



**KTH Architecture and
the Built Environment**

Gamla Årstabron

Sammanställning av töjningsmätningar
utförda 2009-09-24



Brobyggnad

KTH – Brinellvägen 34, SE-100 44 Stockholm
Tel: 08-790 79 58, Fax: 08-21 69 49
www.byv.kth.se/avd/bro

©Andreas Andersson 2009
Royal Institute of Technology (KTH)
Department of Civil and Architectural Engineering
Division of Structural Design and Bridges
Stockholm, Sweden, 2009

Sammanfattning

Stockholm, 20 oktober 2009

A handwritten signature in black ink, reading "Andreas Andersson". The script is cursive and elegant, with the first letter 'A' being particularly large and stylized.

Andreas Andersson

Innehåll

Sammanfattning	i
1 Instrumentering	1
1.1 Omfattning och syfte	1
1.2 Givarplacering och datainsamling	1
2 Resultat	5
2.1 Signalkvalitet	5
2.2 Pendeltåg X60	7
2.3 Fjärrtåg X2, östra spåret	10
2.4 Regionaltåg X40	13
2.5 Uppdatering av FE-modell	16
3 Slutsatser	17
A Mätningar 2009-09-24	19
A.1 Mätschema.	19

1 Instrumentering

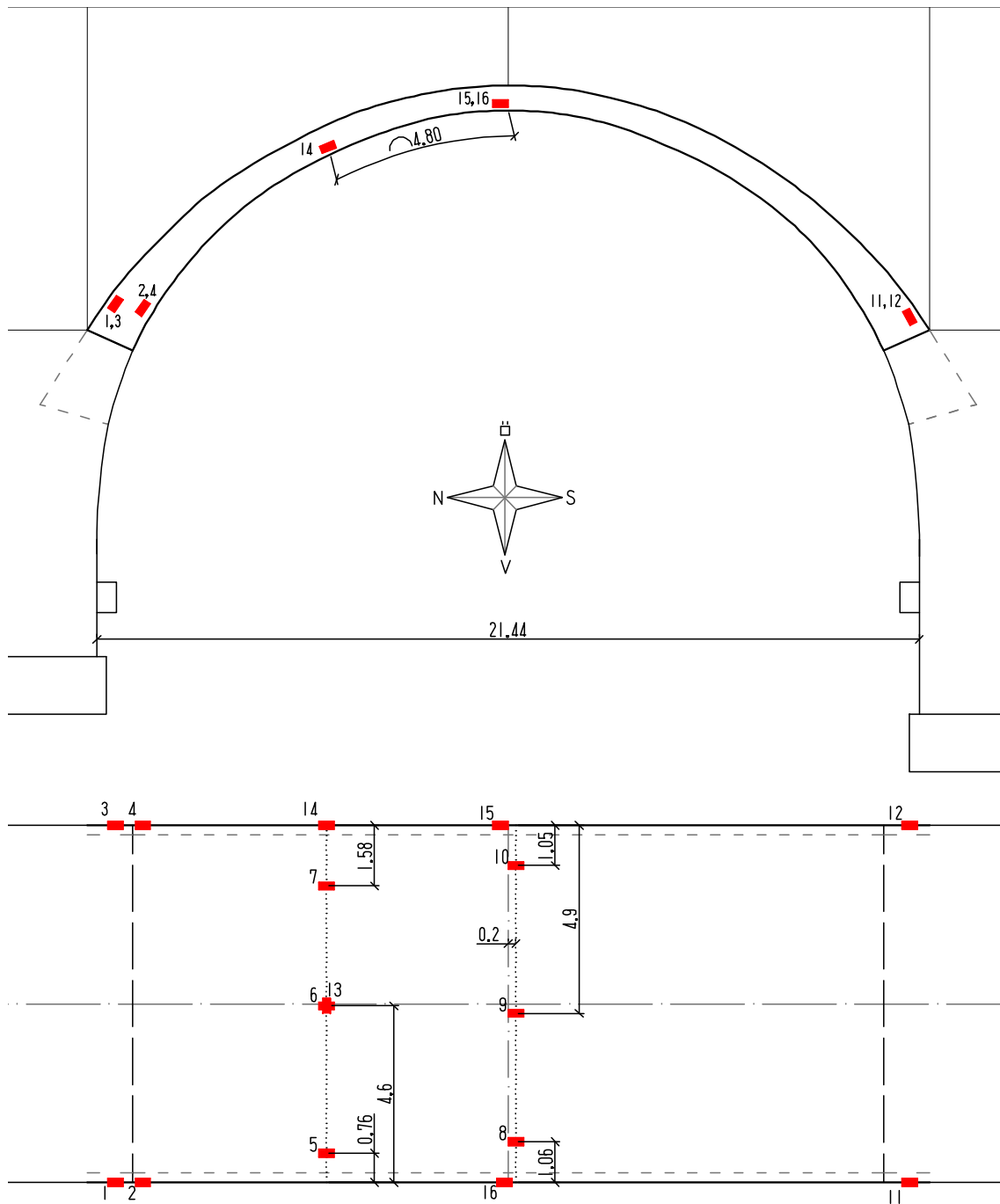
1.1 Omfattning och syfte

I föreliggande rapport redovisas resultat från töjningsmätningar på gamla Årstabrons båge 2. Mätningarna utfördes den 24 september 2009, ca 3 månader efter färdigställda förstärkningar. Mätningarna omfattar tilläggsspänningar av trafiklaster i syfte att verifiera brons verknings-sätt efter förstärkning. Mätningarna jämförs med förväntade resultat från de beräknings-modeller som ligger till grund för förstärkningens utformning.

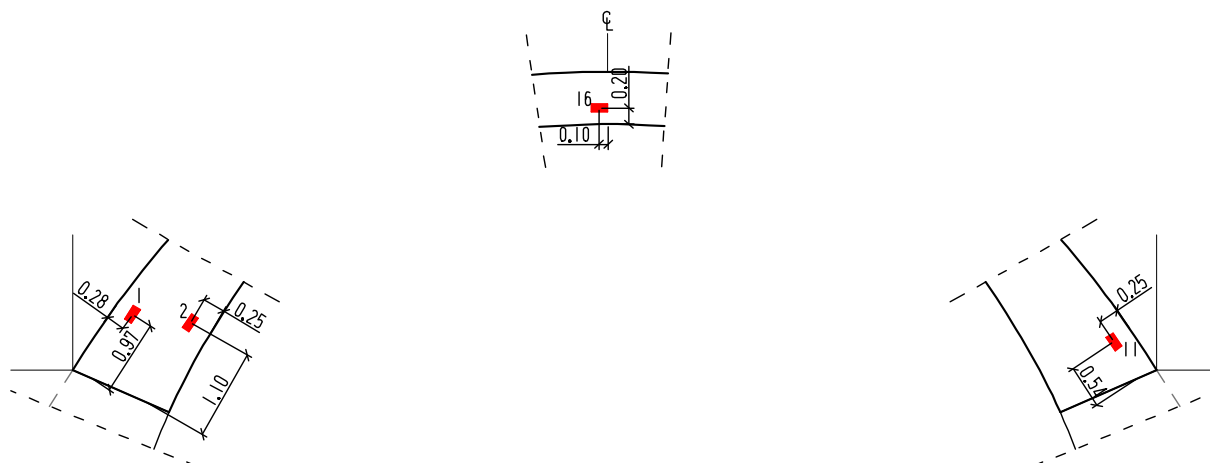
Tidigare mätningar har utförts på samma valv, dels för oförstärkt bro, dels under olika förstärkningsetapper. Under olika etapper har mätningar utförts i både ursprunglig konstruktion och förstärkta delar. I föreliggande är samtliga givare placerade i förstärkta områden. Jämförelse görs även med tidigare mätning på förstärkt bro, utförda 23 juni 2009.

1.2 Givarplacering och datainsamling

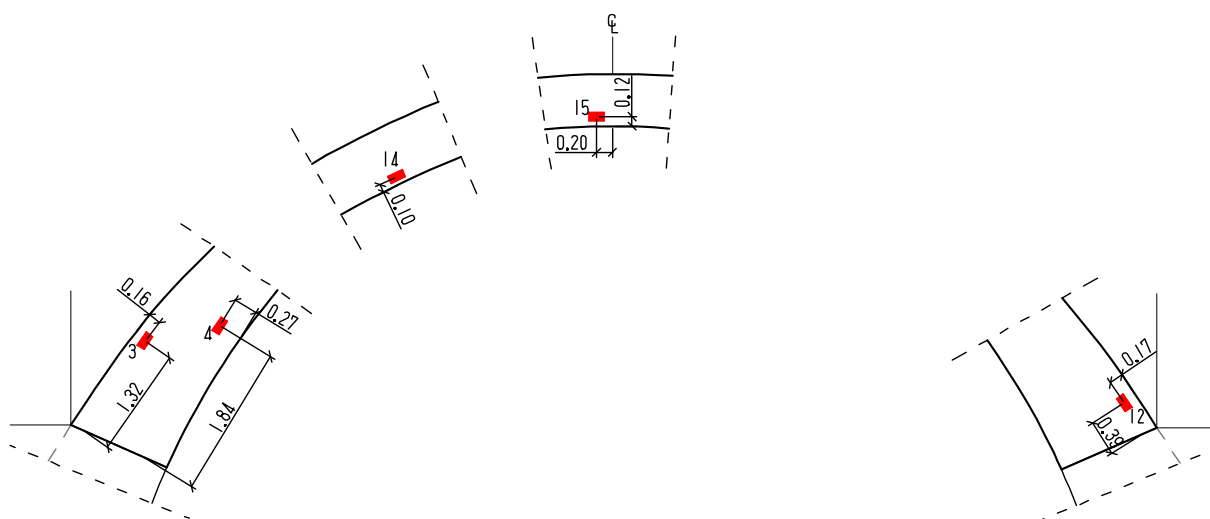
Instrumenteringen på båge 2 omfattar totalt 16 trådtöjningsgivare. Samma givare används som vid tidigare mätning 23 juni. I Figur 1.1 - Figur 1.3 visas instrumenteringsritningar. För mer information om instrumenteringen hänvisas till KTH mätrapport 2009-06-23.



Figur 1.1: Placering av givare på båge 2, elevation och plan undersida båge.



Figur 1.2: Placering av givare på båge 2, elevation detalj av givare på den vänstra bågstrimlan.



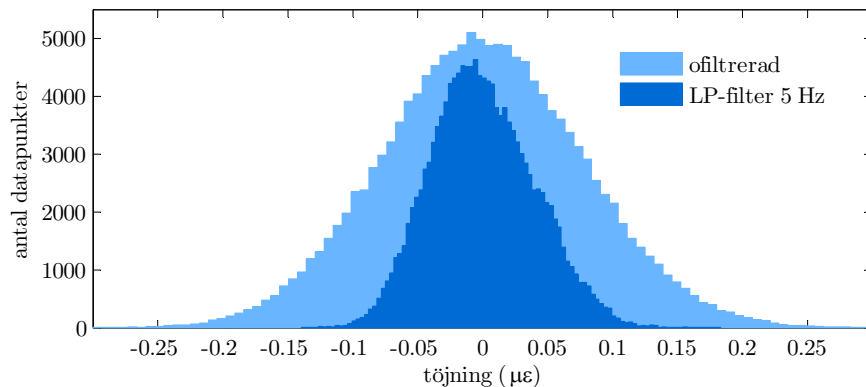
Figur 1.3: Placering av givare på båge 2, elevation detalj av givare på den östra bågstrimlan.

Mätningarna utfördes med en A/D omvandlare av typ HBM MGCPlus med 24 bit upplösning. Data samlades in kontinuerligt från kl. 09:20 – 11:50 med en samplingsfrekvens på 400 Hz. För att reducera brusnivåer användes ett analogt Bessel lågpassfilter med filtergränsen 20 Hz.

2 Resultat

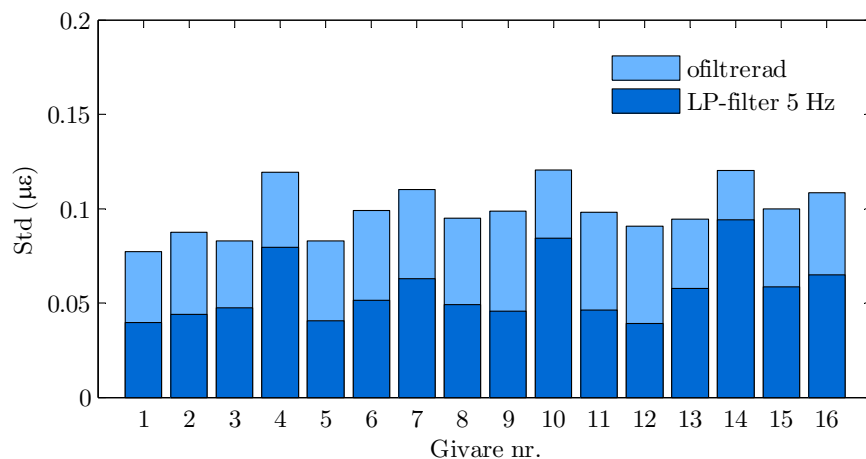
2.1 Signalkvalitet

Mätningarna utförs under vanlig trafik där tilläggsspänningar i armeringen beräknas från töjningsgivare. Motsvarande spänningsnivå är ca. 1 MPa. För att utföra relevanta analyser av insamlad mätdata är god signalkvalitet av stor vikt. Förväntad respons domineras av det som kan beräknas från en statisk analys. En analys av bakgrundsbruset visar i Figur 2.1 att detta kan antas vara normalfördelat. Tidigare analyser av frekvensinnehållet under tågpassager har visat på låga energinivåer över 4 Hz vid aktuella hastigheter och tågkonfigurationer. Samtliga signaler filtreras därför i efterhand med ett digitalt 8:e ordningens Butterworth lågpas-filter med filtergränsen 5 Hz. Syftet är att minimera brusinnehållet samtidigt som brons respons från trafiklast bibehålls. Mätprotokoll på registrerade tågpassager återfinns i Bilaga A.



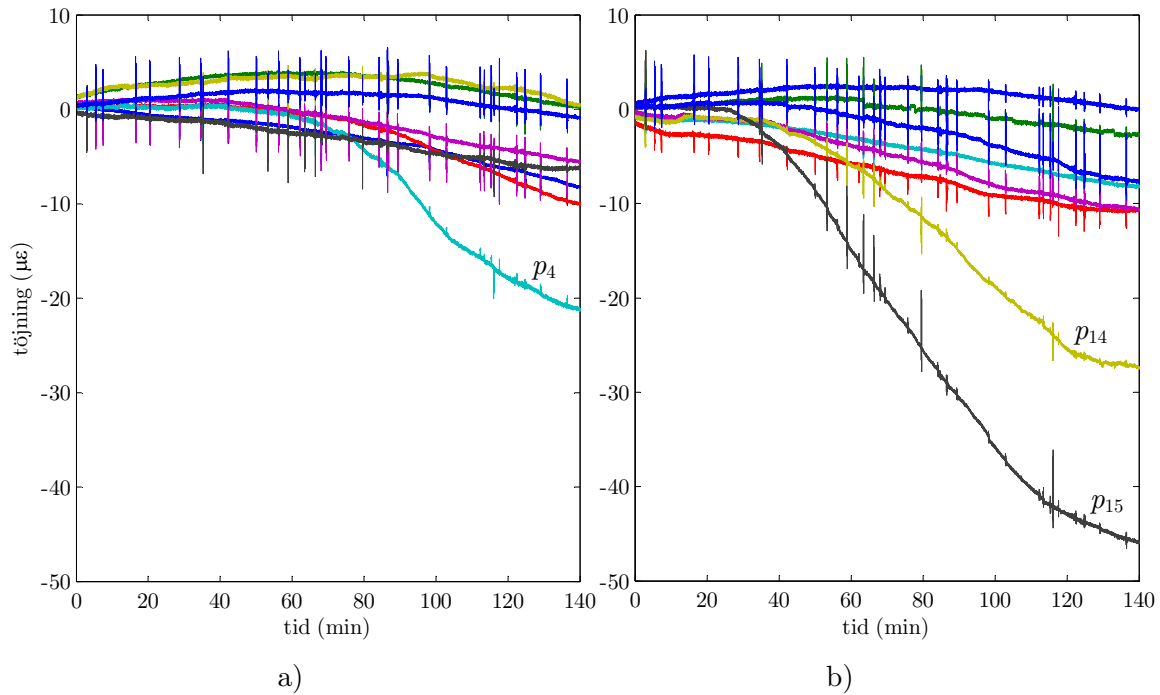
Figur 2.1: Mätning D19, histogram av bakgrundsbrus från givare 1, 5 Hz digitalt Butterworth LP filter.

I Figur 2.2 visas standardavvikelsen i bakgrundsbruset från mätning D19. Analysen baseras på ca. 6 min bakgrundsbrus, motsvarande 140 000 mätpunkter per kanal. Standardavvikelsen efter filtrering är ca. 0.04 microstrain ($\mu\epsilon$), motsvarande ca. 0.008 MPa. Detta är i samma storleksordning som tidigare mätningar.



Figur 2.2: Mätning D19, standardavvikelse av bakgrundsbrus, med och utan 5 Hz digitalt Butterworth LP filter.

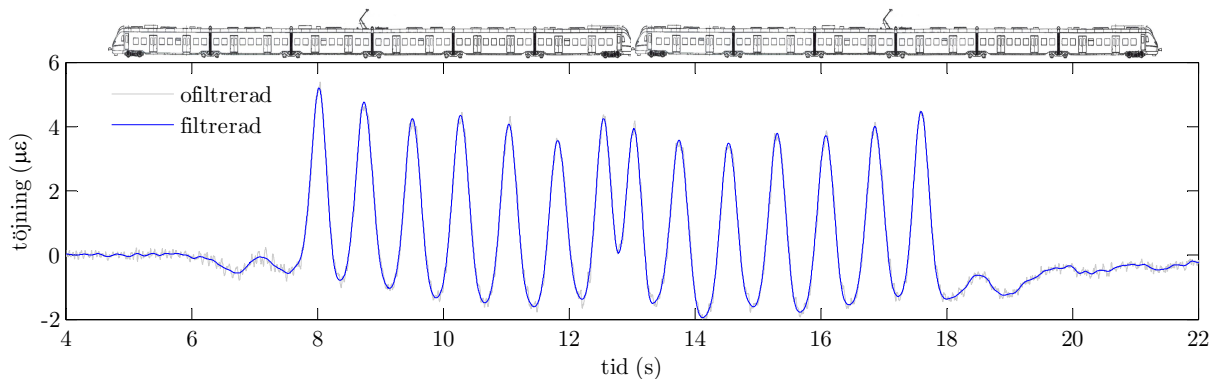
I Figur 2.3 visas en översikt av samtliga mätningar mellan kl. 9:20 – 11:50. Enskilda "spikar" i signalerna är tågpassager. Givare 4, 14 och 15 på brons östra kant uppvisar större avvikelser än övriga givare. Även från tidigare mätningar 2009-06-23 uppvisade givare 14 och 15 större avvikelser än övriga givare. En möjlig orsak till detta kan vara att dessa givare var utsatta för direkt solljus under mätperioden. Dess inverkan under enskilda tågöverfarter bedöms dock vara försumbar.



Figur 2.3: Variation i givarna under mätperioden, a) givare 1-8, b) givare 9-16. Spikar i signalerna är tågpassager. Signalerna är decimerade till 5 Hz.

2.2 Pendeltåg X60

Under mätperioden registrerades totalt 22 passager med pendeltåg X60, samtliga passerade på västra spåret. I Figur 2.4 visas responsen i givare 16, placerad i hjässan på den västra bågstrimlan, under en passage av ett X60 pendeltåg. Resultaten visar att filtreringen inte ändrar responsens toppvärde märkbart.

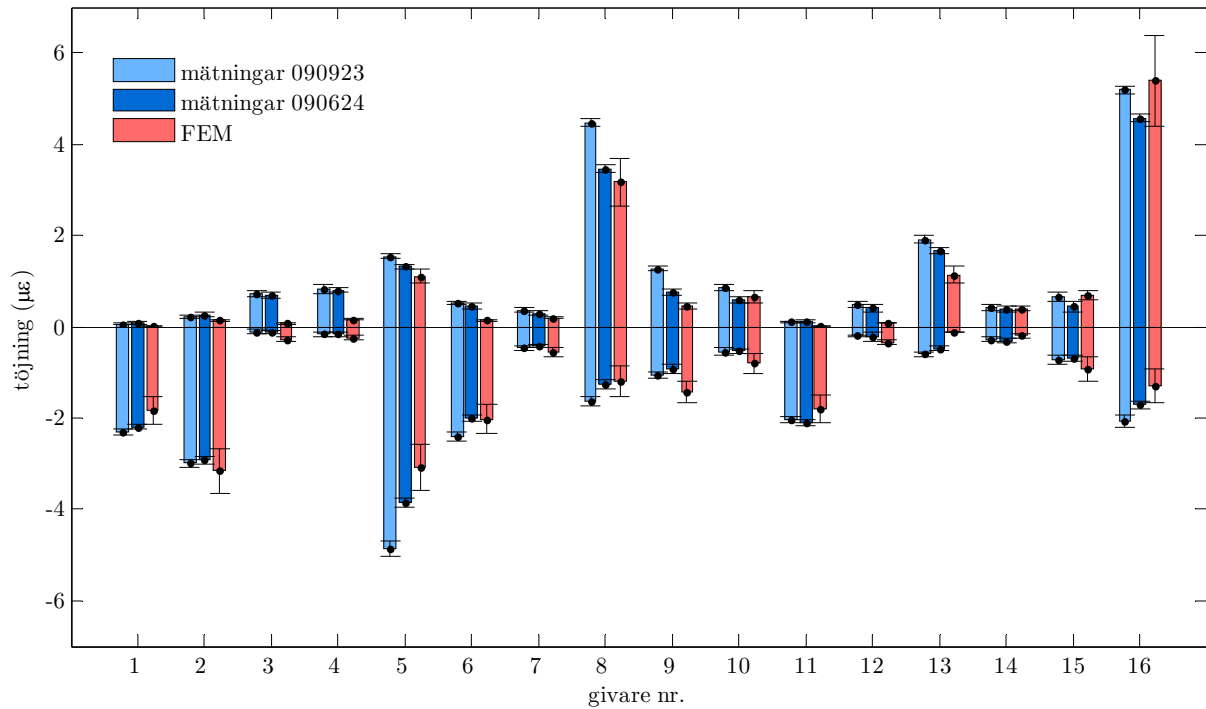


Figur 2.4: Pendeltåg X60 på västra spåret, givare 16 från mätning D19, jämförelse mellan filtrerad och ofiltrerad signal.

I Figur 2.5 visas statistik på max- och mintöjning från samtliga givare, redovisat som medelvärde från samtliga 22 passager och resulterande standardavvikelse. Jämförelse görs dels mot motsvarande mätningar 23 juni, dels mot FEM-analyser.

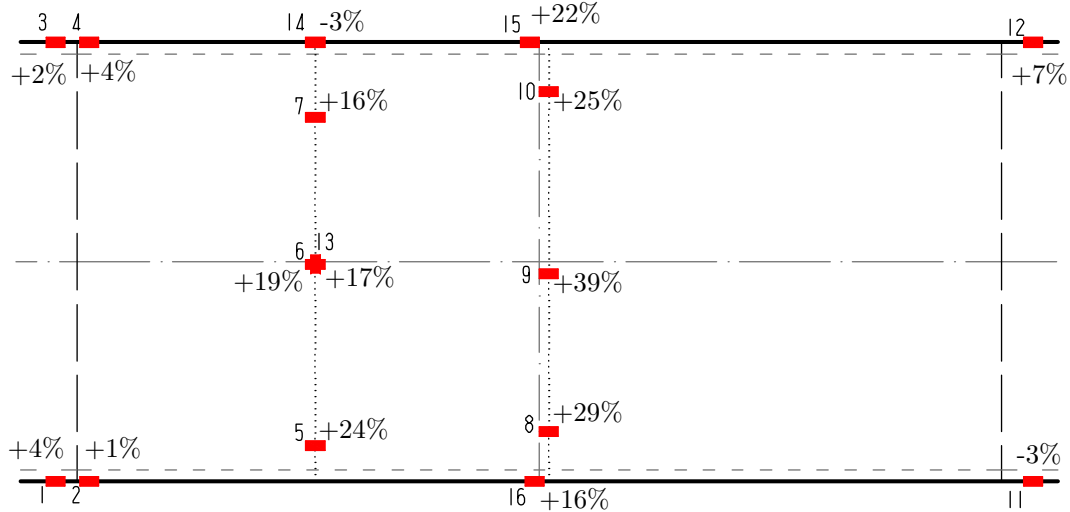
För FEM-analyserna redovisas staplar med 50% personlast och spridningsmått 0-100% personlast. Resultaten visar att spridningen i uppmätt respons är mindre än största uppskattade variation i personlast. Båda mättillfällena utfördes mellan ca. kl. 9-12 under vardag och trolig personlast förväntas vara liten.

En jämförelse mellan mätningarna 23 juni och 24 september visar en markant ökning i respons. Ökning i töjningsvidd är för givare 5 ca. 25%, för givare 8 ca. 30% och för givare 16 ca. 15%. En möjlig orsak till ökningen tros vara E-modulutvecklingen i injekteringsbetongen. Mätningar på den västra bågstrimlan gjordes redan den 26 mars 2008, vars E-modulutveckling bör ha avstannat. Pågjutningarna på undersidan däremot utfördes kort innan mätningarna den 23 juni, varvid en differens mot mätningarna den 24 september är möjlig. För att verifiera detta krävs dock underlag från materialprovningar samt fortsatta analyser. Effekten bedöms dock vara positiv, eftersom förstärkningen medverkar i större utsträckningen och därvid avlastar ursprunglig konstruktion.



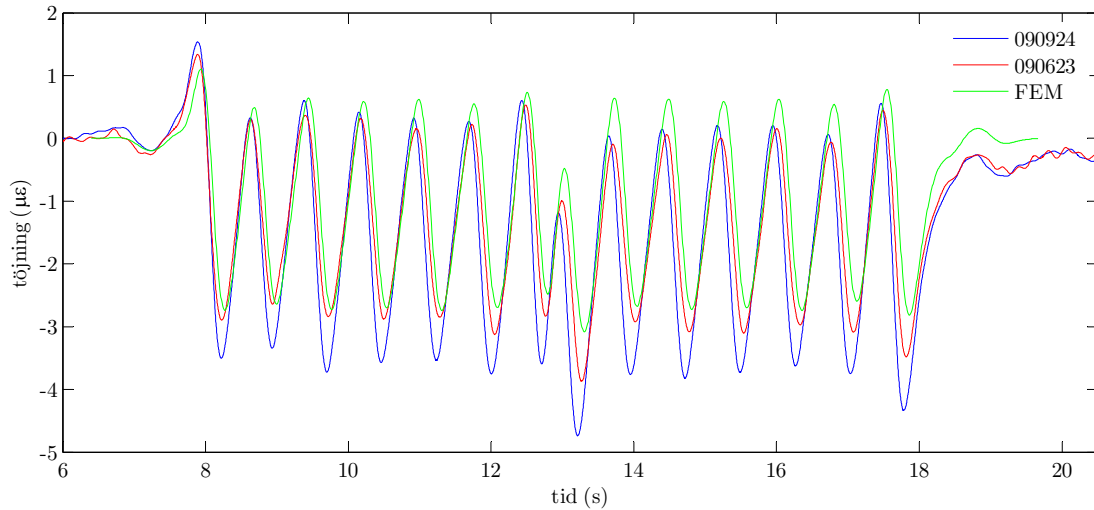
Figur 2.5: Pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan mätningar och beräkningar.

Skillnad i töjningsvidd mellan mätningarna 23 juni och 24 september illustreras i Figur 2.6. Det bör noteras att vissa givare vars procentuella skillnad är stor ger liten töjningsvidd, t.ex. från motsatt spår.

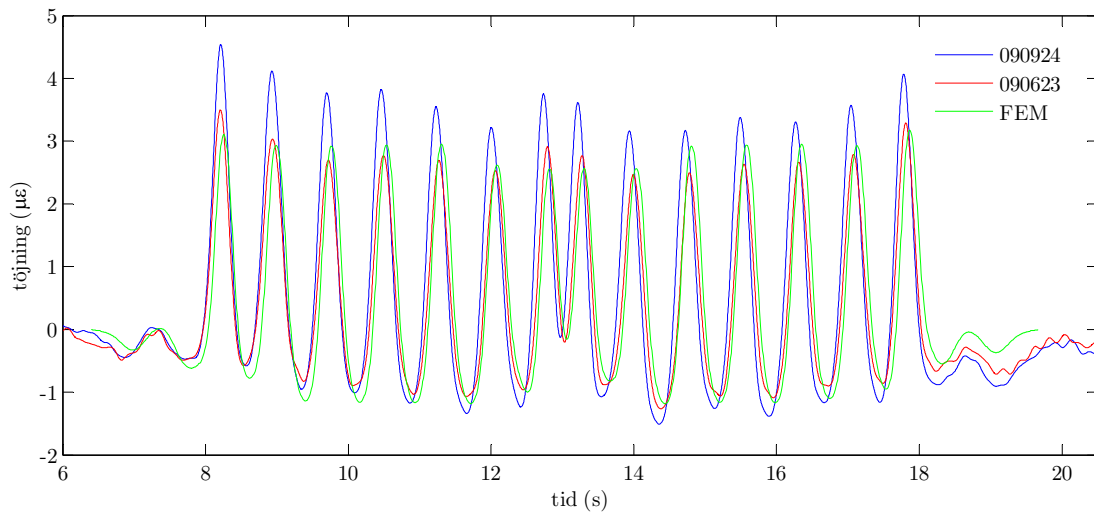


Figur 2.6: Översikt av procentuell förändring i töjningsvidd mellan 23 juni och 24 september vid passage av pendeltåg X60 på västra spåret.

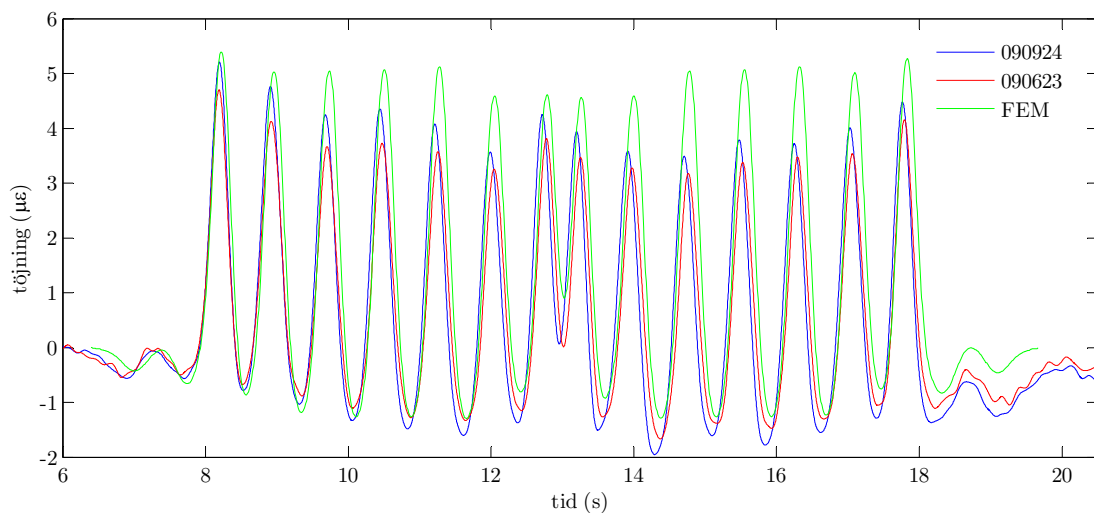
I Figur 2.7 - Figur 2.9 redovisas jämförelser i respons för givare 5, 8 och 16 avseende passage av ett X60 pendeltåg på västra spåret. Tidsskalan mellan mätningarna är något anpassad för få kurvorna i fas, farten är ca. 75 km/h i båda fallen. FE-beräkningarna baseras på en statisk influenslinjeanalys av 3 spann och inkluderar ej någon dynamisk förstoringfaktor. Personlasten i vagnarna antas vara 50%. För mer detaljerad beskrivning av FE-modellen hänvisas till KTH mätrapport 2009-06-23.



Figur 2.7: Respons från givare 5 vid överfart av pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



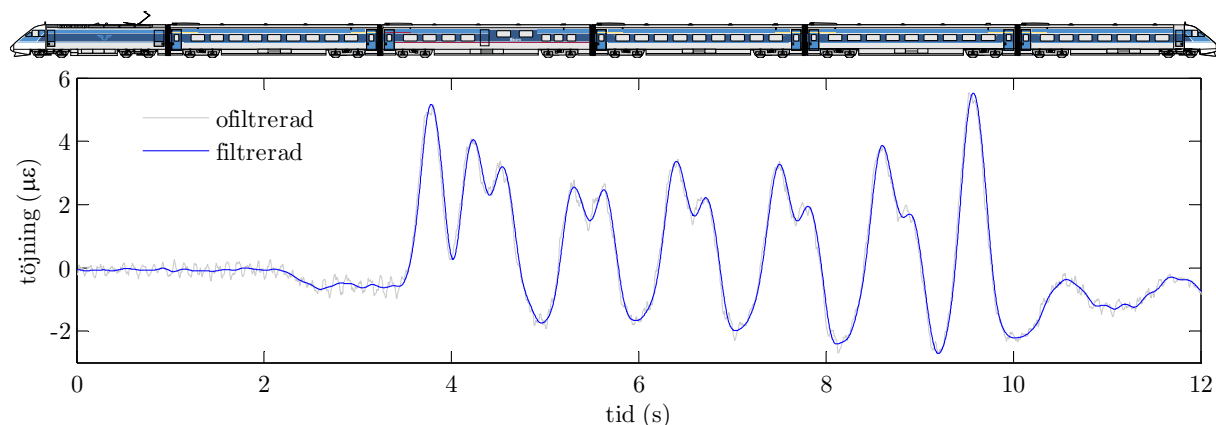
Figur 2.8: Respons från givare 8 vid överfart av pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



Figur 2.9: Respons från givare 16 vid överfart av pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.

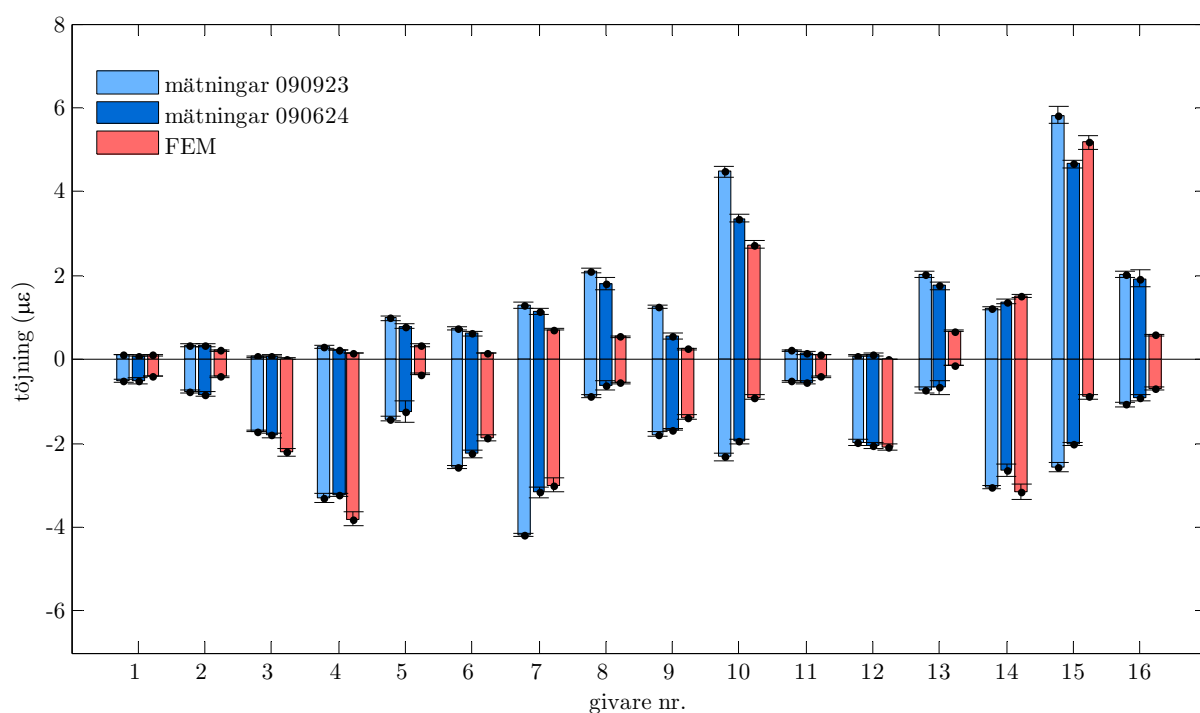
2.3 Fjärrtåg X2, östra spåret

Under mätperioden den 24 september registrerades totalt 4 passager med fjärrtåg X2, samtliga på östra spåret. I Figur 2.10 visas responsen i den östra bågstrimlan (givare 15) vid passage av ett X2-tåg med 6 vagnar.

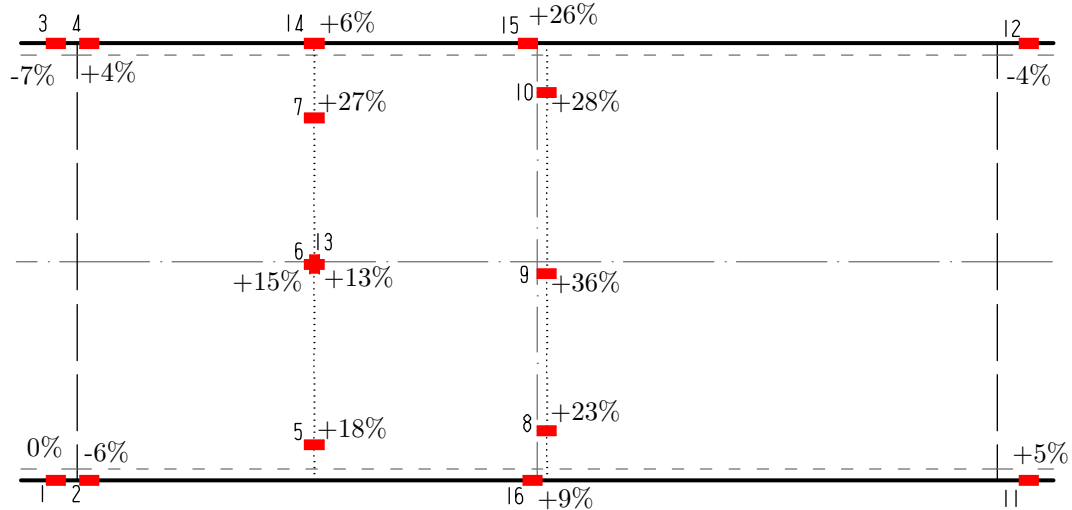


Figur 2.10: Respons från givare 15 i hjässan på den östra bågstrimlan, passage av ett fjärrtåg av typ X2 med 6 vagnar på östra spåret, från mätning D11.

I Figur 2.11 redovisas en sammanställning av största töjningsvidder från X2-passager. Jämförelse görs dels med tidigare mätningar 23 juni samt FEM-analyser. Under mätningarna den 23 juni registrerades 5 passager med X2 tåg, dock används bara tre av dessa i analysen eftersom de övriga endast hade två vagnar. Resultaten följer samma mönster som X60-tågen på västra spåret. Från mätningarna 23 juni uppmäts en ökning i töjningsvidd på ca. 25% i givare 7, 30% i givare 10 och 25% i givare 15. Även övriga givare visar på påtaglig ökning. Skillnad i töjningsvidd mellan mätningarna 23 juni och 24 september illustreras i Figur 2.12.

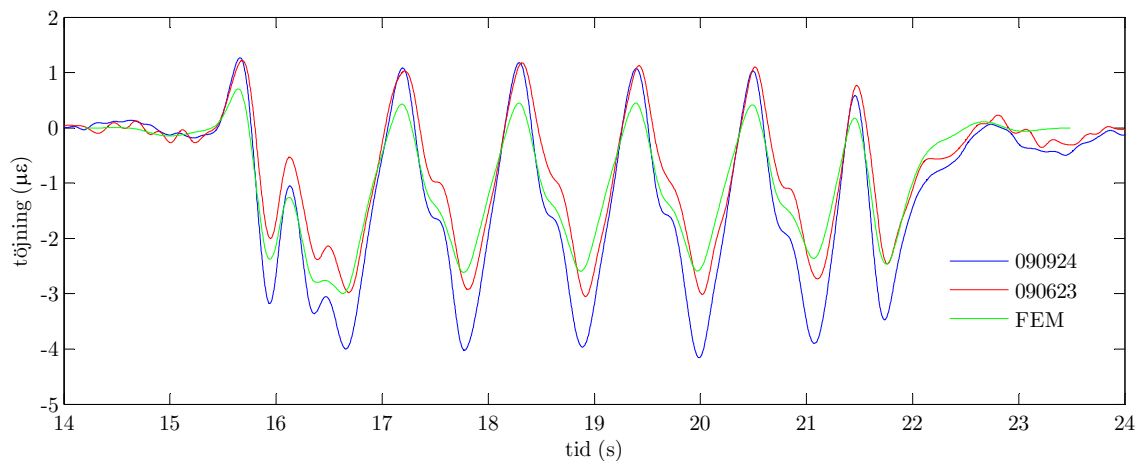


Figur 2.11: Fjärrtåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar och beräkningar.

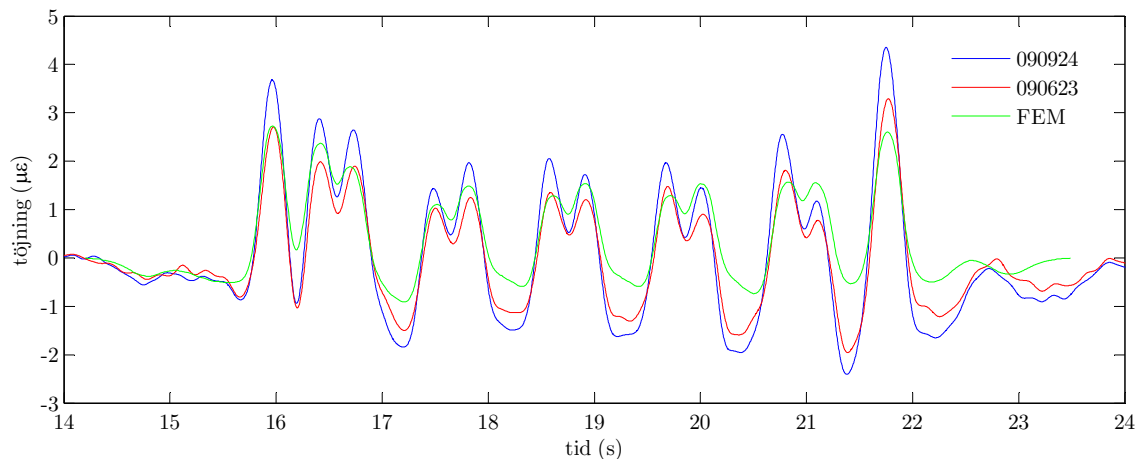


Figur 2.12: Översikt av procentuell förändring i töjningsvidd mellan 23 juni och 24 september vid passage av fjärrtåg X2 på östra spåret.

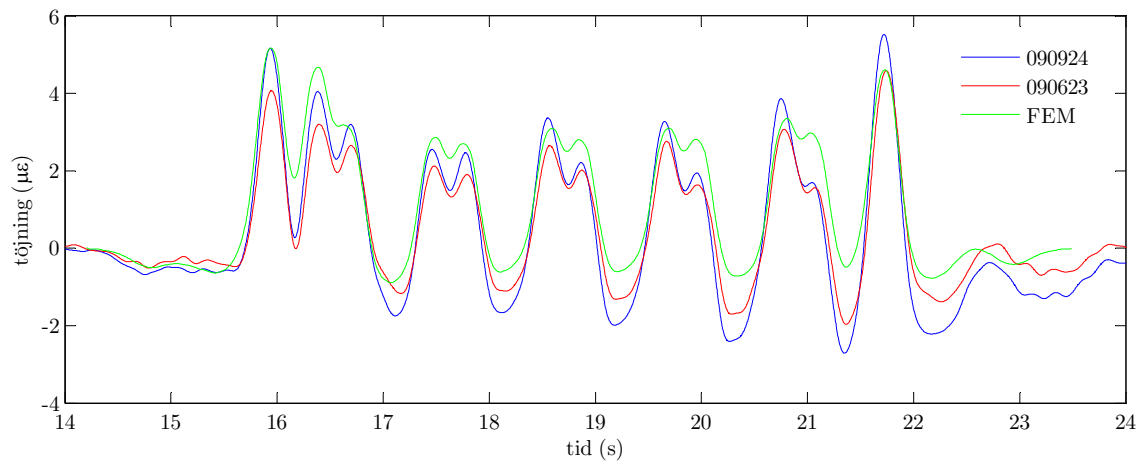
I Figur 2.13 - Figur 2.15 nedan redovisas respons för givare 7, 10 och 15 avseende passage av ett fjärrtåg X2 på östra spåret. Samma förutsättningar som motsvarande jämförelse för X60-tåg.



Figur 2.13: Respons från givare 7 vid överfart av fjärrtåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



Figur 2.14: Respons från givare 10 vid överfart av fjärrtåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



Figur 2.15: Respons från givare 15 vid överfart av fjärrtåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.

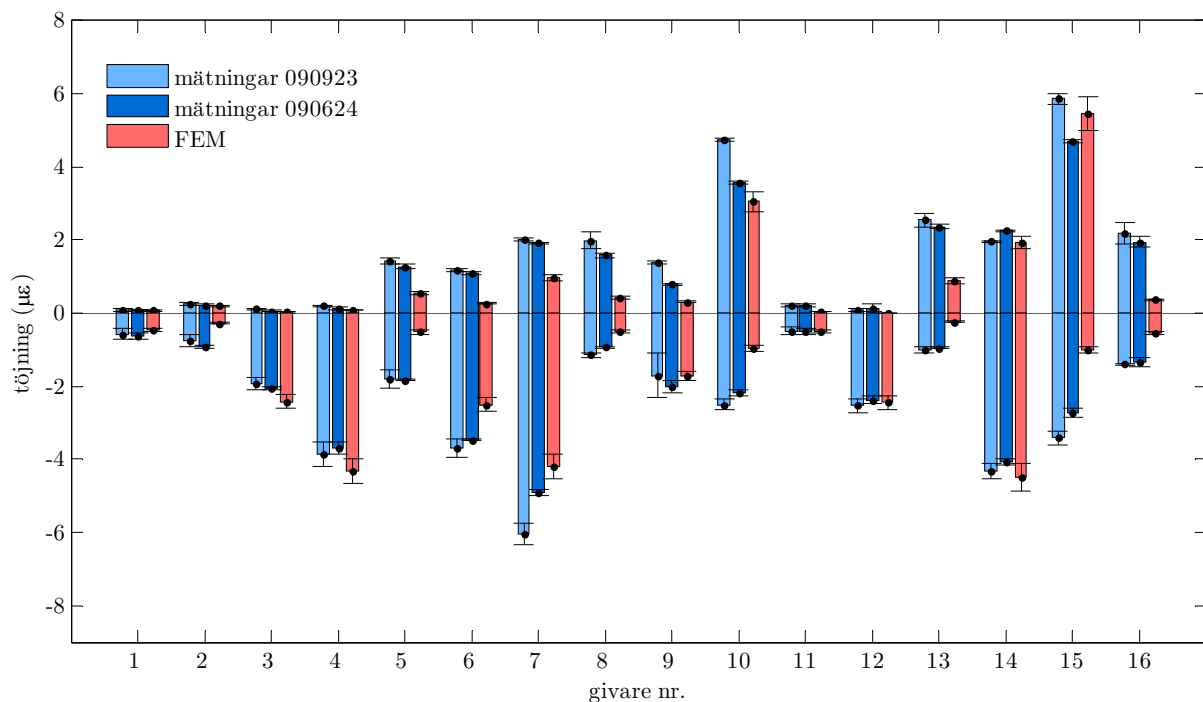
2.4 Regionaltåg X40

Under mätperioden den 24 september registrerades endast 3 st regionaltåg av typ X40, varav två passager (data8 och data20) bestod av 3 vagnar och en passage (data13) bestod av två sammankopplade set med 3+2 vagnar. Under mätperioden den 23 juni registrerades endast två överfarter med regionaltåg X40, den ena (data12) med 2+2 vagnar och den andra (data15) med 3+2 vagnar. Tåglasten är ca. 20 ton/axel. Samtliga överfarter skedde på den östra spåret. I Figur 2.15 visas ett foto på ett X40 tågset.



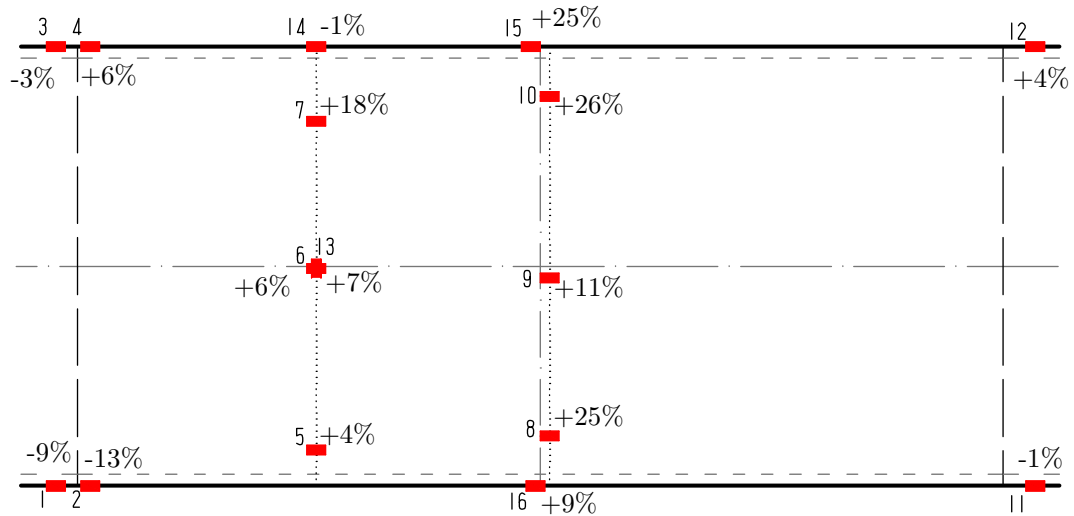
Figur 2.16: Regionaltåg X40.

I Figur 2.17 visas en sammanställning av maximala töjningar för X40-tågen, på samma sätt som motsvarande diagram för X60 och X2 tågen. Ett spridningsmått anges, vilket på sin höjd ger en indikation eftersom underlaget är för lite och dessutom baseras på tågkonfigurationer med olika antal vagnar. Likt tidigare studerade tågtyper visar resultaten på en generell ökning i töjningsvidd, främst för givare i fas 3, ny pågjutning undersida bäge.



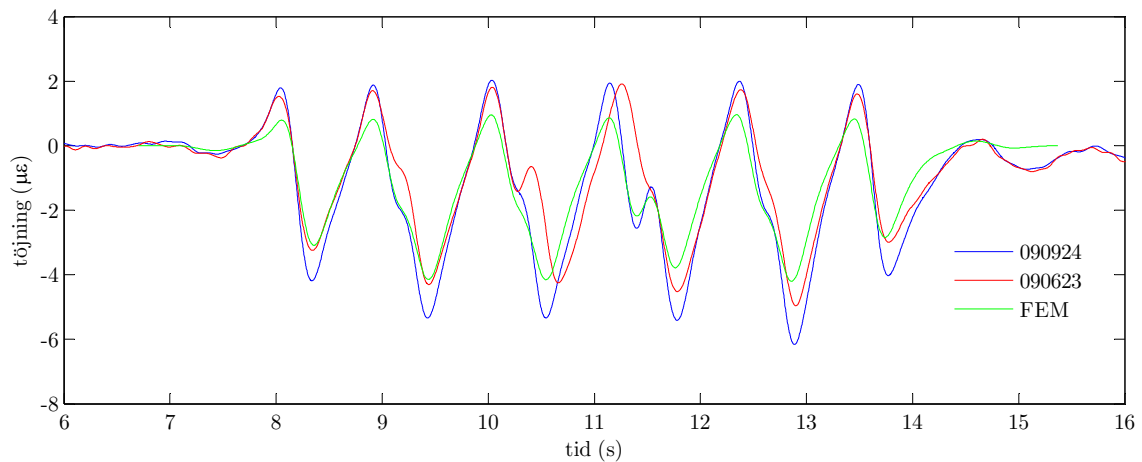
Figur 2.17: Regionaltåg X40 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar och beräkningar.

Största relevanta avvikelser mellan mätningarna återfinns för givare 7 (+20%), givare 10 (+25%) och givare 15 (+25%). I Figur 2.18 visas en översikt av procentuella skillnader för samtliga givare.

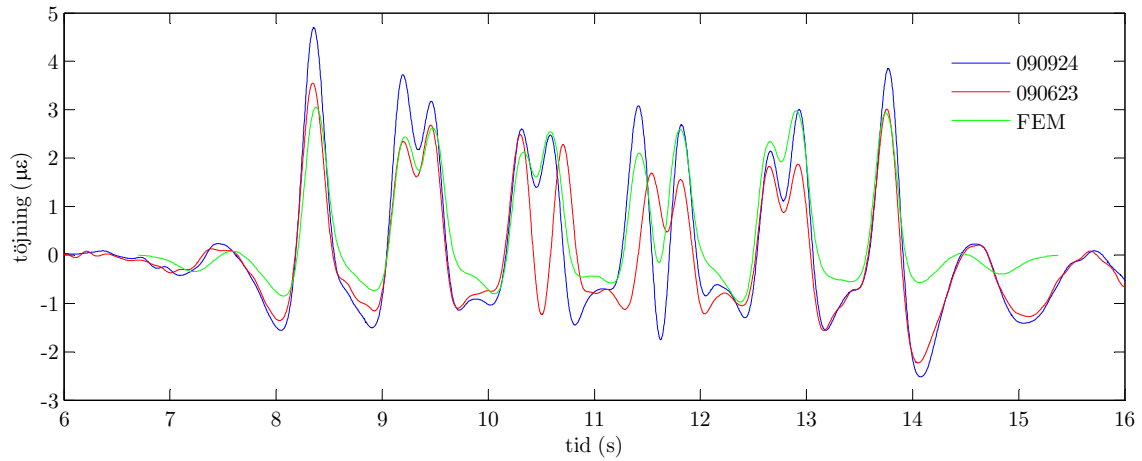


Figur 2.18: Översikt av procentuell förändring i töjningsvidd mellan 23 juni och 24 september vid passage av regionaltåg X40 på östra spåret.

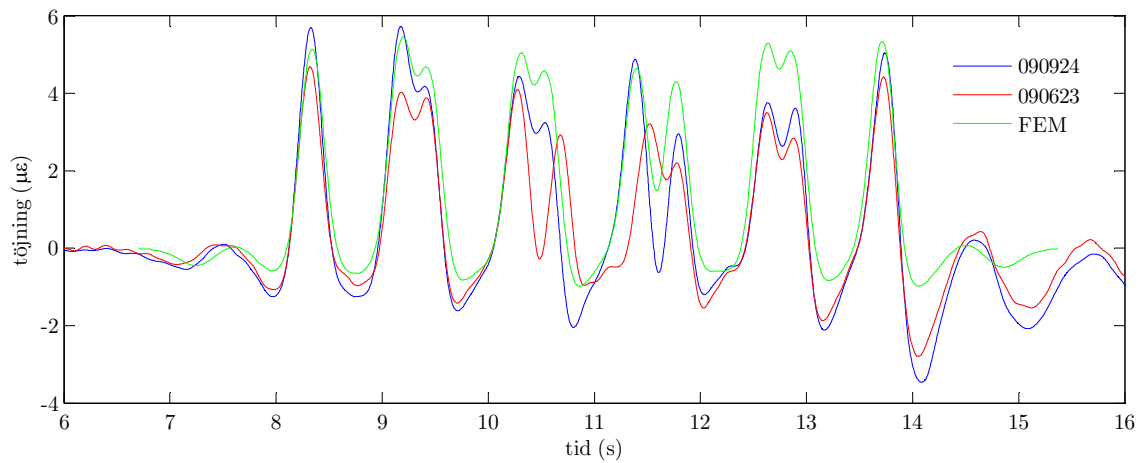
I Figur 2.19 - Figur 2.21 nedan redovisas respons för givare 7, 10 och 15 avseende passage av ett regionaltåg X2 på östra spåret. Samma förutsättningar som motsvarande jämförelse för X60-tåg och X2-tåg.



Figur 2.19: Respons från givare 7 vid överfart av regionaltåg X40 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



Figur 2.20: Respons från givare 10 vid överfart av regionaltåg X40 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.



Figur 2.21: Respons från givare 15 vid överfart av regionaltåg X40 på östra spåret, jämförelse mellan mätningar 24 september, 23 juni och FE-modell.

2.5 Uppdatering av FE-modell

Ovan redovisade avvikelser mellan mätningarna utförda i juni och september har föranlett en uppdatering av befintliga FE-modeller. Det primära syftet är att prova hypotesen att E-modulutvecklingen i betongen i fas 3 är det största orsaken till identifierade avvikelser.

3 Slutsatser

A Mätningar 2009-09-24

A.1 Mätschema

Tabell A.1: Mätschema, registrering av tågpassager.

datum: 2009-09-24
etapp: båge 2, 3 månader efter slutlig förstärkning.
allmänt: Mätningar utförda med MGCPPlus, 400 Hz med 20 Hz Bessel LP filter. Rådata från *.bin-filer måste divideras med bryggfaktorn 1.3 för att motsvara töljningar.

Tid:	datafil (*bin)	tågtyp:	antal vagnar:	spår (ö/v):	notering:
09:17	D1	X2	6	ö	antal vagnar osäkert
09:20	D2	X60	2	v	
09:23	D3	X60	2	v	
09:32	D4	X60	2	v	
09:38	D5	X60	2	v	
09:47	D6	X60	2	v	
09:54	D7	X60	2	v	
09:55	D8	X40	3	ö	foto 224.jpg
10:02	D9	X60	2	v	
10:10	D10	X60	2	v	
10:14	D11	X2	6	ö	filmklipp 225.avi
10:17	D12	X60	2	v	filmklipp 226.avi
10:20	D13	X40	3+2	ö	filmklipp 227.avi
10:23	D14	X60	2	v	
10:25	D15	X2	7	ö	filmklipp 228.avi
10:29	D16	fjärr	5	ö	filmklipp 229.avi, Rc6+5 vagnar
10:31	D17	gods	16	v	filmklipp 230.avi, 1 RC-lok
10:32	D18	X60	2	v	
10:38	D19	X60	2	v	
10:43	D20	X40	3	ö	filmklipp 231.avi
10:47	D21	X60	2	v	
10:51	D22	gods	21	v	filmklipp 232.avi, 2 Rc4-lok
10:53	D23	X60	2	v	
11:03	D24	X60	2	v	
11:08	D25	X60	2	v	
11:18	D26	X60	2	v	
11:19	D27	Regina	1	v	gröna tåget, filmklipp 0233.avi
11:23	D28	X60	2	v	
11:25	D29	X2	6	ö	filmklipp 234.avi
11:27	D30	2*Rc4	-	v	filmklipp 235.avi
11:31	D31	X60	2	v	
11:34	D32	gods	15	v	236.avi, 1 Rc-lok, 8 tomv. i slutet
11:38	D33	X60	2	v	
11:46	D34	X60	2	v	
11:53	D35	X60	2	v	