

# VIBRATIONSANALYS FÖR BEDÖMNING AV BYGGKONSTRUKTIONER

Niklas Grip, Natalia Sabourova, Yongming Tu och Lennart Elfgren

## SAMMANFATTNING

I projektet beskrivs och tillämpas några metoder för tillståndsbedömning av olika typer av konstruktioner med och utan skador. Tillståndsbedömningen sker med hjälp av vibrationsanalys.

Detektering av skador av olika typ och storlek diskuteras. Randvillkorens betydelse undersöks för att få överensstämmelse mellan förutspådda och uppmätta egenmoder och egenfrekvenser.

Med den programvara som utvecklats är det möjligt att detektera sprickor i enkla betongplattor med hjälp av vibrationsmätningar. För mer avancerade konstruktioner finns en potential att vidareutveckla programvaran.

## 1. BAKGRUND

Behovet av tillståndsbedömning av byggnader har ökat i Sverige och övriga världen under de senaste årtiondena. Påverkan från klimatet och andra belastningar kan successivt bryta ner en byggnad, varvid sprickor och andra försvagningar kan uppkomma i till exempel pelare, väggar, plattor, bjälkar och grundläggning. Metoder för tillståndsbedömning kan då användas för att tillåta fortsatt bruk av konstruktionen med nuvarande eller ökade laster, alternativt ge information om vilka förstärkningsåtgärder som behöver vidtas för att förlänga byggnadens livslängd. En effektiv tillståndsbedömning främjar därför både miljö och samhällsekonomi.

Mätning och analys för tillståndsbedömning är traditionellt både dyrt och tidskrävande. Några anledningar till detta är komplicerad mätutrustning, krav på noggrann planering och kvalificerad personal, samt avancerade analysmetoder. Allt eftersom prisnivån på robusta sensorer och annan teknologi går ner ökar möjligheterna att bygga in sensorer för kontinuerlig mätning och analys. På sikt är det därför önskvärt med mer lättillgängliga metoder för tillståndsbedömning som automatiskt identifierar viktiga nyckelvärden och helst redan på ett tidigt stadium varnar när en konstruktions svängningar ändras på ett sätt som kan indikera behov av underhållsåtgärder. Ämnet behandlas fortlöpande på vetenskapliga konferenser t ex IABSE i Stockholm 2016, se Elfgren et al. (2016).

I ett tidigare projekt ”Inte bara broar – Vibrationsanalys för tillståndsbedömning”, SBUF nr 12513 (2011-2014), undersöktes hur vibrationsmätningar på en konstruktion kan användas för att identifiera olika svagheter, till exempel sprickor, se Grip (2013) och Hedlund et al. (2014). En programvara skrevs i MATLAB för sådan tillståndsbedömning med metoder som utgår från vibrationsmätningar och en finit elementmodell av den undersökta konstruktionen, Sabourova (2010), Grip and Sabourova (2011) och Forsberg et al (2013).. I detta fortsättningsprojekt är

avsikten att göra dessa analysmetoder mer lättillgängliga och närmare undersöka hur pass små skador de klarar att indikera på några olika typer av konstruktioner. Vi utvärderar hur samma metoder kan användas för att ge mer korrekta finita elementmodeller för konstruktioner med svårbestämda randvillkor, som till exempel när ett fundament vilar på jord med okända styvhetsgenskaper. Vi tillämpar de framtagna metoderna på en betongplatta, ett betonghus och på tre olika brotyper, Grip et al (2016).

## 2. SYFTE

Projektets syfte är att

- (1) tillämpa de beskrivna metoderna för tillståndsbedömning på olika typer av konstruktioner med och utan skador enligt exempel i Figur 2.1
- (2) speciellt undersöka och redovisa hur väl skador av olika typ och storlek detekteras, och om osäkra randvillkor kan korrigeras så att en modell ger bättre överensstämmelse mellan förutspådda och uppmätta egensvängningar.
- (3) göra en förenklad och mer flexibel version av en programvara som är fri att ladda ner och med färdiga moduler för de undersökta konstruktionerna. Härmed förenklas för företag i byggbranschen att tillämpa metoderna. Detta underlättar ett effektivt underhåll av olika byggnadskonstruktioner. Genom att kunna lokalisera svagheter i en konstruktion på ett tidigt stadium kan underhålls- och förstärkningsarbeten utföras och effekten av dessa kan undersökas genom en ny tillståndsbedömning. Detta kan förlänga en byggnads livslängd avsevärt.

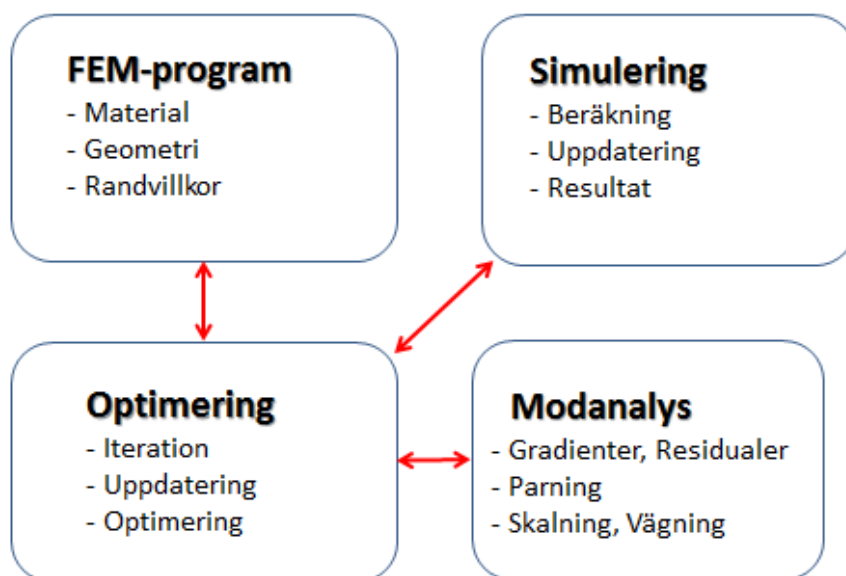


Figur 2.1. Studerade konstruktioner. Överst fackverksbro över Åby älv. Nedtill från vänster: bågbro över Kalix älv, spännbetongbro vid LKABs gruva i Kiruna samt till vänster en hängande betongplatta och ett exempel på ett nio våningars betongtorn.

## 3. UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR

### 3.1 Programvara

Den programvara som beskrevs i Grip (2013) för FEM-uppdatering har nu överarbetats och strukturerats om. Den innersta kärnan utför fortfarande samma FEM-uppdateringsalgoritm som tidigare, med någon liten felkorrigering för viktning av olika uppdateringsparametrar. I övrigt har allt skrivits om i objektorienterad Matlab med struktur enligt Figur 3.1.



Figur 3.1 Struktur för program för detektering av defekter med hjälp av vibrationsmätningar, Grip et al. (2016).

### 3.2 Betongplatta

Som ett första steg för att utvärdera metoder för FEM-uppdatering gjorde vi i laboratoriemiljö mätningar på en fritt upphängd armerad betongplatta, se Figur 3.2. Plattan har storleken  $1\ 050 \times 340 \times 70$  mm och var försedd med tre längsgående armeringsjärn, Grip (2013).

Plattan utsattes för olika skadefall genom att en spricka sågades tvärs plattan i mittsnittet:

Fall 0: Ingen skada

Fall 1: 6,5 mm djup sågad spricka

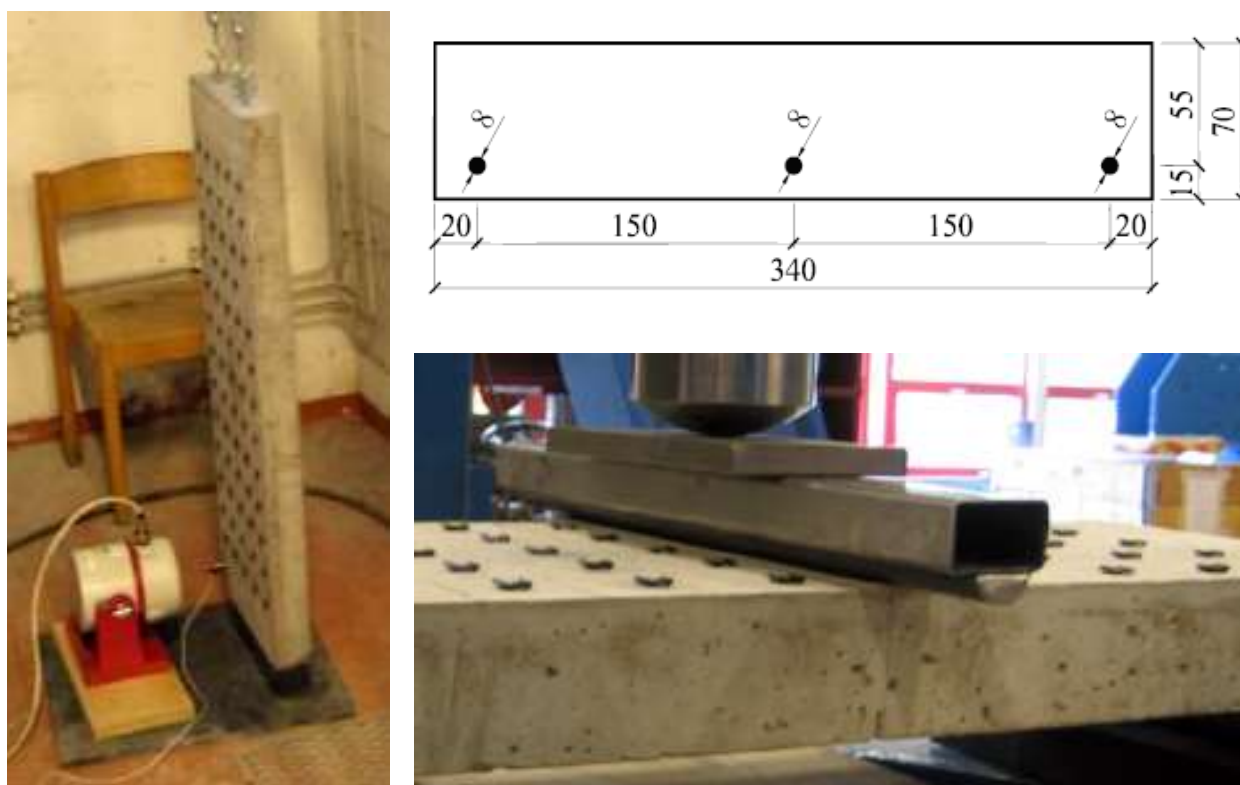
Fall 2: 13,5 mm djup sågad spricka

Fall 3: Som Fall 2 + sprickor från belastning med en linjelast om totalt 6,5 kN (18,5 kN/m)

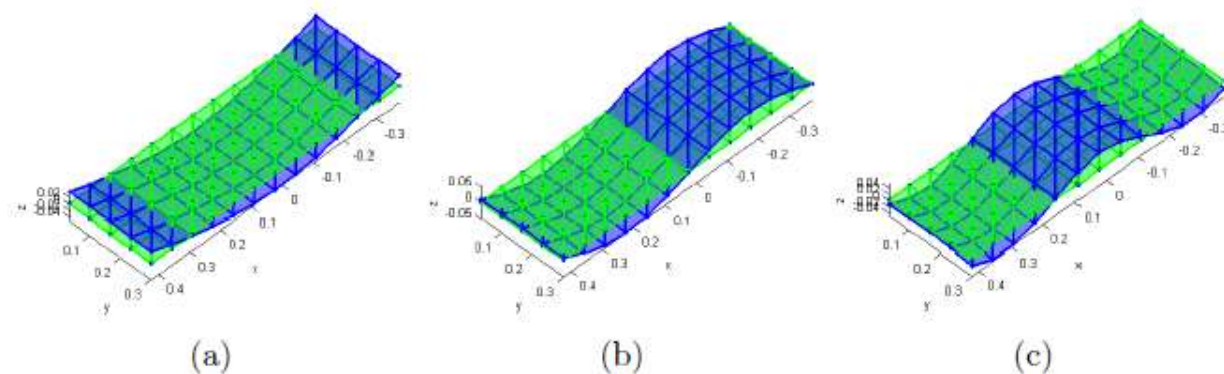
Fall 4: Djupare sprickor än i Fall 4 genom att lasten ökades med hjälp av tvingar.

Plattan var fritt upphängd för att isolera den från andra vibrationer. Från mätningar av den exciterande kraften och 65 enaxliga accelerometrar placerade i  $5 \cdot 13 = 65$  punkter kunde plattans frekvenssvar i varje sådan punkt räknas ut. Sedan kunde modformer och frekvenser räknas ut med standardmetoder.

Figur 3.3 visar de tre första böjmodformerna Grip et al (2017).



Figur 3.2. Fritt hängande betongplatta, storlek 70· 340· 1050 mm, med längsgående armering av 3  $\phi$ 8 mm. Till vänster ses en apparat som kan skaka plattan. Plattan har 65 accelerometrar i fem rader med 13 i varje. Till höger visas en sektion av plattan och belastningen för att åstadkomma Fall 3 med en sågad spricka i underkant utökad med hjälp av en linje-last.



Figur 3.3 De tre först mätta böjmoderna. Grön färg visar den odeformerade plattan.  
 (a) Mod. 1: egenfrekvens  $f = 249,03 \pm 0,11$  Hz. (b) Mod 3:  $f = 668,40 \pm 0,52$  Hz.  
 (c) Mod. 5:  $f = 1269,88 \pm 0,38$  Hz. Grip et al (2017).

### 3.3 Bågbro över Långforsen i Kalix älv

Bågbron över Långforsen i Kalix älv byggdes 1960 när järnväg drogs från Kalix till Morjärv för att underlätta transporten av timmer, massa och papper. En ny kustnära linje mellan Haparanda och Kalix byggdes 2008-2012 som ett första steg i en ny Norrbottniabana. I samband med detta önskade man höja den ursprungliga axel-lasten 22,5 ton till 25 ton på delen mellan Kalix och

Boden och en tillståndsbedömning påbörjades därför av bron vid Långforsen, se Sabourova et al. (2016).



Figur 3.4 Järnvägsbron vid Långforsen över Kalix älv bygd 1960. Bågen har 87 m fri spannvidd.

Mätningar gjordes och bron har modellerats med finit element metod, Wang et al (2016). Modellerna har successivt uppdaterats, den första modellen gjordes med 780 enkla balk-element, den andra med 4 997 element (skalelement i båge och farbana och balkelement i farbanebalkar och pelare) och den tredje modellen med 47 438 element (skalelement i huvudkonstruktionen, tredimensionella balkelement i pelarna och masselement för ballasten). Modellerna har uppdaterats med avseende på jordens kompressionsmodul  $E_s$  och betongens densitet  $\rho_c$  och elasticitetsmodul  $E_c$ . Jordens kompressionsmodul  $E_s$  kunde genom uppdateringen sänkas från 25 till 12 kg/cm<sup>3</sup>. Betongens densitet  $\rho_c$  kunde sänkas från 2,6 till 2,48 t/m<sup>3</sup> och dess elasticitetsmodul  $E_c$  höjas från 32,5 till 39,8 GPa. .

### 3.4 Fackverksbro över Åby älv

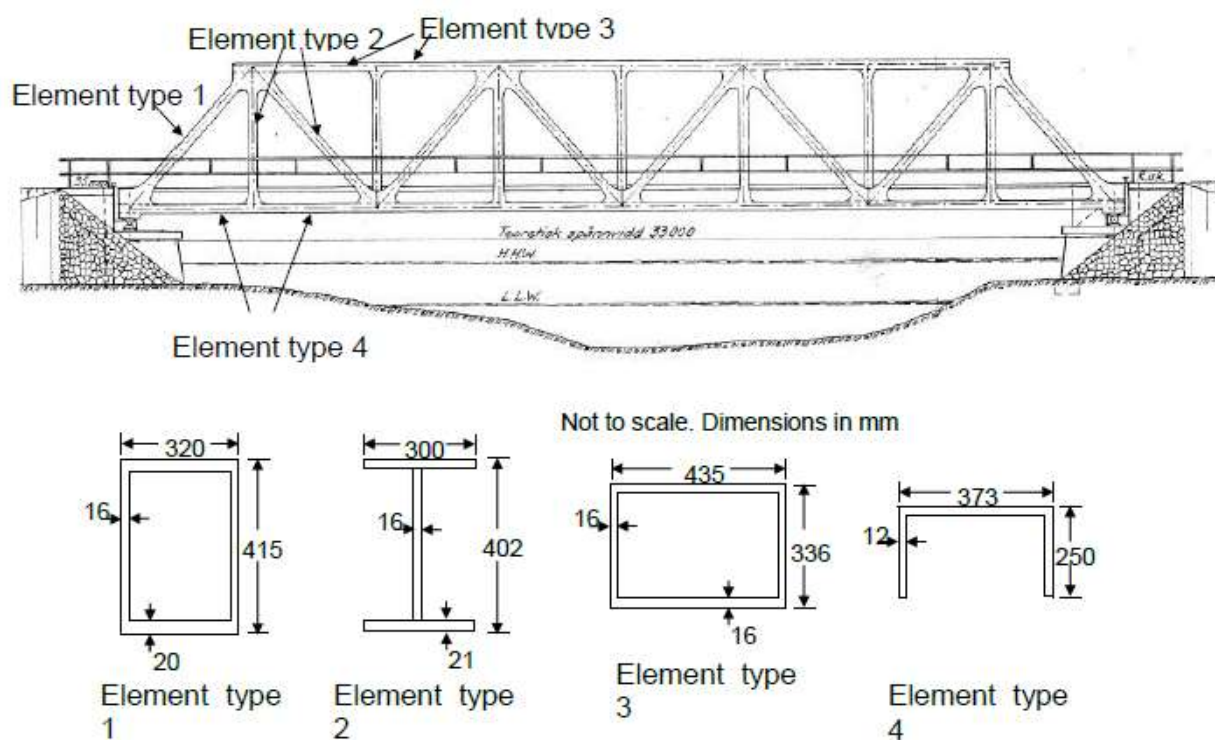
Järnvägsbron över Åby älv ligger på norra stambanan ca 45 km väster om Piteå. Det är en fackverksbro och den togs i bruk 1955, se Figur 3.5. På grund av problem med bland annat spårläget byttes bron 2012, I samband härmed gjorde mätningar medan bron fortfarande var i bruk. Den lyftes därefter åt sidan, placerades på nya upplag och provades till brott 2013, se Grip (2013) och Häggström (2016a, b).



Figur 3.5. Järnvägsbron över Åby älv från 1955. (Foto Thomas Blanksvärd)

Inverkan av skador på bron har även studerats i EU-projektet MAINLINE. Allmän information om projektet ges i Nilimaa et al. (2016) och Paulsson et al. (2016).

Bärförmåga som funktion av olika korrosionsskador på grund av målningens nedbrytning för bron har studerats. Tidsberoende skador på bland annat elementtyp 3 i Figur 3.6 undersöktes med och utan målning. Allmän nedbrytning på alla delar har störst påverkan följt av fallet med lokala skador på den övre lådbalken

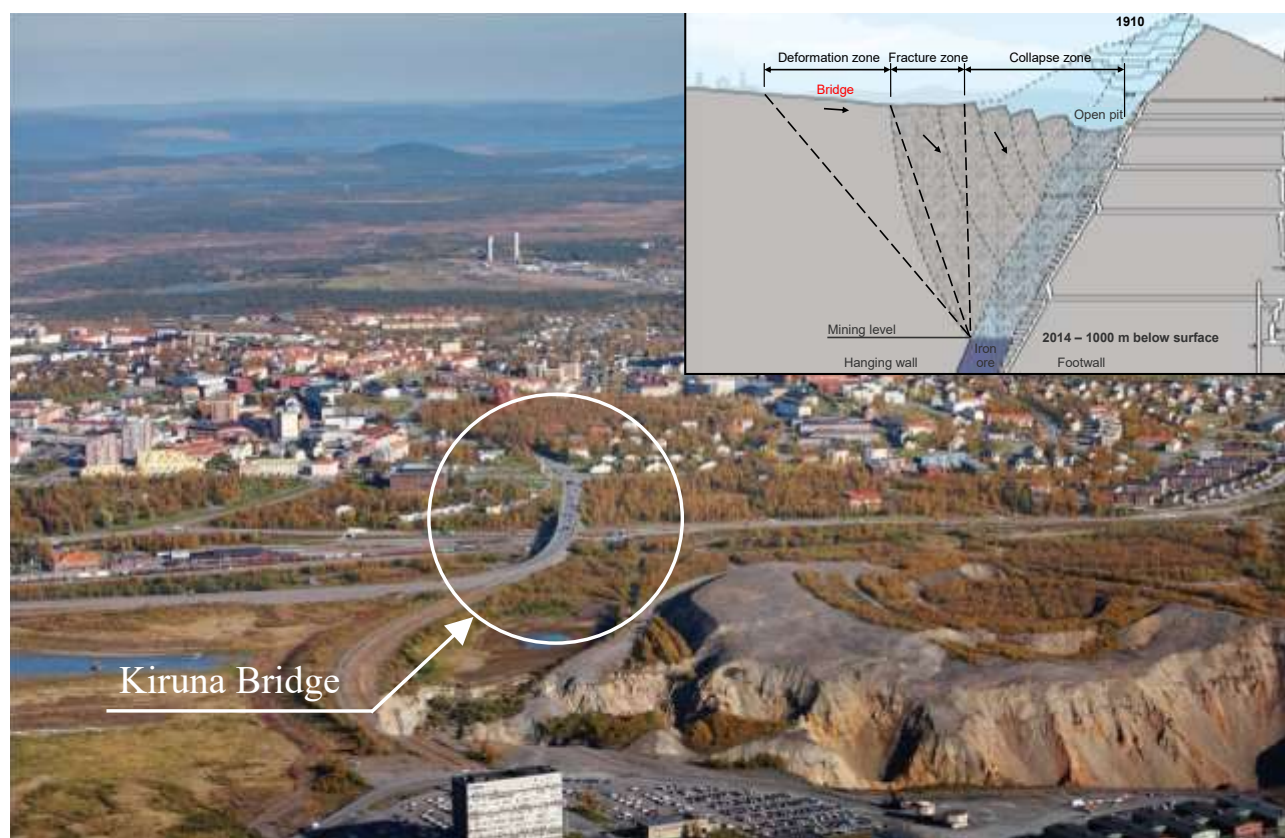


Figur 3.6. Elementtyper som undersökts med avseende på skadetålighet, ML-D1.3 (2015)

## 4.4 Spännbetongbro i Kiruna

Spännbetongbron i Kiruna byggdes 1959 för att förena gruvområdet med stadscentrum. Den bestod av fem spann med den totala längden 121,5 m och den gick över Europaväg E10 och järnvägen (Malmbanan) mellan Luleå och Narvik, se Figur 3.7. På grund av att gruvan successivt fördjupades kom bron att hamna i deformationszonen och mätningar påbörjades av deformationer och accelerationer, Sabourova (2010), Enochsson et al. (2011), Grip (2013). I samband med att man beslutade att riva bron initierades ett forskningsprojekt där ytterligare mätningar utfördes och där bron i juni 2014 belastades till brott i ett spann med längden 20,5 m, Bagge (2014), Elfgrén et al. (2015), Huang et al. (2016).

Accelerometermätningar med naturliga (ambienta) vibrationer utfördes dels i maj 2014 på den oskadade bron och dels två gånger i augusti på den skadade bron.. De mätta egenfrekvenserna minskar mellan 1 och 11 % för de olika moderna när bron skadats, se Figur 3.8.



Figur 3.7. Gruvbrytningen i Kiruna ger upphov till stora marksättningar och dessa påverkade bron mellan gruvområdet och stadscentrum. Bild från 2010 innan bron provbelastades och revs.



Figur 3.8. Uppmätta frekvenser för moder för oskadad bro och motsvarande beräknade former för moderna 1, 2, 10 och 12, Huang et al (2016).

## 4.5 Niovånings betonghus i Luleå

Som en intressant byggnad valdes ett torn för torkning av brandslangar vid Luleå Räddningstjänsts anläggning i centrala Luleå. En speciell egenskap hos tornformade byggnader är att de ofta har olika vibrationsmoder som ligger nära i frekvens. Detta ställer höga krav på metoder för vibrationsanalys och på en FEM-uppdatering som måste klara att hålla isär vibrationsmoder som ligger nära varandra i frekvens.

Slangtornet uppfördes cirka 1965 av platsbygd betong, Figur 3.9. De lägsta svängningsmoderna och egenfrekvenserna uppmättes för 1,37 och 1,90 Hz för tornet.



Figur 3.9. Slangtornet vid Luleå Räddningstjänst anläggning.



## 4. DISKUSSION

Med den programvara som utvecklats är det möjligt att detektera sprickor i enkla betongplattor med hjälp av vibrationsmätningar. För mer avancerade konstruktioner finns en potential att vidareutveckla programvaran. För de olika exempel som metoden tillämpats på kan följande sägas.

- Betongplatta – sprickor har kunnat identifieras utifrån vibrationsmätningar och en successivt uppdaterad finit element modell (FEM).
- Bågbro av betong – okända randvillkor har kunnat bestämmas med uppmätta vibrationer. Skadedetektering har ännu inte kunnat genomföras.
- Fackverksbro av stål – En viss skadedetektering har kunnat genomföras med vibrationsmätningar. Brons sårbarhet för korrosion och lokala mekaniska skador har studerats.
- Förspänd betongbro – Modeller av bron har arbetats fram och resultat från dem har jämförts med uppmätta vibrationer med gott utfall.
- Betonghus – En modell av huset har tagits fram och resultat från den har jämförts med uppmätta vibrationer med gott utfall.

## 5. SLUTSATSER

En förenklad programvara har tagits fram för (1) uppdatering av finita elementmodeller av konstruktioner och för (2) detektering av skador med hjälp av vibrationsmätningar. Programvaran har tillämpats på olika typer av byggkonstruktioner och vibrationsmätningar har utförts.

Möjligheten att detektera sprickor i en betongplatta har förbättrats i förhållande till resultaten i ett tidigare projekt, Grip (2013).

För tre brotyper (en fackverksbro av stål, en bågbro av armerad betong och en balkbro av spännbetong) har finita elementmodeller kunnat uppdateras med hjälp av mätta vibrationer.

För ett torn av betong har uppmätta egenfrekvenser och egenmoder jämförts med en finit elementmodell med god överensstämmelse.

Sammanfattningsvis kan sägas att skadedetektering med hjälp av vibrationsmätningar fungerar bra för enklare skador på små provkroppar. För mer avancerade konstruktioner kan beräkningsmodeller uppdateras, men det återstår fortfarande utvecklingsarbete innan små skador kan detekteras i ett tidigt skede, Grip et al. (2016).

Mycket forskning pågår runt om i världen och tillgängliga datorer blir allt mer kraftfulla. Detta medför att mer avancerade digitala modeller kan användas för att detektera skador från mätningar med olika typer av sensorer vid tillståndsövervakning (Structural Health Monitoring, SHM). Man har också börjat utveckla digitala tvillingkonstruktioner av verkliga konstruktioner för att kunna simulera olika laster och påverkningar och för att kunna förutsäga tänkbara scenarier. Fler datorkörningar på olika konstruktioner bör genomföras för att ytterligare utveckla metodiken med uppdatering och skadedetektering.

Vid LTU arbetar vi vidare med att öka tillåten belastning på befintliga konstruktioner genom förbättrad modellering av bärförmågan och genom förstärkningsåtgärder, se t.ex. Nilimaa (2015), Mahal (2015), Bagge (2014), Saaed (2015), Häggström (2016) och Carolin et al. (2016).

# LITTERATUR

Bagge, Niklas (2014). *Assessment of Concrete Bridges. Models and Tests for Refined Capacity Estimates*. Licentiate Thesis in Structural Engineering, Luleå University of Technology, 132 pp. ISBN 978-91-7583-163-3.

Carolin, Anders; Anderson, Robert; Heissenberger, Roman; Carrasco, Carlos Hermosilla; Schewe, Britta; Nilimaa, Jonny; Blanksvärd, Thomas; Täljsten, Björn and Elfgren, Lennart (2016). *Innovative Intelligent Management of Railway Bridges, In2Rail - A European Horizon 2020 Project*. In *Proceedings of the 19th Congress of IABSE in Stockholm*, see Elfgren et al (2016), pp 2552-2561..

Elfgren, Lennart; Bagge, Niklas; Nilimaa, Jonny; Blanksvärd, Thomas; Täljsten, Björn; Shu, Jiangpeng; Plos, Mario; Larsson, Oskar; och Sundquist, Håkan (2015). *Brottbelastning av en 55 år gammal spännbetongbro i Kiruna - Kalibrering av modeller för tillståndsbedömning: Slutrapport till BBT*. Luleå tekniska universitet (LTU), Kungliga tekniska högskolan (KTH), Chalmers tekniska högskola och Lunds tekniska högskola (LTH), 39 + 206 sid.  
<http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:996746/FULLTEXT01.pdf>  
<http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:996746/FULLTEXT02.pdf>

Elfgren, Lennart; Jonsson, Johan; Karlsson, Mats; Rydberg-Forsbeck, Lahja och Sigfrid, Britt, editors (2016). *Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment. Proceedings IABSE Congress*, Stockholm, 21-23 September, 2016. International Association for Bridges and Structural Engineering (IABSE), Zürich. 274+2835 pp. ISBN 978-3-85748-144-4

Enochsson, Ola; Sabourova, Natalia; Elfgren, Lennart and Emborg, Mats (2011). *Gruvvägsbron i Kiruna. Deformationskapacitet*. Teknisk Rapport, Konstruktionsteknik, Institutionen för Samhällsbyggnad och naturresurser, Luleå tekniska universitet, Maj 2011, 108 sid.  
<http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:997801/FULLTEXT01.pdf>

Forsberg, Thomas; Grip, Niklas och Sabourova, Natalia (2013). *Non-iterative calibration for accelerometers with three non-orthogonal axes, reliable measurement setups and simple supplementary equipment*. *Measurement Science and Technology*, 24(3):14 pages, March 2013. DOI: 10.1088/0957-0233/24/3/035002. Also published as *Research Report No. 8*, Department of Engineering Sciences and Mathematics, Division of Mathematics, Luleå University of Technology, 2012, 29 pp. Available at [www.diva-portal.se/smash/get/diva2:976957/FULLTEXT01.pdf](http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:976957/FULLTEXT01.pdf).

Friswell, M., & Mottershead, J. (1995). *Finite Element Model Updating in Structural Dynamics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Grip, Niklas (2013). *Inte bara broar. Vibrationsanalys för tillståndsbedömning*. Slutrapport till SBUF-projekt nr 12513. Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), SKANSKA och Luleå tekniska universitet, 90 sid + program. Kan laddas ner från <http://www.sbuf.se/Projekt>

Grip, Niklas and Sabourova, Natalia (2011). *Simple non-iterative calibration for triaxial accelerometers*. *Measurement Science and Technology*, 22(12):13 pages, December 2011. Also published in *Research Report No. 7*, Department of Engineering Sciences and Mathematics, Division of Mathematics, Luleå University of Technology, 2011, 15 pp. Available at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:976691/FULLTEXT02.pdf>

Grip, Niklas; Sabourova, Natalia, Tu, Yongming och Elfgren, Lennart (2016): *Vibrationsanalys och tillståndsbedömning av byggkonstruktioner. Tillämpningsexempel*. Slutrapport till SBUF-projekt nr 13010. Stockholm: Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), SKANSKA och Luleå tekniska universitet, 94 sid  
 Kan laddas ner från <http://www.sbuf.se/Projekt>

Grip, Niklas; Sabourova, Natalia and Tu, Yongming (2017). *Sensitivity-based model updating for structural damage identification using total variation regularization*. *Mechanical systems and signal Processing*, Vol 84, Part A, 1 February 2017, pp 365-383, ISSN 0888-3270, E-ISSN 1096-1216, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.07.012>. Preprint 29 pp at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:976957/FULLTEXT01.pdf>.

- Hedlund, Hans; Grip, Niklas och Blanksvärd, Thomas (2014). Vibrationsanalyser för tillståndsbedömning. *Bygg & Teknik*, Nr 7, Oktober 2014, sid 49-57.
- Huang, Zheng; Grip, Niklas; Sabourova, Natalia; Bagge, Niklas; Tu, Yongming; and Elfgren, Lennart (2016). Modelling of damage and its use in assessment of a prestressed bridge. In *Proceedings of the 19th Congress of IABSE in Stockholm*, see Elfgren et al (2016), pp 2093-2108. A longer version was also published 2016-04-30 as a Research Report, Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology, 22 pp. <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1058535/FULLTEXT01.pdf>
- Häggström, Jens (2016a). Evaluation of the Load Carrying Capacity of a Steel Truss Railway Bridge: Testing, Theory and Evaluation. Licentiate Thesis in Structural Engineering, Luleå University of Technology, 142 pp. ISBN: 978-91-7583-740-6 (pdf). Available at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1040790/FULLTEXT01.pdf>.
- Häggström, Jens (2016b). Bridge over Åby River – Evaluation of full scale testing. Research Report, Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology, 180 p.
- ML-D1.3 (2015). New technologies to extend the life of elderly rail infrastructure. Deliverable 1.3 in the EC-project MAINLINE, First ed. 2013, revised ed. 2015, 194 pp. Available at <http://www.mainline-project.eu/Results,7.html>
- Nilimaa, Jonny (2015). Concrete Bridges. Improved load Capacity. Doctoral Thesis in Structural Engineering, Luleå university of Technology, 180 pp, ISBN 978-91-7583-344-6.
- Nilimaa, Jonny; Blanksvärd, Thomas och Elfgren, Lennart (2016). Kunskapsåterföring av erfarenheter från MAINLINE. Verktyg och metoder för att förbättra den svenska järnvägsinfrastrukturen – Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF, Projekt 13139, Slutrapport, 138 sid. <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:998403/FULLTEXT01.pdf>
- Mahal, Mohammed Salih Mohammed (2015). Fatigue Behaviour of RC Beams Strengthened with CFRP. Analytical and Experimental Investigations. Doctoral Thesis in Structural Engineering, Luleå University of Technology. 138 pp. ISBN 978-91-7583-234-0
- Paulsson, Björn; Bell, Brian; Schewe, Britta; Jensen, Jens Sandager; Carolin, Anders; and Elfgren, Lennart (2016). Results and Experiences from European Research Projects on Railway Bridges. *19th IABSE Congress Stockholm 21-23 September 2016: Challenges in Design and Construction of an Innovative and Sustainable Built Environment*, Zürich, 2016, pp. 2570 – 2578. ISBN 978-3-85748-144-4. Available at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1015045/FULLTEXT01.pdf>
- Sabourova, Natalia (2010). Dynamic response of the Gruvvägsviadukten bridge. Appendix (24 pp) of the *Research Report* “Gruvvägsbron i Kiruna. Deformationskapacitet” by Ola Enochsson, Natalia Sabourova, Lennart Elfgren and Mats Emborg, Department of Civil and Environmental Engineering, Division of Structural Engineering, Luleå University of Technology, May 2011, 108 pp. Available at <http://ltu.diva-portal.org/smash/get/diva2:997801/FULLTEXT01.pdf>
- Sabourova, Natalia; Tu, Yongming; Grip, Niklas; Enochsson, Ola; Ohlsson, Ulf; Nilsson, Martin; and Elfgren, Lennart (2016). *Railway Concrete Arch Bridge over Kalix River at Långforsen. Dynamic Properties and Load-Carrying Capacity*. Research Report, Division of Structural Engineering, Department of Civil, Environmental and Natural Resources Engineering, Luleå University of Technology, SE-971 87 Luleå, Sweden. To be published.
- Saaed, Tarek Edres (2015). Structural Control and Identification of Civil Engineering Structures. Doctoral Thesis in Structural Engineering, Luleå university of Technology, 314 pp, ISBN 978-91-7583-241-8.
- Wang, Chao; Wang, Zhian; Zhang, Jiwen; Tu, Yongming; Grip, Niklas; Ohlsson, Ulf; and Elfgren (2016). FEM-based research on the dynamic response of a concrete railway arch bridge. IABSE 19th Congress, Stockholm 2016, pp 2472-2479, see Elfgren et al (2016).