

STÅLBYGGNAD & DRIFT OCH UNDERHÅLL En bro utan lager och övergångskonstruktioner är billigare att bygga – och kräver mindre underhåll. Det visar en livscykelanalys av två brotyper. Målet är att hitta bra sätt att bedöma brokonstruktioner ur kostnads- och miljöaspekter.

Bro utan lager vinnare när miljöanalys görs

Av JÖRGEN ERIKSEN, doktorand, Luleå tekniska universitet

DAGENS brokonstruktörer ställs allt oftare inför olika ekonomiska krav vid dimensionering av nya broar. Dessa krav är inte enbart relaterade till byggkostnaden utan ofta även till underhållskostnaden.

För de vanligaste brotyperna är lager och övergångskonstruktioner några av de mest kostsamma komponenterna att underhålla, vilket innebär att broar med integrerade landfästen har en fördel då de byggs utan dessa delar. En bro utan lager och övergångskonstruktioner ger en besparing i både byggkostnad och underhållskostnad. Ett minskat underhållsbehov medför mindre trafikstörningar och därmed också en mindre negativ inverkan på både miljön och de trafikanter som använder sig av bron.

En allt vanligare metod att bedöma en konstruktions långsiktiga hållbarhet ur både ett ekonomiskt och miljömässigt perspektiv är att göra en livscykelanalys (LCA) av konstruktionen.

Kräver mycket material

För att kunna utföra en livscykelanalys av en bro så krävs det information om samtliga olika skeden i byggprocessen, från produktionen av råmaterial till de olika komponenterna, genom hela bron livslängd ända till slutskedet med utrivning och återvinning av material. Det är en komplicerad procedur, men med hjälp av anpassade datorprogram så kan de material, komponenter och processer som har störst inverkan identifieras och detaljgranskas.

Broar är oftast massiva strukturer som kräver stora materialmängder, vilket innebär att materialproduktionen och byggprocessen står för en väldigt stor andel av totalkostnad och miljöpåverkan.

I det europeiska forskningsnätverket European Cooperation in the field of

Scientific and Technical Research (COST) ingår "Action C25" där forskare från 27 europeiska länder samarbetar och utbyter erfarenheter inom ämnesområdet kring långsiktigt hållbara byggnader, eko-effektivitet och livscykelanalyser. Som en del i detta projekt tas riktlinjer fram för utförandet av livscykelanalyser av byggnader och broar¹. Dessutom görs ett flertal fallstudier med livslängdsanalyser av olika konstruktioner.

Två brotyper jämförs

Denna fallstudie är resultatet av ett samarbete mellan universiteten i Luleå och Coimbra, Portugal. Fallstudien har utförts på en bro med integrerade landfästen, byggd år 2006 över Leduån i Västerbotten som en samverkansbro i ett spann på 40 meter, med stålbalkar och samverkande brobanepatta av betong, se figur 1.

I livscykelanalysen jämförs denna bro med den först föreslagna lösningen, vilket var en konventionell betongbro i två spann på 18 meter, med ändskärmar vid båda ändstöden samt ett mellanstöd i älvdäran. För båda fallen är den fria brobredden fem meter, och båda broarna är dimensionerade för en teknisk livslängd på 120 år.

Bron byggdes som ett pilotobjekt inom projektet Intab, vilket är ett internationellt projekt med fem partners, inriktat på hur broar med integrerade landfästen uppträder. Partners i projektet var Rambøll Sverige, Arcelor Profil Luxemburg samt universiteten i Luleå (LTU), Aachen (RWTH) och Liège (ULg).

Bron konstruerades av Rambøll och byggdes av entreprenören Rekab för Vägverket region norr. Vid byggandet av bron placerades mätutrustningar på denna av LTU för att kunna mäta deformationer av trafiklast och temperaturvariationer².



FÖRFATTAREN

Jörgen Eriksen, doktorand inom stålbyggnad vid Luleå tekniska universitet – avdelningen för byggkonstruktion.

Kostnadsanalysen för en bro under dess livscykel kan delas in i två delar: kostnader för ägaren (förvaltaren) under den studerade tidsperioden samt kostnader för de direkta användarna av bron. I denna analys har tidsperioden valts till 120 år och startåret för analysen är år 2008.

Kostnader delades upp

Förvaltarens kostnader för bron kan delas upp i bygg-, drift-, underhålls- och rivningskostnader³. Byggkostnaden för respektive lösning beräknas på materiallistan och enhetskostnaden som tagits fram för vardera alternativet.

Enligt entreprenören var byggkostnaden för bron med integrerade landfästen cirka fyra miljoner kronor och byggkostnaden för det ursprungliga betongalternativet hade varit cirka sex miljoner kronor.

Driftkostnaden samt kostnaden för underhåll och reparationer har baserats på behovet och frekvensen för de underhållsåtgärder som antagits för respektive bro. Ett underhållsscenario har angivits för båda alternativ, med utgångspunkt från erfarenheter erhållna från Vägverkets broinspektörer i området, se tabeller 1 och 2.



Figur 1: Den byggda samverkansbron över Leduån med integrerade landfästen.

Trafikantkostnaden har beräknats utifrån den förväntade inverkan som byggandet, underhållet och utrivningen har på trafiken.

I detta fall rörde det sig om en nydragning av vägen, så ingen påverkan fanns på trafiken under byggskedet. Under driftskedet ger större underhållsåtgärder och reparationer upphov till förseningar samt en ökad risk för olyckor. Dessa försenings- och olyckskostnader har beräknats med ett datorprogram som heter BridgeLCC⁴.

Underhållsåtgärdernas förväntade tidsbehov har bedömts och inarbetats i analysen, kostnaden för tidsförseningarna har angetts till 50 kr/h per fordon. Medeltrafikmängden har antagits till 5 000 fordon/dygn, med en exponentiell ökning av 0,5 procent. Olycksfrekvensen, angiven per miljon fordonskilometer, har antagits till 1,9 vid normal körning och 2,2 vid underhållsåtgärder med tillåten hastighet 30 km/h. Kostnaden per olycka har angivits till 100 000 kronor.

Då trafikstörningarna är betydligt mer omfattande för betongbron, för att underhållsåtgärderna är både fler och mer frekventa, så visar analysen att den totala trafikantkostnaden är cirka tio gånger större för betongbron än för samverkansbron. Dock är trafikantkostnaden för de båda broarna i princip försumbara jämfört med ägarkostnaden, se figur 2, vänstra diagrammet.

Dyrare bygga betongbro

Resultaten av denna analys visar också att byggkostnaden för betongbron är cirka 50 procent högre än för samverkansbron, mycket beroende på en avsevärt längre byggtid på grund av ett mer omfattande pålningsarbete och med ett mellanstöd i älvfåran.

Underhållskostnaderna, sett över hela livslängden, har beräknats till cirka 2,8

miljoner kronor för betongalternativet och cirka 2,6 miljoner kronor för samverkansbron, vilket ger en skillnad på cirka sju procent. Den stora skillnaden mellan alternativen är givetvis målningskostnaden för samverkansbron samt underhållskostnaderna för lager och övergångskonstruktioner för betongbron.

Påverkar miljön

Livscykelanalysen har utförts enligt de riktlinjer som finns i ISO standarderna för LCA^{5, 6} enligt metoden ecoindicator⁷ med hjälp av programmet SimaPro⁸. I programmet finns en stor mängd valbara material och processer samt deras inverkan på ett stort antal miljömässiga faktorer och programmets databaser uppdateras kontinuerligt.

Det studerade objektet, det vill säga den funktionella enheten i analysen, är en bro som dimensionerats för den tekniska livslängden 120 år. En livscykel upprättas i programmet, utifrån angivna indata avseende materialåtgången för respektive bro, både för byggnationen och för de angivna underhållsåtgärderna.

I analysen av livslängdens slutskede antas 80 procent av stålbalkarna kunna återvinnas med utnyttjandegraden 95 procent. För betongbron har allt bortrivet material antagits kunna användas som markfyllning.

En av svårigheterna vid upprättandet av livscykelanalyser är valet av lämpliga material och processer. I denna analys har för stålbalkarna det av programmet angivna "medelstålet" från Europeisk tillverkning använts, och det valda målningsystemet består av epoxy och polyuretan.

Data för samtliga material förutom

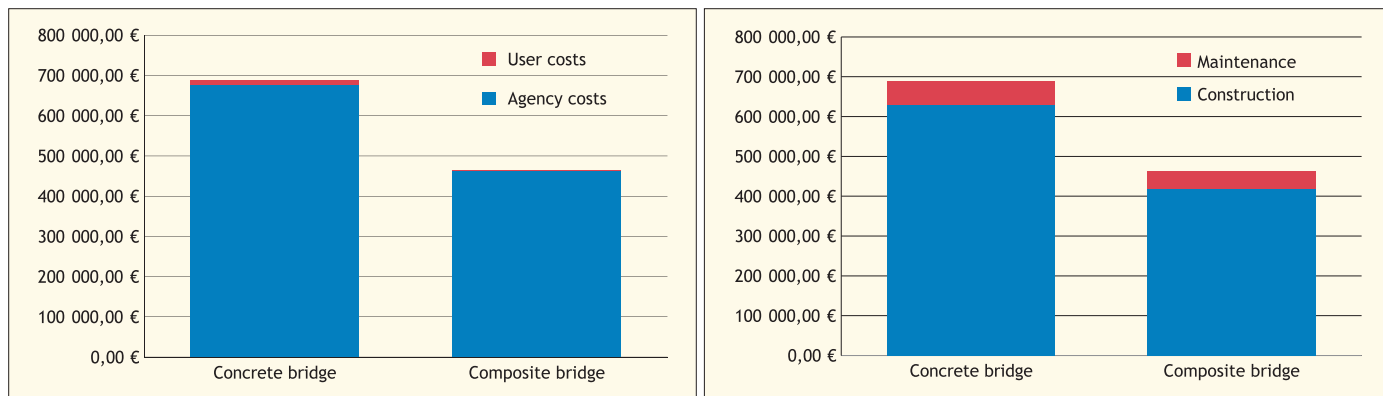
Fortsättning s. 20 ►

Underhållsaktivitet	Enhetskostnad	Inleds år	Avslutas år	Frekvens
Broinspektion	5 000 kr	6	96	6
Ommålning av stålbalkar	360 000 kr	30	90	30
Kantbalksutbyte	488 000 kr	30	90	30

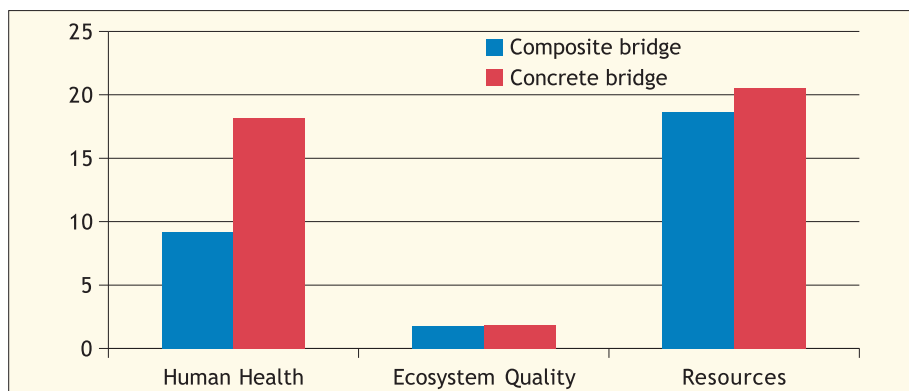
Tabell 1: Antagen underhållsplan för samverkansbron.

Underhållsaktivitet	Enhetskostnad	Inleds år	Avslutas år	Frekvens
Broinspektion	5 000 kr	6	96	6
Kantbalksutbyte	578 000 kr	30	90	30
Ommålning av lager	12 000 kr	30	90	30
<i>Övergångskonstruktioner:</i>				
Rengöring av gummiprofil	1 000 kr	1	99	1
Utbyte av gummiprofil	25 000 kr	10	90	10
Utbyte av stålprofil	105 000 kr	20	80	20

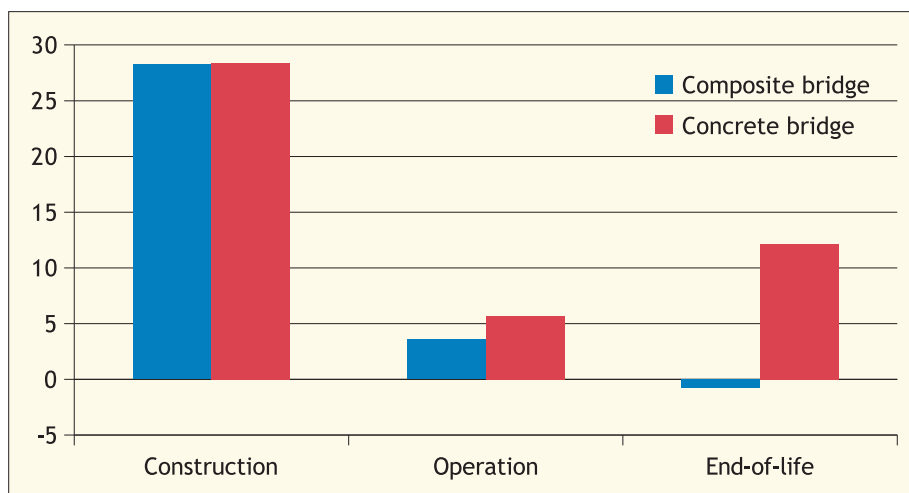
Tabell 2: Antagen underhållsplan för betongbron.



Figur 2. Livscykelkostnader för de båda alternativen.



Figur 3. Total skada per kategori för respektive bro.



Figur 4. Total skada per livscykelstadium för respektive bro.

► stål, transporter och processer i livslängdens slutskede har hämtats från databasen Ecoinvent⁹ som ingår i programmet SimaPro. Data för ståltillverkningen har hämtats från databasen IISI¹⁰.

För analysen har metoden "Eco-indicator" valts, en metod som baseras på skadeverkan och använder tre skadekategorier: Human health, Ecosystem quality och Resources. De normaliserade resultaten för respektive bro visas i figur 3, uppdelade i dessa tre skadekategorier. Figur 4 visar samma resultat, men är nu uppdelade i respektive skede av livscykel.

Enligt denna analys ger samverkans-

bron lägre skadeverknings på alla kategorier, vilket kan ses i figur 3. Byggskedet har en avgörande inverkan på resultatet vilket kan avläsas i figur 4. Slutskedet kan också ha en avgörande inverkan, främst beroende på möjligheterna till återvinning.

Kostar mindre i underhåll

Sammanfattningsvis har resultaten av denna fallstudie varit att bron med integrerade landfästen erhållit både lägre totalkostnad samt mindre inverkan på miljön jämfört med det studerade alternativet med en bro i två spann av betong. Främst beroende på ett mindre antal underhållsåtgärder då lager och övergångs-

konstruktioner saknas, samt att samverkansbrons stålbjälkar kan återvinnas.

Det finns många sätt att göra liknande analyser, och även ett flertal andra brotyper hade kunnat vara av intresse för detta brolägg. Osäkerheten och valmöjligheterna i analysen är många, och det gäller att vara tydlig med att ange vilka antaganden som har gjorts, att motivera dessa samt att ange på vilka grunder valen baserats.

Forskningsgruppen för stålbyggnad inom avdelningen för byggkonstruktion vid Luleå tekniska universitet kommer att fortsätta att arbeta med dessa frågor inom det internationella nätverket (COST C25) och därigenom kunna öka kunskapen inom detta komplexa ämnesområde, som onekligen är intressant för framtiden. □

Referenser:

- Eriksen, J.; Gervásio, H.; Rebelo, C.; Simões da Silva, L.; Veljkovic, M.; Vesikari, E.: Guidelines to perform Life Cycle Analysis of bridges. COST Action C25, Sustainability of Constructions – Integrated Approach to Life-Time Structural Engineering. Proceedings of Seminar: 6-7 October 2008, Dresden, Germany. pp 5.27-5.51. COST Action C25 homepage: www.cmm.pt/costc25
- Nilsson, M.: Evaluation of In-situ Measurements of Composite Bridge with Integral Abutments, Licentiate Thesis, Luleå University of Technology, Luleå, Sweden, 2008.
- Gervásio, H.; Simões da Silva, L.: Comparative life-cycle analysis of steel-concrete composite bridges, Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, pp. 1-17, 2007.
- Ehlen, M.: BridgeLCC 2.0 Users Manual, NISTIR 6298, Gaithersburg, MD, National Institute of Standards and Technology, 2003.
- ISO 14040. Environmental management

– life cycle assessment – Principles and framework, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.

⁶ ISO 14044. Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2006.

⁷ Goedkoop, M.; Spriensma, R.: The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Pré Consultants, Amersfoort, The Netherlands, 2000.

⁸ SimaPro 7. Software and database manual, Pré Consultants, Amersfoort,



The Netherlands, 2008.

⁹ Ecoinvent Centre. Ecoinvent data v2.0. Ecoinvent reports 2000 No. 1-25, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007. Retrieved from: www.ecoinvent.org

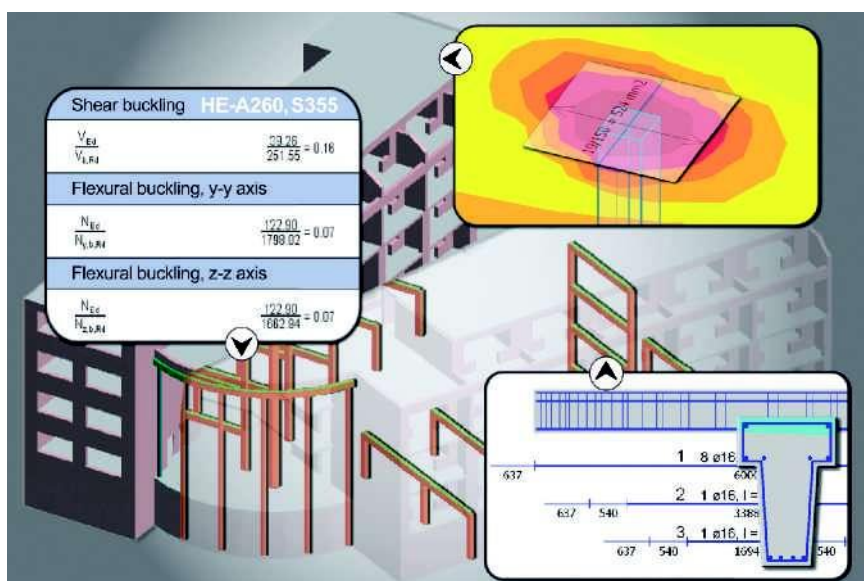
¹⁰ International Iron and Steel Institute (IISI), World Steel Life Cycle Inventory. Methodology report 1999/2000, Committee on environmental affairs, Brussels, Belgium, 2002.

Kunskap är makt!

Se SBRs hela kursprogram på www.bygging.se



Professionella lösningar för stål- & betongdimensionering



Nya FEM-Design 8!

Vi har laddat upp med mängder av nyheter i årets release version av FEM-Design. Fokus är kundnytta – enkla men mycket effektiva verktyg som underlättar modellering och framförallt resultatpresentationen. Skicka ett email till info@strusoft.com och beställ en demonstration eller ytterligare information.

Årets version av FEM-Design är anpassad till Eurocode.

Nödvändig armering i balkar och pelare beräknas och redovisas i tydliga grafiska tabeller och bilder. Armeringsmängder i väggar och plattor kan dessutom definieras av användaren i en s.k kontrollberäkning.

3D-modulens ståldimensionering med hänsyn till imperfektioner och andra ordningens teori har blivit en stor succé.

StruSoft
Structural Design Software

www.strusoft.com www.fem-design.com