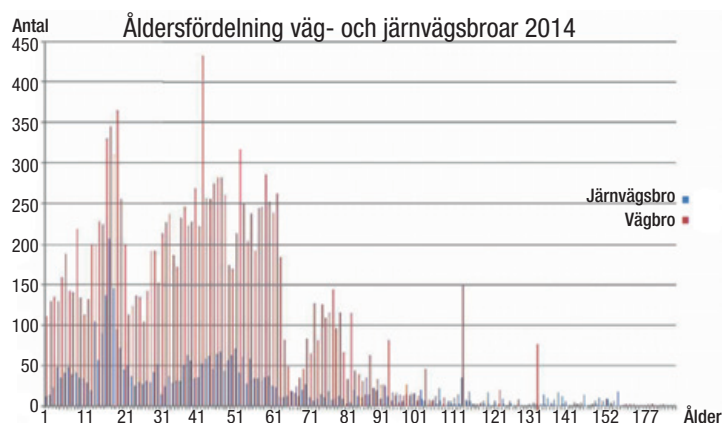


Sladdlös mätning på byggnadskonstruktioner

– Mätning för effektivare tillståndsbedömning



Figur 1. T.v. Åldersfördelning av broar i Sverige, [4]. T.h. Skanning av bro med fotogrammetri, [6].

För att öka Europas globala konkurrenskraft har Europeiska kommissionen identifierat flera samhällsutmaningar. En av dem är att "Försäkra miljöintegritet, motståndskraft och hållbarhet" och att uppnå ett "smart, grönt och integrerat transportsystem", [1]. Samtidigt beräknas tillväxten inom transportsektorn öka inom den närmaste framtiden. Transportförvaltningen förutspår att den totala persontrafiken ökar med 63 procent fram till år 2050, efter en ökning med 75 procent under de senaste 25 åren, [2]. En stor del av denna tillväxt kommer att tilldelas det befintliga transportsystemet, vilket ökar utnyttjandet och belastningen på befintlig infrastruktur.

En stor utmaning blir alltså hur framtidens transportinfrastruktur ska förvaltas på bästa och mest effektiva sätt. Undersökningar har till exempel visat att cirka 1/3 av de europeiska järnvägsbroarna är över 100 år, [3]. I Sverige är situationen lite bättre och ungefär 1/3 av broarna är över 50 år, se figur 1. Det uppskattas att mindre än 1 procent av broarna är under nyproduktion och resterade finns i förvaltningsfasen. Generellt gäller för alla våra byggnads-

konstruktioner att det existerande beståndet är betydligt större än det som byggs nytt. Större fokus bör därmed läggas på att försöka förstå hur vi på bästa sätt ska ta om hand vårt befintliga byggnadsbestånd, inte minst våra broar.

Samtidigt som vårt brobestånd blir äldre fortsätter trafikintensiteten, hastigheter och belastningar att öka. Det finns också ett mål att marknadsandelen för vår kollektivtrafik ska fördubblas till 2030, [5]. För att tillse att våra konstruktioner

är säkra och uppfyller sin funktion finns det ett växande behov av tillståndsbedömning, infattande visuella inspektioner, övervakning med olika mätsystem, planeringsverktyg för underhåll och i vissa fall reparation, förstärkningar och/eller utbyte. Detta är ett globalt problem och har belysts i ett flertal studier, [7-11]. Det finns också ökat intresse för den befintliga transportinfrastrukturen i Sverige, där 289 miljarder SEK föreslås användas till åtgärder under perioden 2018-2029, vilket motsvarar ungefär hälften av transportinfrastrukturbudgeten, [12].

I denna artikel belyser vi möjligheter med modern mätteknik med fokus på sladdlösa mätsystem (wireless monitoring).

Erfarenhet

Luleå tekniska universitet, Avdelningen för konstruktionsteknik, bedriver omfattande forskning avseende tillståndsbedömning, förstärkning och mätning på konstruktioner – och då inte minst broar. Under den senaste 25-årsperioden har vi genomfört flera fullskaleprovningar där syftet bland annat har varit att verifiera bärförmåga och jämföra denna med befintliga normer och regler. I tillägg har vi dessutom genomfört många mätprojekt i fält. Detta arbete har utmynnat i en vision.



Björn Täljsten
Professor, Tekn. Dr.
Luleå Tekniska Universitet/ Soapstone AB



Thomas Blanksvärd
Bitr. Professor, Tekn. Dr.
Luleå Tekniska Universitet, Skanska AB



Cosmin Popescu
Tekn. Dr. Luleå Tekniska Universitet



Anders Carolin
Tekn. Dr. Trafikverket



Figur 2: Mätning på bro 2006, omfattande kabeldragning.



Figur 3: Princip för mätsystem.

Vision

Vår vision för en effektiv framtida tillståndsbedömning och uppföljning av transportinfrastrukturen är att man har eller skapar en 3D modell, en enkel, flexibel och utbyggbar digital tvilling av byggnadsverket och dess delar, men även av omgivningen. All tillgänglig information finns lagrade i modellen och konstruktionen är försedd med mätsensorer som kan följas i realtid. Det finns också möjligheter att simulera data för olika framtida scenarier, detta kan till exempel gälla bärförmåga eller beständighet, men det skulle också kunna betrakta större delar av ett lokalt transportnätverk vid till exempel större underhållsinsatser. Det kommer också vara enkelt att i samband med till exempel underhållsinsatser eller reparationer, att visualisera för utförare vad och var samt även hur åtgärden ska genomföras (Augmented Reality). Konstruktionen skulle också i ett framtida scenario kunna kommunicera med fordon där man till exempel direkt kan få information i samband överlastar eller slitage. Även denna information lagras då i modellen. För att uppnå denna vision utgör mätsystemet en väsentlig parameter.

Utmaning

Vår vision innehåller många utmaningar och en av dessa är mätsystem som är enkla att installera, tar jämförelsevis lite plats, inte behöver omfattande kabeldragning och kan direkt kommunicera med omvärlden via molnbaserade plattformar. Samtidigt ska det helst inte störa pågående verksamhet och dessutom vara tillräckligt kostnadseffektivt.

När vi ser tillbaka på en del av våra gamla mätinstallationer, se till exempel figur 2, kan vi tydligt notera den omfattande härvan av kablar. Även om det snyggades till innan själva mätningen så kan läsaren enkelt förstå det omfattande arbetet med att dra alla dessa kablar, samt att koppla in dom i förstärkare och övrig mätutrustning. Man förstår hur omfattande detta kan bli om man har flera mätområden inom 50 – 100 meters radie, vilket inte är ovanligt.

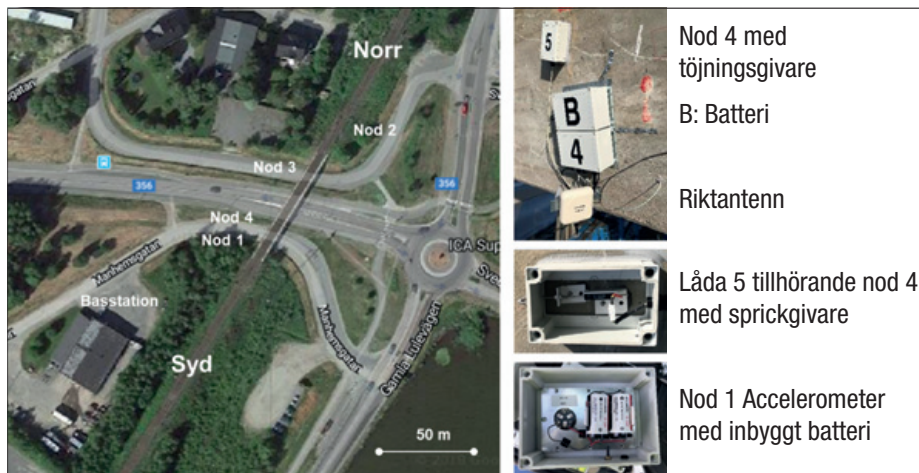
I tillägg till kostnaden för tid kräver också dessa system strömförsörjning. Ofta finns det ström att tillgå eller så kan man också ta med sig mobila elverk. Detta skapar dock merarbete. Den tekniska utvecklingen inom mättekniken och även batteritekniken för den delen har gått kraftigt framåt under de sista 10 åren och detta har vi tagit fasta på.

Vi har varit med och vidareutvecklat ett mätsystem som i princip inte behöver ha fast strömförsörjning från "två hål i väggen", utan man kan lokalt använda sig av batteridrivna noder som samlar in data vilken man kan tömma lokalt eller skicka via en basstation (denna fungerar dock bäst med 220 V) till molnet.

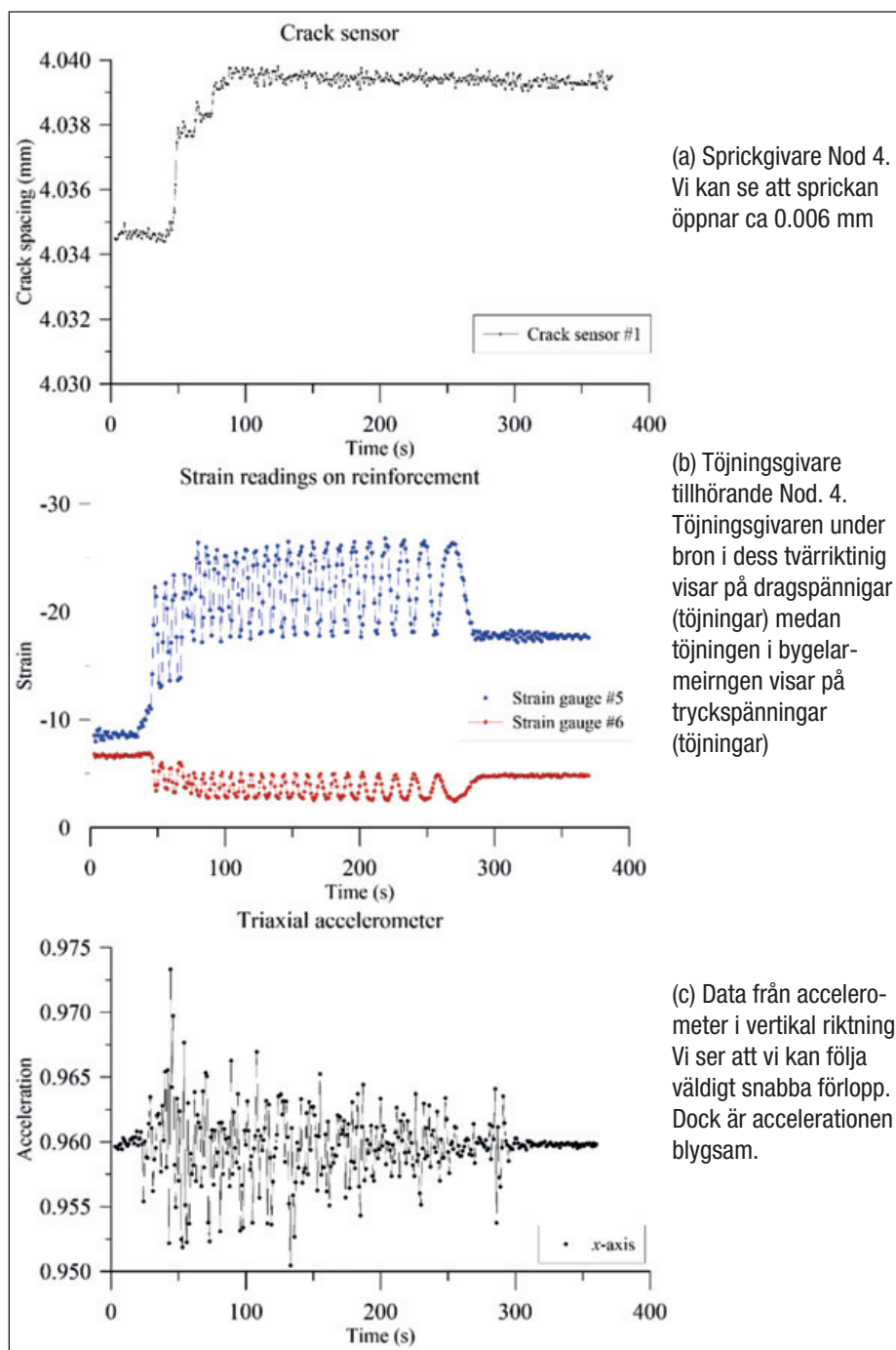
Mätsystem

Uppföljning genom mätning är ett kraftfullt verktyg för att kartlägga eller verifiera påkänningar i en konstruktion. Det finns många olika typer av sensorer och även många olika sätt att samla in information och distribuera denna information på. Erfarenheten från att varit engagerad i många olika fältprojekt är att "less is more", det vill säga använda sig av få givare men på rätt plats. Dessutom ska man eftersträva fjärrstyrda system. I det aktuella fallet visas principen för ett sladdlöst fjärrstyrt mätsystem i figur 3. Oavsett vad man ska mäta så behöver man sensorer, se vänstra delen i figur 3, dessa kan vara temperaturgivare, töjningsgivare, accelerometrar, sprickgivare, givare för att mäta krympning i betong etc. Sensorerna är kopplade till noder som lagrar data lokalt, men kan också skicka den vidare till en centrallokal så kallad basstation (Gateway) som med hjälp av en vanlig router sänder data vidare upp i molnet för nedladdning och bearbetning.

Noderna är batteridrivna med högeffektiva batterier, 19 000 mA och 3,6 V, noden är också försedd med en antenn för effektiv dataöverföring till basstationen. Beroende på omfattningen i mätningen räcker batteridriften vanligtvis i 3–6 månader. Man kan förstås få längre livslängd på batterierna, men då krävs fler batterier och man tappar lite effekten med storleken på noden. Finns det inte då utmaningar. Jo, en utmaning har varit batteritiden och den angivna strömförbrukningen av sensorerna från tillverkaren – det stämmer inte alltid, vilket leder till högre strömförbrukning och kortare batteritider. Andra utmaningar har varit räckvidd mellan nod och basstation där vi funnit att riktantenner är att föredra, man bör dock ha fri sikt mellan nod och basstation för att få bästa effekt och vi har provat systemet i distanser kring 500 m utan större problem. Även om mätsystemet som helhet är smidigt att installera så tar fortfarande givarinstallationen relativt lång tid och om möjligt bör man



Figur 4: Mätssystem på järnvägsbro, Googlemaps samt foto B. Täljsten.



Figur 5: Resultat från (a) sprickgivare, (b) armeringstjorning samt (c) acceleration i bronsvertikala riktning. Resultaten är från ett passageratåg, därav de väldigt små påkänningarna.

planera att installera givare under den varma perioden om man vill undvika intäckning och påföring av extern värme.

I figur 4 visas en installation av systemet på en järnvägsbro i Boden, Norrbotten. Här har syftet varit att verifiera funktionen hos mätsystem genom att mäta töjningar i bøj – och bygelarmering samt förändring i spricköppning över några sprickor. I tillägg uppmättes även rörelser med accelerometer. Till höger i figuren visas Nod 4 med tillhörande batterilåda samt låda där vi skyddat sprickgivaren samt nod 1 med accelerometer. Samtliga noder drivs av batteri medan basstationen är uppkopplad mot elnätet.

Helasystemet installerades under våren 2018, installationen tog sammanlagt 2 dagar, detta omfattade även installation av 4 stycken svetsade töjningsgivare på armering som bilades fram samt 2 töjningsgivare på rälen (nod 2). Utöver denna bro har systemet installerats och utprovats på ytterligare 6 platser 2017-2018 med olika problemställningar och behov.

Resultat

Resultatet från mätningen kan antingen ses via ett webbaserat gränssnitt eller laddas ned lokalt och data kan behandlas efter behov. En utmaning har och är fortfarande den mängd data som ska behandlas, speciellt gällande data från accelerometer. Vi håller för närvarande på att utveckla en algoritm som ska kunna förenkla denna process. I figur 5 visas några mätkurvor vid tågpassage av ett passagerartåg. Systemet har nu varit installerat över 6 månader utan större problem med mer än att vi har varit tvungen att ersätta några komponenter i basstationen som gick sönder på grund av oaksam hantering.

Slutsats och framtida utveckling

I artikeln diskuteras behovet av mätning på byggnadskonstruktioner i fält för att kunna erhålla bättre indata för tillståndsbedömning. Vi presenterar ett nyutvecklat sladdlöst mätsystem som underlättar installation av mätsystem. Systemet fungerar, med en viss handpåläggning, tillfredsställande, men fortfarande krävs omfattande tid för installation av sensorer. Vår erfarenhet gällande fältmätningar och fältprovningar är att de kräver noggrann planering och det är viktigt att man först ställer sig frågan varför man ska mäta? Därefter

vad ska vi mäta och hur mycket samt hur länge och i vilken miljö? Kan man svara på dessa frågor och ställa samman ett system som motsvarar de specifikationer man ställer upp – ja då kan det vara värdefullt med mätning. Det är också viktigt att man tidigt planerar hur man ska ta om hand data och hur den ska presenteras. Mätning ska göras för att man behöver, inte för att man kan.

Nästa steg i vår forskning är att koppla mätdata tydligare till digitala modeller för tillståndsbedömning och hur man kan följa detta i realtid. Vi ser framför oss teknik där vi med till exempel maskininlärning automatiskt erhåller information när i tiden insatser ska genomföras och vad som behöver åtgärdas för en effektiv förvaltning av byggnadsverk. ■

Referenser

- [1] European Commission. Horizon 2020. *The EU Framework Programme for Research and Innovation*. <http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en>
- [2] Shift2Rail (2016). *Shift2Rail will be the first European rail joint technology initiative to seek*

focused research and innovation and market-driven solutions by accelerating the integration of new and advanced technologies into innovative rail product solutions. Information is available at <http://shift2rail.org/>

- [3] Farrar, C.R., Worden, K. (2007). *An Introduction to Structural Health Monitoring*. Philosophical Transactions of the Royal Society A. Mathematical, Physical and Engineering Sciences 365(1851): 303-315

[4] www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-broar-och-tunnlar/Skotsel-av-broar/

[5] www.svenskkollektivtrafik.se/global-assets/partnersamverkan/dokument/om-oss/publikationer/rapportfordubblad-mark-nadsandel-for-kollektivtrafik-2030-2016

[6] Crabtree Gärdin D., and Jiménez A., 2018, Master Thesis: *Optical methods for 3D-reconstruction of railway bridges, Infrared scanning*, Close range photogrammetry and Terrestrial laser scanning, pp 104

[7] U.S. Department of Transportation (2016). *Transportation in the United States: Highlights from 2015 transportation statistics annual report*. U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, Washington, DC, United States, 30

[8] BRIME (2001). *Bridge management in Europe*. Final report, Bridge Management

in Europe (BRIME) – 4th framework programme, Brussels, Belgium.

[9] COST-345 (2004). *Procedures required for the assessment of highway structures*. Final report, Cooperation in the field of scientific and technical research (COST), Brussels, Belgium, 182

[10] SAMARIS (2006). *State of the art report on assessment of structures in selected EEA and CE countries*. Deliverable D19, Sustainable and Advanced Material for Road Infrastructure (SAMARIS), Brussels, Belgium, 104.

[11] SB (2007a). *Sustainable Bridges - Assessment for future traffic demands and longer lives*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław, Poland.

[12] Löfven, S., & Johansson, A. (2016). *Infrastruktur för framtiden – innovativa lösningar för stärkt konkurrenskraft och hållbar utveckling*, Ministry of Enterprise and Innovation, Stockholm, Sweden, 78

FÖRFATTARNAS TACK

Författarna vill framförallt tacka EU-projektet Horizon 2020 och In2Rail för finansiellt support gällande installationen på järnvägsbron i Boden.