Detta görs lämpligast med hjälp av en så kallad livscykelanalys, LCA. I en LCA analyseras en produkts miljöpåverkan under olika skeden i dess livslängd, från utvinning av råmaterial till sluthantering.

I detta projekt har de valda broarnas klimatpåverkan analyserats med en LCA som följer standarden EN15804. Denna standard beskriver metoden för LCA av byggprodukter och innehåller produktspecifika regler som ligger till grund för framtagning av miljövarudeklarationer, så kallade EPD. En fördel med att använda denna metod är att det redan finns många EPD'er som har tagits fram av byggindustrin, speciellt av cementföretag där flera olika cementtyper har deklarerats. Detta möjliggör en beräkning av betongens klimatpåverkan på en detaljerad nivå. En annan fördel med metoden är moduluppdelningen av livscykeln vilket medför en tydlig redovisning av utsläppskällor under olika skeden. De livscykelskeden som har tagits med i projektet är produktion av råmaterial, transport till byggarbetsplats, samt underhåll.

De materialrelaterade åtgärderna som har identifierats i projektet och som beskrivs närmare i denna artikel är följande:

- Produktval cement
- Produktval armering
- Tillsatsmaterial i betong
- Val av betongkvalitet och -typ
- Konstruktiv optimering av mängder
- Optimering ur underhållsperspektiv

Dessa åtgärder relateras till ett referensscenario som utgår från Trafikverkets klimat-kalkyl v.4, vilket innebär betong utan tillsatsmaterial med anläggningscement från



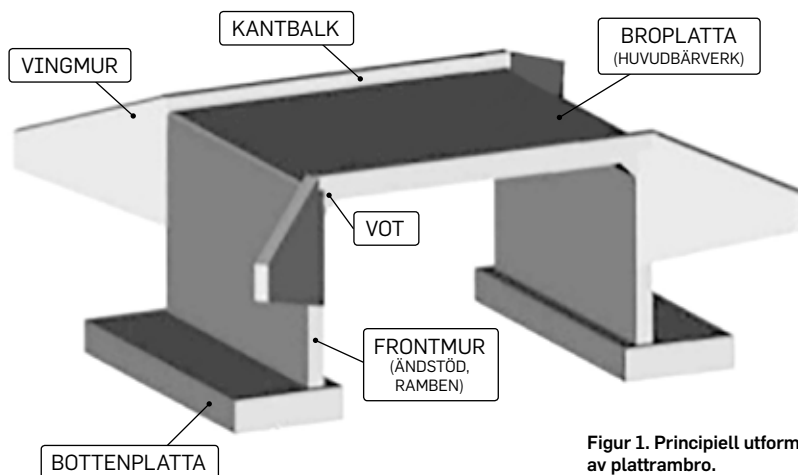
- BETONG
- ARMERINGSSTÅL
- KONSTRUKTIONSSTÅL
- ASFALT
- MASKINER/TRANSPORTER
- ÖVRIGT

Källor till utsläpp av klimatgaser (ur livscykel-perspektiv) från byggande av infrastruktur. Från klimat- och energikalkyl för Nationell Transportplan 2014–2025, WSP.

Cementa (CEM I 42,5 N-SR 3/MH/LA) och armering tillverkad med genomsnittlig europeisk teknik. Resultatet från livscykelanalysen redovisas i tabell 2. De sex analyserade broarna redovisas i tabellen som bro A till F.

#### BETONGENS SAMMANSÄTTNING

Betong består till huvudsak av cement, vatten och sten (ballast). Hur dessa råmaterial proportioneras och blandas till en mix har en avgörande roll för betongens egenskaper som exempelvis beständighet mot yttre angrepp, hållfasthet och arbetbarhet. Hur



Figur 1. Principiell utformning av plattrambro.  
(Trafikverket, handbok BaTMan).

## Skillnad i klimatgasutsläpp för bro A – F

ÅTGÄRD (%)	A	B	C	D	E	F
Ingen åtgärd	0	0	0	0	0	0
<b>Produktval cement (%)</b>						
Lägsta CO <sub>2</sub> e	-8	-6	-8	-6	-8	-8
Högsta CO <sub>2</sub> e	+14	+11	+14	+12	+14	+14
<b>Tillsättning av tillsatsmaterial (%)</b>						
GGBS 20%	-10	-8	-10	-8	-10	-10
Flygaska 35% (helt eller delvis, beroende på exponeringsklass)	-11	-8	-11	-9	-11	-11
GGBS 35% ( helt eller delvis)	-	-12	-12	-13	-15	-12
Flygaska 35% (helt eller delvis)	-	-13	-13	-13	-15	-13
GGBS 35% (helt, enligt studie av Löfgren m.fl.)	-21	-16	-21	-17	-21	-20
<b>Betongkvalitet och -typ (%)</b>						
SKB	+2	+1	+2	+1	+2	+2
Lägsta möjliga btg kvalitet	-	-4	-5	-8	-9	-4
<b>Korrosionsskydd (%)</b>						
Rostfri	-	+1*	+4	+1*	-	-
Rostfri+slimmad (-10 mm)			+3			
<b>Produktval armering (%)</b>						
Låg CO <sub>2</sub> e	-15	-27	-15	-25	-15	-17
Europeisk	-5	-9	-5	-8	-5	-5
Okänt ursprung	+26	+46	+27	+42	+26	+29
<b>Transporter (%)</b>						
Armering, 0 km(700 km)	-1	-2	-1	-1	-1	-1
Betong, 0 km (30 km)	-2	-1	-2	-1	-2	-2
Ballast, 0 km (40 km)	-0	-0	-0	-0	-1	-0
<b>Kombinationsåtgärd – betong (%)</b>						
Min cement, max tillsats, min btg klass	-17	-20	-23	-24	-27	-21
Min btg klass, max tillsats	-11	-15	-17	-16	-18	-15
Min cement, max tillsats	-17	-17	-19	-18	-22	-19
<b>Optimering av konstruktion (%)</b>						
Ökad armering – minskad betong, endast överbyggnad						-15
<b>Estetiska val (%)</b>						
Vitcement			+33			
<b>Åtgärd – lägsta möjliga (enligt standard)</b>	<b>-33</b>	<b>-46</b>	<b>-38</b>	<b>-48</b>	<b>-42</b>	<b>-38</b>
<b>Åtgärd – högsta möjliga (enligt standard)</b>	<b>+41</b>	<b>+57</b>	<b>+59</b>	<b>+54</b>	<b>+40</b>	<b>+42</b>

\* Rostfri armering endast kantbalkar

Tabell 2. Procentuell skillnad i klimatgasutsläpp för varje åtgärd jämfört med utgångsläget.

mycket cement och proportionen mellan cement och vatten är reglerad i betongstandard SS137003 och är uppdelad på olika miljöer som betongkonstruktionen kommer vara exponerad för, så kallade exponeringsklasser.

För att kunna minska betongens klimatpåverkan behöver man veta vad det är som orsakar den. Betongens klimatpåverkan kommer till största del från produktionen av cementklinker vilket är den huvudsakliga komponenten i cement. I cementtillverkningen kommer ungefär 35 procent av klimatpåverkan från förbränning av bränslen medan de resterande 65 procent kommer från kalcineringsprocessen där den bundna koldioxiden frigörs genom upphettning. Genom att ersätta en del av cementklinkern med alternativa bindemedel som restprodukter från industrin fås ett cement med betydligt lägre koldioxidbelastning. Exempel på sådana material är granulerad masugnsslagg och flygaska, som kan användas direkt utan eller med lite efterbehandling. Användning av restpro-

dukter som alternativa bindemedel förbättrar den industriella ekonomin och ger därmed en lägre resursanvändning. För om flygaska och masugnsslagg inte används läggs de på deponi.

En klinkerersättning kan antingen göras vid tillverkning av cement eller vid tillverkning av betong. Vid tillsättning av tillsatsmaterial i samband med tillverkning av cement blir produkten ett cement, där cementets sammansättning och egenskaper regleras i den europeiska cementstandarden SS-EN197-1. Det finns även andra sätt att minska klimatpåverkan från betongen. Det som eftersträvas egentligen är en total minskning av cementklinker i hela konstruktionen men minst lika viktigt är det även att se över var råmaterialen kommer ifrån.

Proportionerna för betongen i detta projekt har tagits fram i samarbete med Thomas Concrete Group och är en fabriksbetong som gjuts på plats. Nedan redovisas några av de råd och vägledning baserade på resultatet av livscykelanalysen i projektet.

#### Produktval cement

Kräv information om produktens klimatprestanda ur ett livscykelperspektiv, helst tredjepartsgranskad EPD enligt EN15804, och jämför vid val av produkt. Ju större andel betong brokonstruktionen har i förhållande till armeringsmängd, desto större genomslag har valet. Ett andrahandsalternativ till produktspecifik klimatinformation kan vara att välja cement tillverkad med torr cementtillverkningsprocess för cement tillverkad med våt process för minskad klimatbelastning.

#### Tillsatsmaterial i betong

Eftersträva så låg andel cementklinker som möjligt och utnyttja de möjligheter till inblandning av tillsatsmaterial, som flygaska och slagg (GGBS) ger. Hur stora mängder tillsatsmaterial som får tillsättas regleras i SS137003 och AMA Anläggning, beroende på vilka exponeringsklasser som föreskrivs.

#### Betongkvalitet och typ

Välj så låg betongkvalitet som möjligt, och

» därmed så högt vct som möjligt, enligt vad som tillåts i SS137003. Undvik att välja högre betongkvalitet än vad som krävs för aktuell exponeringsklass (vilket kan vara lockande av rationalitets- och produktions-tekniska skäl om olika brodelar har olika exponeringsklasser).

#### Kombination betongåtgärder

Se över möjligheterna att kombinera produktval cement, val av betongkvalitet och -typ samt att minimera mängden cementklinker genom inblandning av tillsatsmaterial så att klimatbelastningen minimeras.

#### ARMERINGENS URSPRUNG

Armeringens klimatpåverkan beror på tillverkningsprocess samt vilka energislag som används vid tillverkning. Vanlig kolstålsarmering är en stålprodukt som med fördel kan produceras från skrot. Skrotbaserat stål tillverkas i ljusbågsugnar som drivs med elkraft vilket, utöver en resursbesparing i råmaterial, även kan ge stora besparingar i klimatpåverkan beroende på elens ursprung. I detta projekt jämförs skrotbaserad armering från Norge och Italien med okänt stål där köparen inte har kontroll över var stålet kommer ifrån och hur det är tillverkat. Det okända stålet består till största del av jungfruligt stål där råjärnet har tillverkats i masugn och anses representera ett globalt medelvärde för ståltillverkningen. Följande råd och vägledning för val av armering har tagits fram:

- Det finns stora skillnader i klimatgasutsläpp mellan olika specifika produkter, så val av produkt spelar mycket stor roll. Kräv information om produktens klimatprestanda ur ett livscykelperspektiv, helst tredjepartsgranskad EPD enligt EN15804, och jämför vid val av produkt. Ju större andel armering brokonstruktionen har i förhållande till betongmängd, desto större genomslag har valet. Ett andrahandsalternativ till produktspecifik klimatinformation kan vara att beakta följande vid produktval:
- Europeisk armering framför utom-europeisk
- Så hög andel återvunnet stål som möjligt i tillverkningsprocessen
- Så hög andel förnybar energi som möjligt i tillverkningsprocessen

#### OPTIMAL RELATION MELLAN BETONG OCH ARMERING

Vid byggande av betongbroar är klimatpåverkan direkt relaterad till de mängder betong och stål som används. Genom att optimera relationen mellan dessa kan klimatpåverkan reduceras ytterligare. Vilket

material som ska minskas och vilket som ska ökas beror på dessa materials inbyggda klimatpåverkan men generellt brukar en ökning av armeringsmängden och en minskning av betongens tvärsnitt ge en lägre klimatpåverkan. Det är därför viktigt att armeringen har en så låg klimatpåverkan som möjligt för att den totala reduktionen av klimatpåverkan blir så stor som möjligt. Här kan brokonstruktören påverka men det är inte alltid så enkelt. Möjligheterna till optimering styrs i slutändan mycket av tillgänglig tid och resurser beroende på avtals-/entreprenadformer, samt av hur aktörer samverkar kring ett byggnadsverks utformning och konstruktion.

- Utnyttja möjligheter till optimering genom parametrisering, digitalisering och arbetssätt för samverkan och en effektiv, iterativ design- och konstruktionsprocess. Stora möjligheter till minskad klimatbelastning finns genom att inkludera materialens klimatbelastning som ytterligare en parameter (utöver kostnad, byggharhet etc.) i optimeringsarbetet.

#### BRONS BESTÄNDIGHET OCH UNDERHÅLL

Ju längre en bro håller och ju mindre underhåll och reparation som behöver göras desto lägre blir klimatpåverkan per år. Men hur kan man öka brons beständighet och minska på reparationerna? Det som bron bör vara skyddad mot är bland annat korrosion av armeringen. Ett sätt att saktar korrosionsprocessen är genom att ha ett tillräckligt tjockt täckande betongskikt samt en tät betong som är korrekt utförd och beständig mot yttre angrepp. Ett annat sätt är att använda rostfri armering.

I projektet studerades den potentiella klimatpåverkan av att använda rostfri armering i kantbalkar och som ytarmering i överbyggnad. Effekten av att använda rostfri armering är att det täckande betongskiktet som ska skydda vanlig armering kan minskas. Med de förutsättningarna antogs att kantbalkar inte behöver underhållas eller bytas under brons livslängd, samt att tätskikt inte behövs, vilket får till följd att bron inte behöver stängas av för underhåll och trafikstörningar kan undvikas. Om man för brons hela livslängd beaktar klimatgasutsläpp från såväl material för byggande och underhåll av bron, som från vägtrafiken på bron, visar beräkningsresultaten på att:

- I högt belastade trafikmiljöer kan en brokonstruktion med korrosionsskyddad armering i kantbalkar och ytarmering, eller annan konstruktion som säkerställer att tätskikt och kantbalkar inte behöver bytas under livstiden, ge stor klimat-

besparing på grund av att framtida avstängningar för underhållsarbeten undviks och därmed trafikomledningar och -störningar. Det finns dock stora osäkerheter kring hur stora klimatgasutsläppen blir från underhållsåtgärder som ligger 30 år, 60 år eller ännu längre fram i tiden.

- Vid användning av korrosionsskyddad armering bör möjligheterna att minska täckande betongskikt tillvaratas för minskad klimatbelastning.

#### SAMVERKAN MELLAN AKTÖRER I ETT TIDIGT SKEDE

Projektet visar att genom att använda dagens tillgängliga teknik går det att minska klimatpåverkan avsevärt från en av Sveriges vanligaste brotyper. Totalt går det att minska klimatpåverkan med en storleksordning på 50 procent i relation till Trafikverkets referensscenariot.

Det som krävs för att minska klimatpåverkan från betongkonstruktioner är att man tidigt i projektet ställer klimatkrav. Det är dessutom viktigt att det finns en samverkan mellan alla aktörer i värdekedjan beställare-konsult-entreprenör-materialleverantör för att identifiera och skapa förutsättningar för att realisera dessa reduktionspotentialer. Ingen av de aktörer som samverkat i projektet hade på egen hand kunnat bena ut de komplicerade samband mellan krav från Trafikverket, eurokoder, betongstandarder, konstruktionsförutsättningar, estetiska krav, produktionsförutsättningar, produktval m.m. som analyserats här. Det finns med andra ord en stor potential till förbättring av hur branschen arbetar gemensamt och systematiskt med att inkludera även klimataspekten i det normala arbetet med att optimera brobyggande. ■



**NADIA AL-AYISH**  
RISE



**STEFAN UPPENBERG**  
WSP



**DANIEL EKSTRÖM**  
WSP