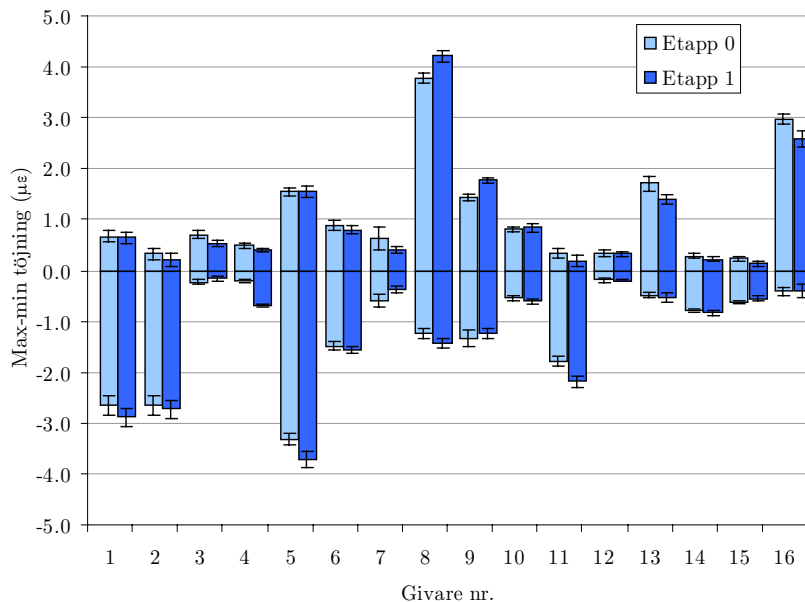




KTH Architecture and  
the Built Environment

# Gamla Årstabron

Sammanställning av töjningsmätningar  
utförda 2007-11-07



*Brobyggnad*

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

©Andreas Andersson 2007  
Royal Institute of Technology (KTH)  
Department of Civil and Architectural Engineering  
Division of Structural Design and Bridges  
Stockholm, Sweden, 2007

# Sammanfattning

Denna rapport redovisar några resultat från töjningsmätningar på båg 2, utförda den 7:e november 2007 avseende respons från trafiklast, efter det att bågens östra sida vattenbilats ca: 200 mm.

Inverkan av vattenbilning på den östra kanten av bågen har studerats för två olika trafiklast, pendeltåg X60 på västra spåret och regionaltåg X2 på östra spåret. För pendeltåg X60 är axelavstånd och axellaster från vagnarna väldefinierade från ritningar. Mätningarna utfördes under lågtrafik varvid andelen personlast var liten. Därtill registrerades 18 överfarer med X60 tåg. Från de filtrerade mätsignalerna är standardavvikelsen avseende maxtöjning ca:  $0.1 \mu\epsilon$  och variationskoefficienten 15 %, baserat på dessa 18 överfarer. För max respons i hjässan på den västra sidan är dock motsvarande variationskoefficient endast 3 %. Resultaten stämmer väl överens med upprättade FE-modeller, i synnerhet i hjässan. I fjärdedelspunkten underskattar FE-modellen responsen något. En jämförelse med tidigare mätning visar på något ökade påkänningar på västra sidan efter vattenbilning på östra sidan, detta stämmer väl överens med FE-modellerna.

En jämförelse med regionaltåg X2 passerande på östra spåret visar på något ökade påkänningar i hjässan och fjärdedelspunkten närmast vattenbilningsområdet. Skillnaderna mellan mätningar och FE-modeller är något större än för X60 tågen, sannolikt p.g.a. X2 tågen inte är lika väldefinierade i beräkningarna. Tendenserna mellan olika etapper är dock liknande mellan mätningar och beräkningar.

Responser från några godståg presenteras. Påkänningarna är vissa fall nästa dubbelt så stora som från pendeltågen och härrör främst från loken, även om vissa vagnar är i samma storleksordning. Uttryckt i spänningar är påkänningarna dock små, i storleksordningen 1-2 MPa i armeringen.

Resultaten för de studerade tågpassagera uppvisar generellt förväntade responser i samma storleksordning som beräkningarna. Inverkan av vattenbilning på bågens östra kant har liten men mätbar inverkan på brukslaster.

Stockholm i december 2007



*Andreas Andersson*



# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>i</b>
<b>1 Fältmätningar</b>	<b>1</b>
1.1 Allmänt . . . . .	1
1.2 Mätinställningar och placering av givare . . . . .	1
1.3 Tågpassager . . . . .	3
<b>2 Resultat</b>	<b>5</b>
2.1 Signalkvalitet och filtrering . . . . .	5
2.2 Resultat pendeltåg X60 . . . . .	6
2.3 Resultat regionaltåg X2 . . . . .	8
2.4 Resultat godståg . . . . .	10
<b>3 Slutsatser</b>	<b>15</b>
<b>A Mätningar 2007-11-07</b>	<b>17</b>
A.1 Mätschema. . . . .	17



# 1 Fältmätningar

## 1.1 Allmänt

Mätningarna redovisade i föreliggande rapport utfördes den 7:e november 2007 kl. 9:30 – 12:50 och omfattar töjningsmätningar på gamla Årstabrons båge 2. Mätningarna utfördes efter det att ca: 200 mm betong avlägsnats med vattenbilning från bågens östra kant, i teknisk beskrivning dat. 2007-02-25 benämnd som vattenbilning fas 1.



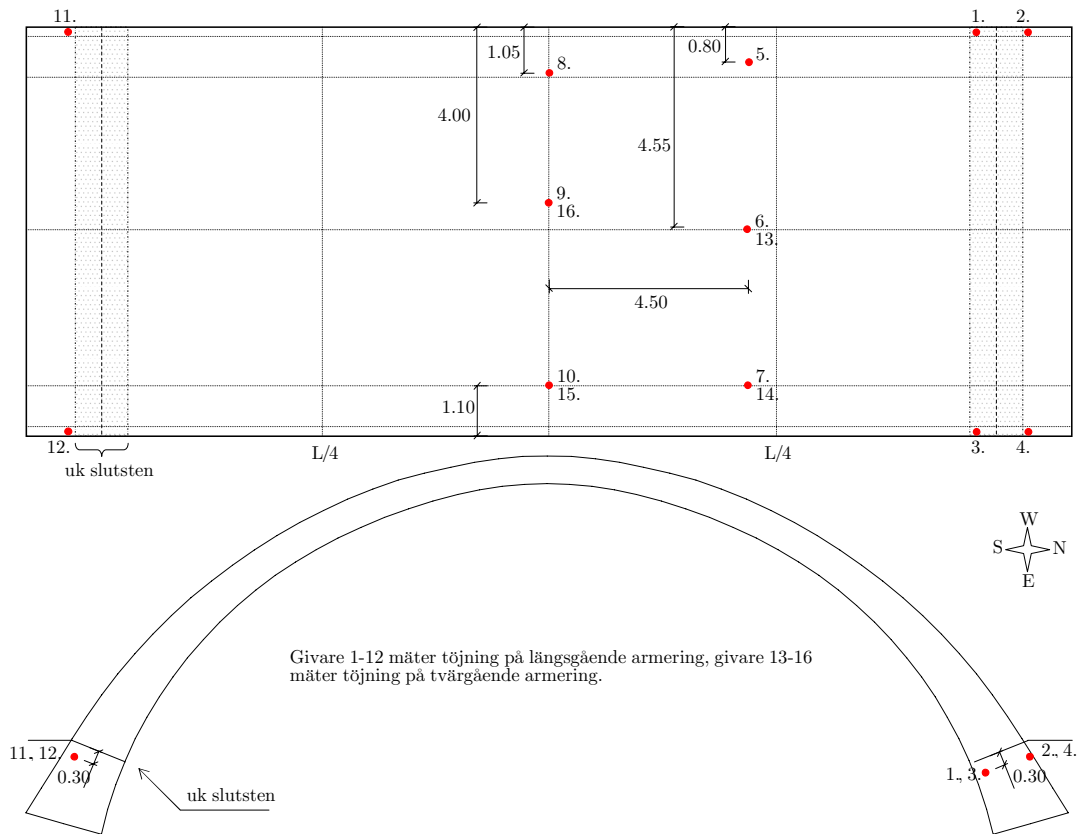
Figur 1.1: Vattenbilad yta, östra sidan båge 2.

## 1.2 Mätinställningar och placering av givare

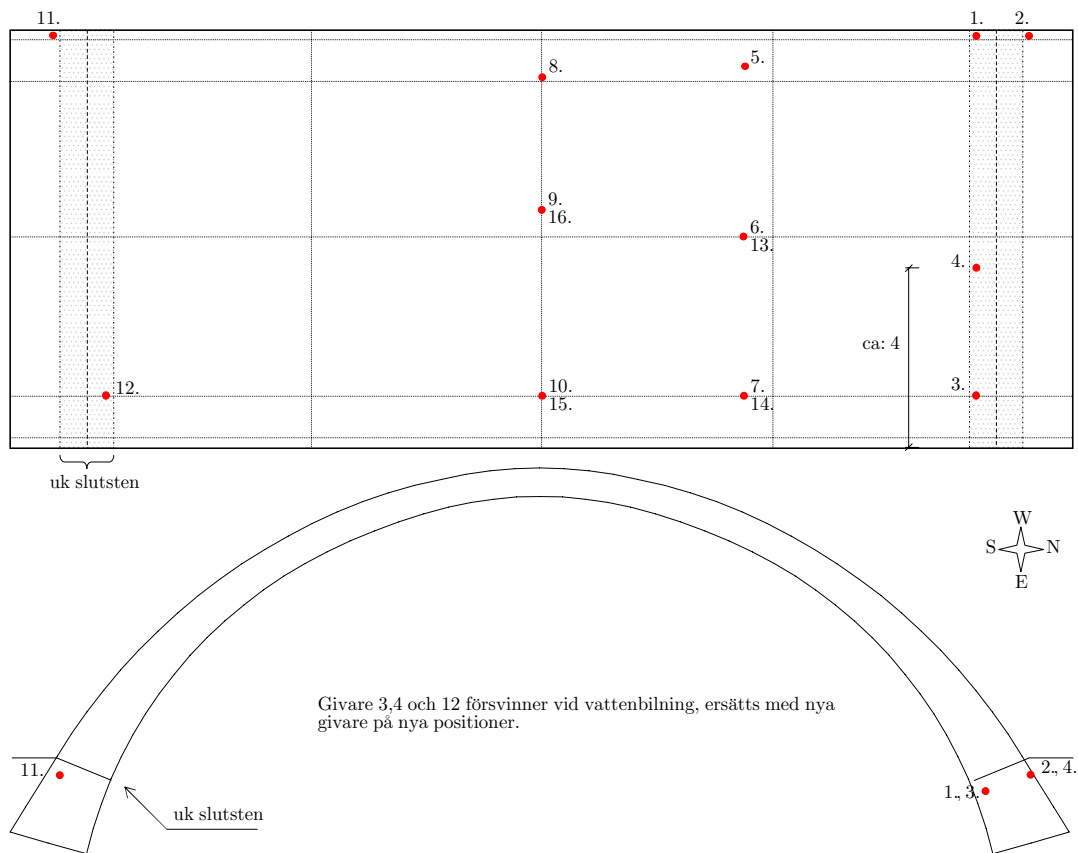
Givarnas placering under tidigare mätningar, utförda 2007-10-17, återfinns i Figur 1.2. Vid mätningarna 2007-11-07 användes flertalet av dessa givare. Under vattenbilning av den östra sidan togs givare 3,4 och 12 bort, vilka ersattes med nya givare på nya positioner, enligt Figur 1.3. Därtill har givare 7 ersatts med ny givare på samma position, då tidigare mätningar indikerat att denna givare varit defekt.

Vid mätningarna den 17:e oktober användes en 24 bit A/D omvandlare av typ MGC*plus*. Mätningarna utfördes med samplingsfrekvens 200 Hz och ett Bessel lågpassfilter på 40 Hz för att förhindra spegling från högre frekvenser.

# 1. FÄLTMÄTNINGAR



Figur 1.2: Tidigare instrumentering, under mätningar utförda 2007-10-17.



Figur 1.3: Instrumentering under mätningar utförda 2007-11-07.



## 1.3 Tågpassager

Mätningarna omfattar inverkan av trafiklast, som utgörs av den normala trafiken. Samtliga tåg passerade söderut. Mellan kl. 9:30 - 12:50 uppmättes totalt 44 tågpassager, varav 18 st X60 pendeltåg, 6 st X1/X10 pendeltåg, 3 st X40 regionaltåg, 5 st X2 regionaltåg, 4 st godståg, 4 st enskilda lok och 4 övriga ej identifierade tåg.

Större delen av analysen i denna rapport avser pendeltåg av typ X60, dels för att de är relativt väldefinierade i last och axelavstånd, dels för att 18 uppmätta passager ger god statistisk grund. Mätningarna utfördes under lågtrafik vid samma tid på dygnet som tidigare mätningar. Skillnaden i yttre last bör därvid vara minimal och största ändring i respons mellan de två mättillfällena förväntas bero på strukturen. Tidigare mätningar visade god överensstämmelse med upprättade FE-modeller om helt tomma vagnar antogs.

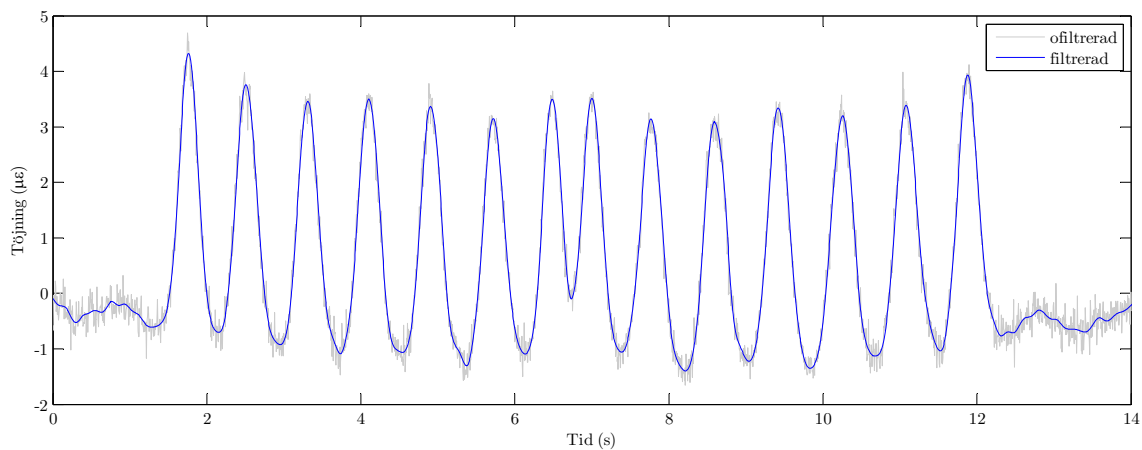
Från mätschema i Tabell A.1 framgår att pendeltåg passerar på västra spåret och regionaltåg på östra spåret. Godståg passerar på båda spåren. Samtliga tåg åker söderut.



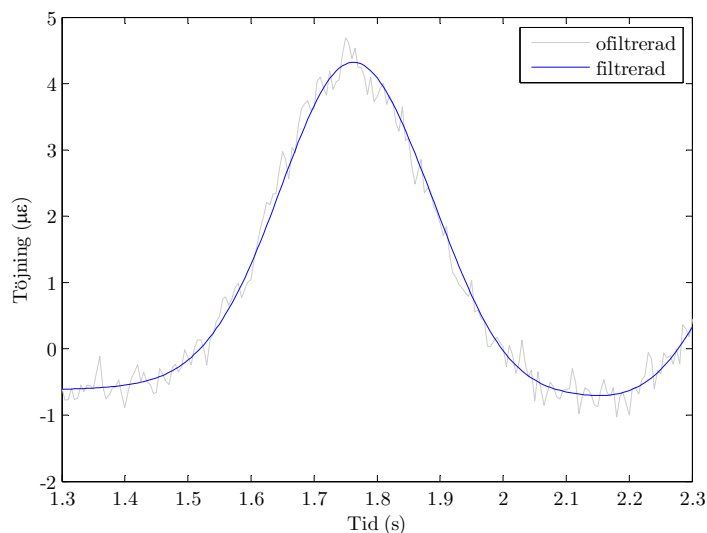
## 2 Resultat

### 2.1 Signalkvalitet och filtrering

Tidigare analys av signalkvalitet har visat att inga tåg inducerar märkbar energi över 5 Hz. För pendeltåg av typ X60 ligger gränsen kring 3 Hz, vilket främst motsvaras av axel- och boggiavstånden. Samtliga signaler från samtliga mätningar filtreras därför med ett 8:e ordningens Butterworth lågpasfilter vid 5 Hz. Figur 2.1 och Figur 2.2 visar inverkan av filtrering vid passage av ett X60 pendeltåg.



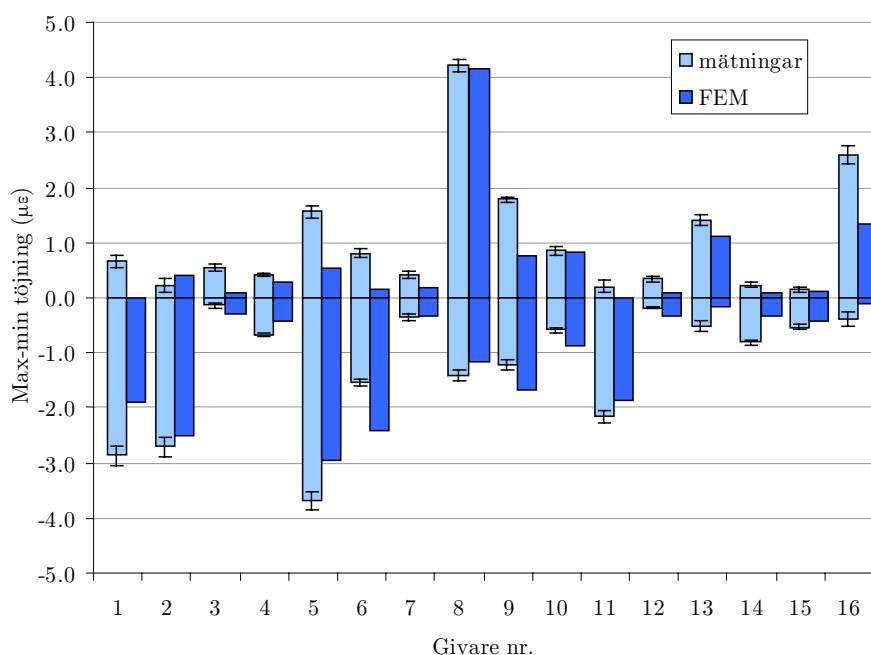
Figur 2.1: Mätning 2 givare 8, passage av X60 tåg på västra spåret. Jämförelse mellan ofiltrerad och filtrerad signal.



Figur 2.2: Detalj av första axel för samma tågpassage som ovan.

## 2.2 Resultat pendeltåg X60

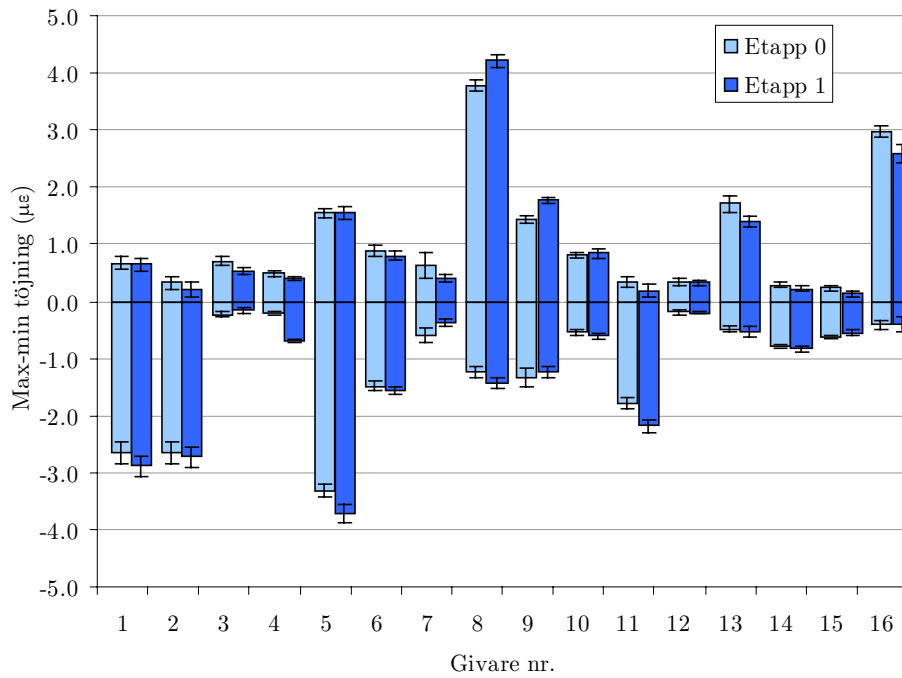
En jämförelse mellan mätningar och FE-modell avseende töjningsvidder för pendeltåg X60 redovisas i Figur 2.3. Analys av mätningarna baseras på filtrerade signaler. I genomsnitt för X60 tågpassagera är standardavvikelsen mindre än  $0.1 \mu\epsilon$  och variationskoefficienten 15 %, baserat på max och min respons från 18 mätningar. För max påkänning i givare 8 är dock variationskoefficienten endast 3 %. Eftersom samtliga X60 tåg passerade på västra spåret är responsen i givare 3, 7, 10, 12, 14 och 15 närmast östra sidan liten. Vid anfang och fjärdedelspunkt västra sidan, givare 1 och givare 5, underskattas responserna i FE-modellerna jämfört med mätningarna. Givare 8 i hjässan visar god överensstämmelse mellan FEM och mätningar. Givare 6 och givare 9, placerade centriskt i tvärlängd, uppvisar något mindre tryckspänningar från mätningar än från FEM, dock är spänningsvidden snarlik.



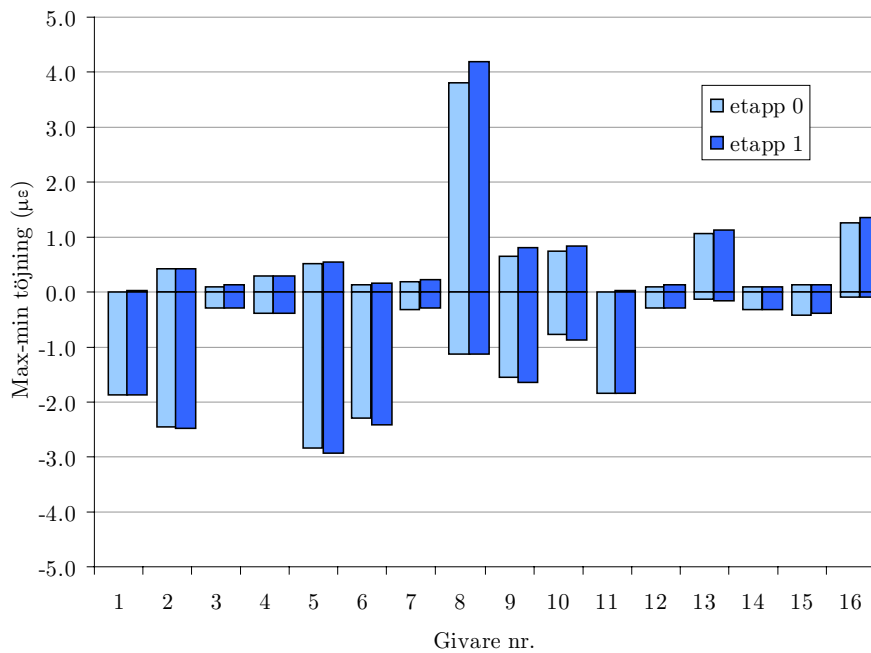
Figur 2.3: Max och min respons från pendeltåg X60 på västra spåret etapp 1, jämförelse mellan FE-modell (tomvagnar) och mätningar, negativ töjning anger tryck. Spridningsmått avser standardavvikelsen.

I Figur 2.4 nedan visas skillnaden mot tidigare mätning samt standardavvikelsen. Generellt har påkänningarna ökat något på västra sidan efter vattenbilning på östra sidan. På östra sidan är förändringen liten. Givare 7 har mindre spridning efter utbyte mot ny givare. Givare 3, 4 och 12 har ändrat position och är inte helt jämförbara.

Figur 2.5 visar skillnaden före och efter vattenbilning enligt FE-modellen. Likt mätningarna visar FE-modellen att påkänningarna ökar på västra sidan, främst i hjässan. I hjässan på östra sidan är ökningen minimal, vilket överensstämmer med mätningarna.



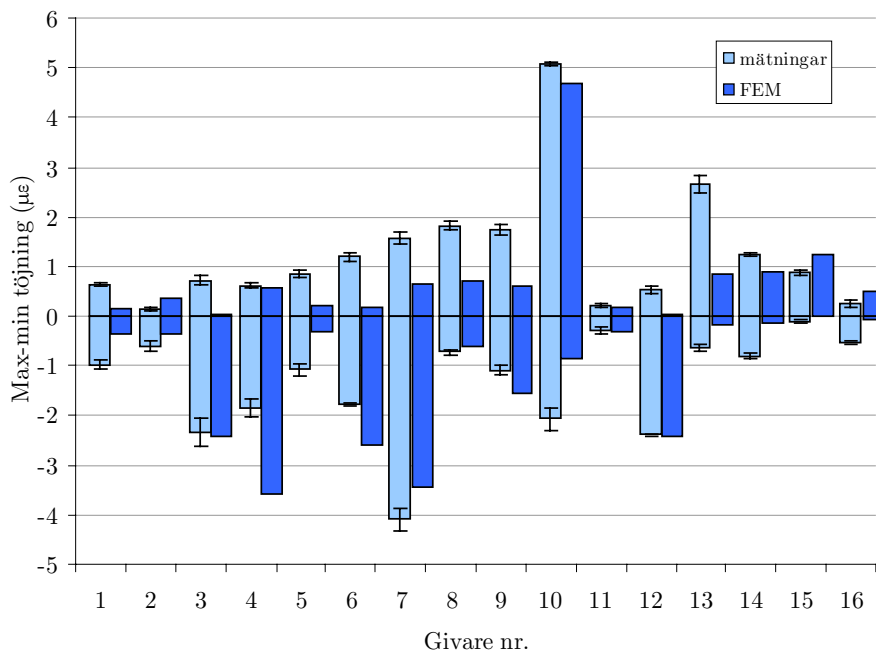
Figur 2.4: Max och min respons från mätningar, pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan etapp 0 och etapp 1.



Figur 2.5: Max och min respons uppskattad med FE-modellen, pendeltåg X60 på västra spåret, jämförelse mellan etapp 0 och etapp 1.

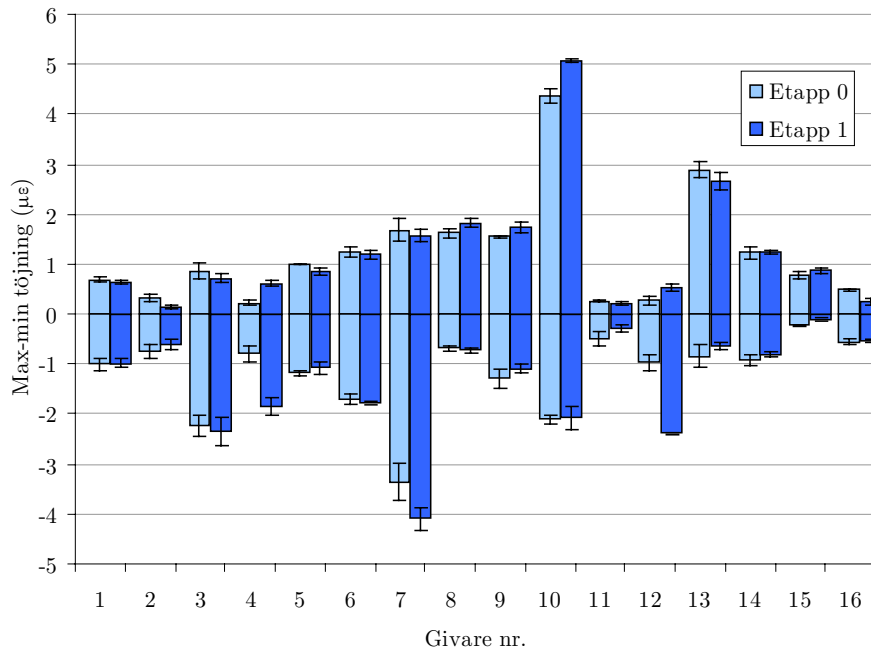
## 2.3 Resultat regionaltåg X2

För att undersöka trafikens inverkan på samma sida som vattenbilningen studeras regionaltåg typ X2. Dessa är relativt väldefinierade och under mättillfället registrerades 6 passager, vilket ger en rimlig uppskattning avseende spridningar. Standardavvikelsen är i genomsnitt mindre än  $0.1 \mu\epsilon$  och variationskoefficienten 10 %. Dock är variationskoefficienten för dragpåkänningen i hjässan på östra sidan mindre än 0.5 %. Generellt underskattar FE-modellen responsen från X2 tåget något, Figur 2.6, vilket till viss del kan bero på att axellaster och axelavstånd inte är lika väldefinierade i FE-modellen som för X60 tåget. Inverkan av personlasten är försumbar.

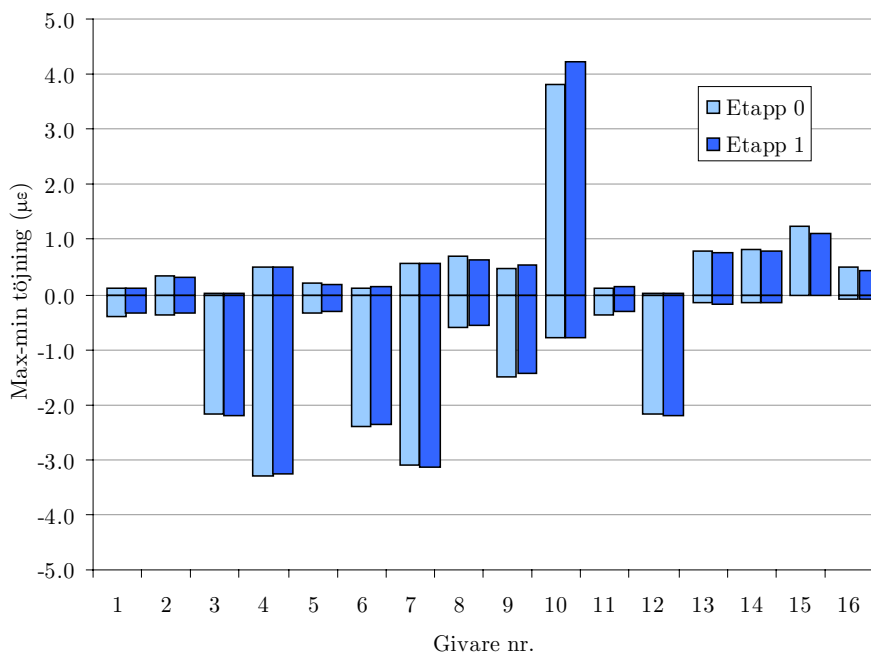


Figur 2.6: Max och min respons från regionaltåg X2 på östra spåret etapp 1, jämförelse mellan FE-modell (tomvagnar) och mätningar.

Jämfört med tidigare mätningar, Figur 2.7, har påkänningarna ökat något, främst avseende dragpåkänning i hjässan och tryckpåkänning i fjärdedelspunkten, båda på östra sidan. Givare 3, 4 och 12 har bytt position och är inte helt jämförbara mellan mätningarna. I FE-modellerna för motsvarande etapper, Figur 2.8, är skillnaden mindre och endast en marginell ökning kan tydas i fjärdedelspunkten. Dock är ökningen i hjässan tydlig och i samma storleksordning som från mätningarna.



Figur 2.7: Max och min respons från mätningar, regionaltåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan etapp 0 och etapp 1.



Figur 2.8: Max och min respons uppskattad med FE-modellen, regionaltåg X2 på östra spåret, jämförelse mellan etapp 0 och etapp 1.

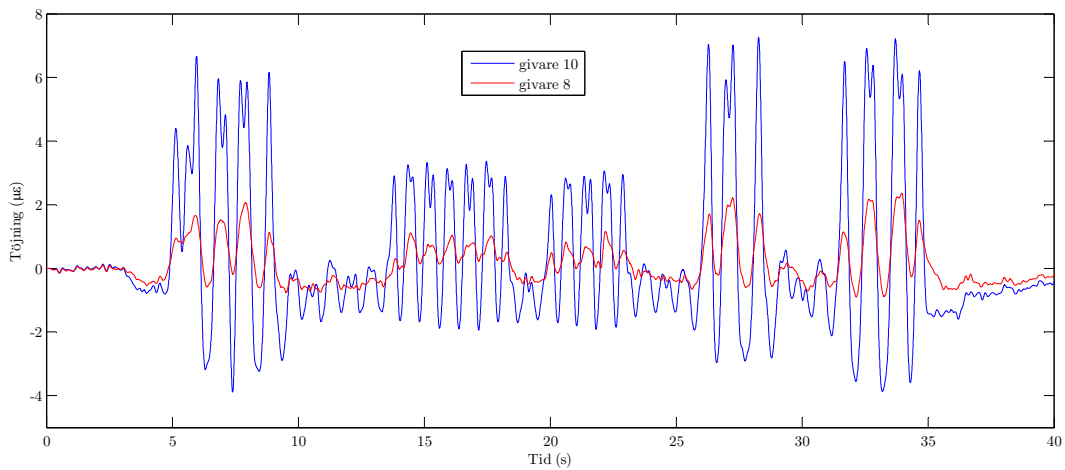
### 2.4 Resultat godståg

Nedan redovisas resultat från några godstågspassager. Figur 2.9 - Figur 2.11 är ett godståg på östra spåret med ett 30-tal vagnar. Vissa vagnar är enaxliga. Största påkänningarna är ca:  $7 \mu\epsilon$  i hjässan (drag) och ca:  $8 \mu\epsilon$  i fjärdedelspunkten (tryck). Som jämförelse ger pendeltåg X60 ca:  $4 \mu\epsilon$  i hjässan (drag) och ca:  $4 \mu\epsilon$  i fjärdedelspunkten (tryck).

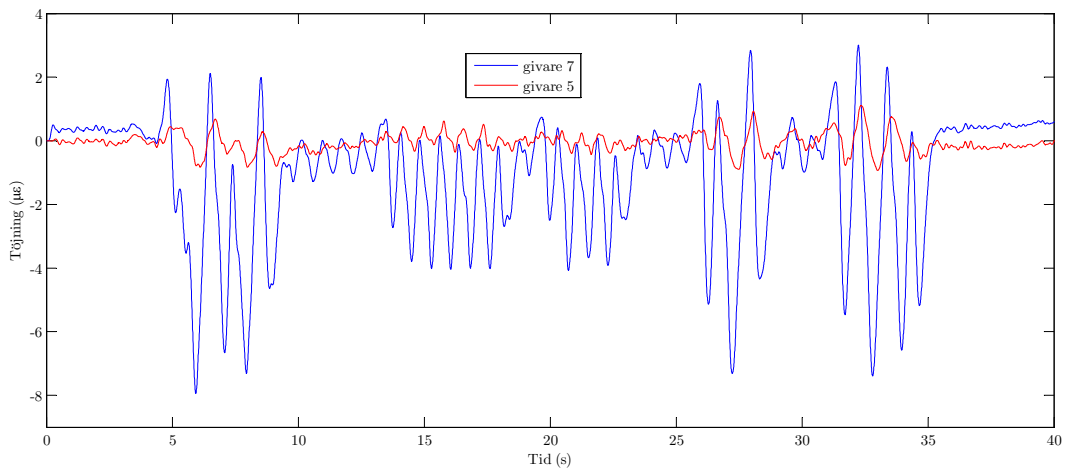
Figur 2.12 - Figur 2.14 redovisar ett godståg på västra spåret, bestående av två RC-lok och 28 vagnar. De första 9 vagnarna är tomma. Påkänningarna är ca:  $4 \mu\epsilon$  i hjässan (drag) och ca:  $4 \mu\epsilon$  i fjärdedelspunkten (tryck). De största påkänningarna kommer främst från loken, men även vissa vagnar är i samma storleksordning.

Figur 2.15 - Figur 2.17 redovisar ett godståg på västra spåret, bestående av ett RC-lok och 17 tomvagnar. Ett RC-lok ger i princip samma påkänningar som de dubbelkopplade i Figur 2.12. Tomvagnarna är identifierbara från mätningarna men ger liten påkänning.

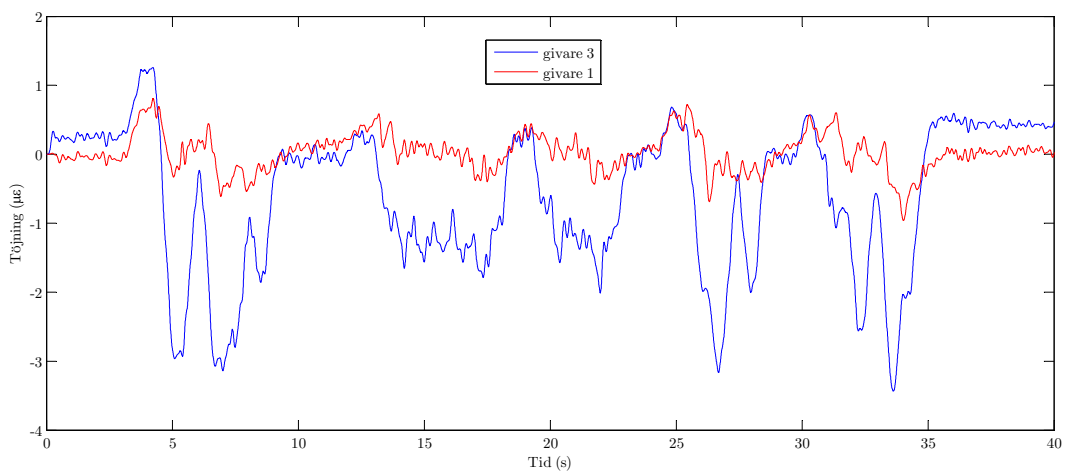




Figur 2.9: Godståg från mätning nr 7 på östra spåret, innehållande både enaxliga och tvåaxliga vagnar, respons i hjässan.

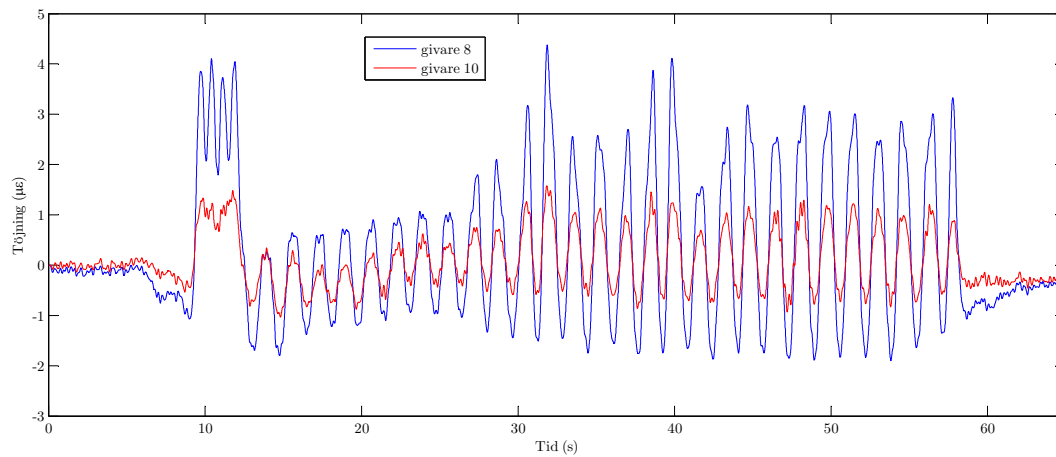


Figur 2.10: Godståg från mätning nr 7 på östra spåret, innehållande både enaxliga och tvåaxliga vagnar, respons i fjärdedelspunkten.

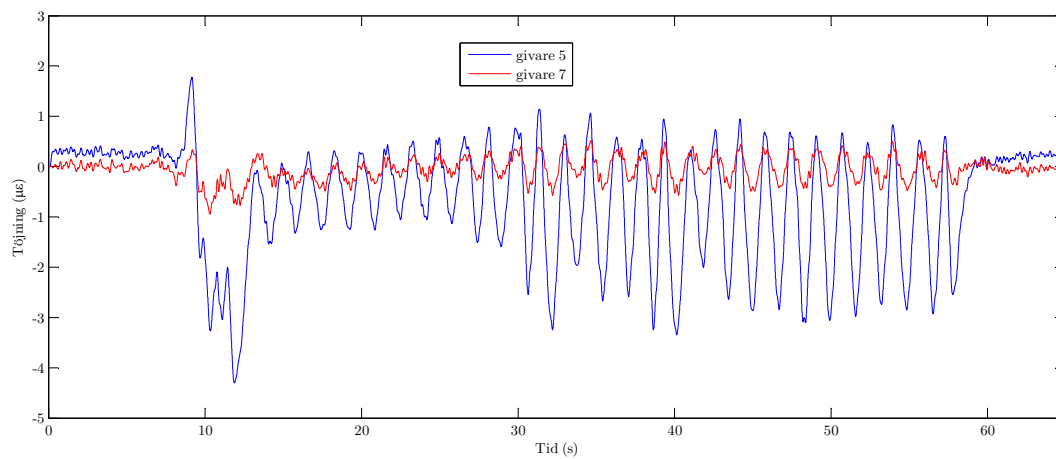


Figur 2.11: Godståg från mätning nr 7 på östra spåret, innehållande både enaxliga och tvåaxliga vagnar, respons vid anfanget

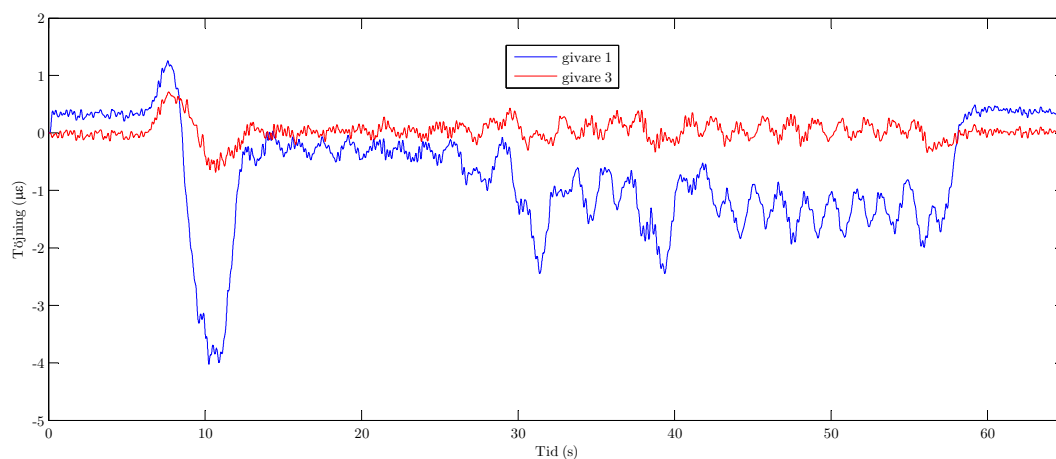
## 2. RESULTAT



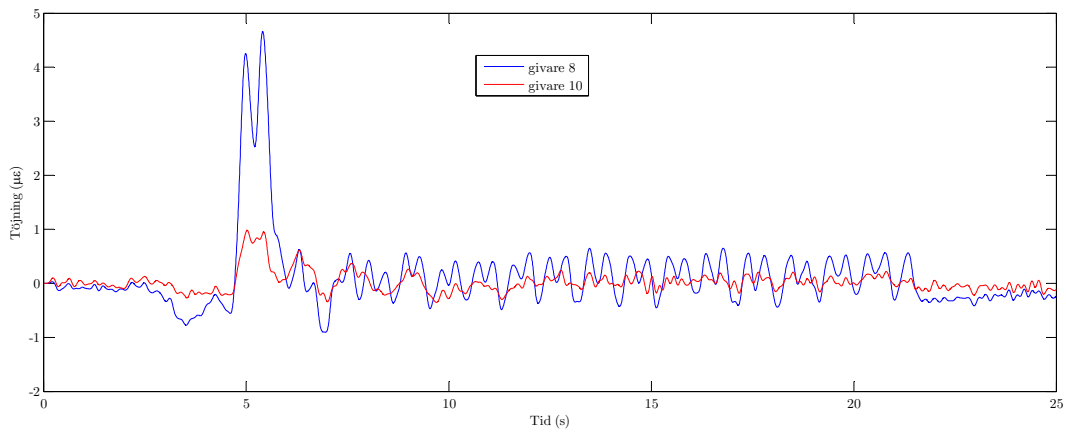
Figur 2.12: Godståg från mätning nr 16 på västra spåret, 2 RC-lok och 28 vagnar, ca: 9 tomvagnar längst fram, respons i hjässan.



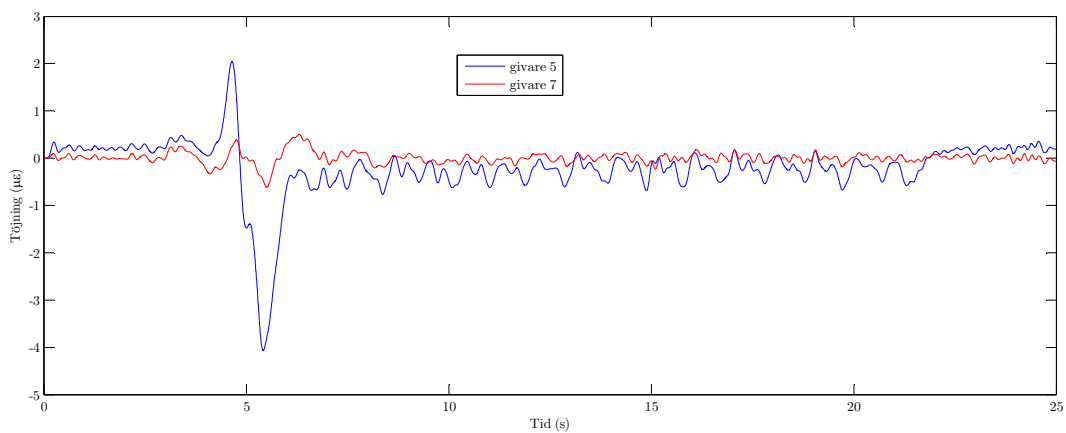
Figur 2.13: Godståg från mätning nr 16 på västra spåret, 2 RC-lok och 28 vagnar, ca: 9 tomvagnar längst fram, respons i fjärdedelspunkten.



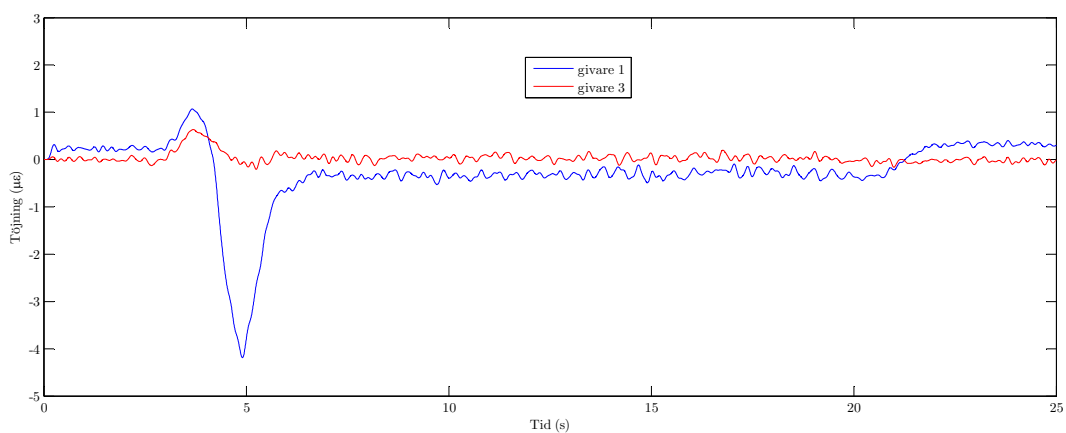
Figur 2.14: Godståg från mätning nr 16 på västra spåret, 2 RC-lok och 28 vagnar, ca: 9 tomvagnar längst fram, respons vid anfanget



Figur 2.15: Godståg från mätning nr 24 på västra spåret, ett RC-lok och 17 tomvagnar, respons i hjässan.



Figur 2.16: Godståg från mätning nr 24 på västra spåret, ett RC-lok och 17 tomvagnar, respons i fjärdedelspunkten.



Figur 2.17: Godståg från mätning nr 24 på västra spåret, ett RC-lok och 17 tomvagnar, respons vid anfanget.



### 3 Slutsatser

Inverkan av vattenbilning på den östra kanten av bågen har studerats för två olika trafikklaster, pendeltåg X60 på västra spåret och regionaltåg X2 på östra spåret. För pendeltåg X60 är axelavstånd och axellaster från vagnarna väldefinierade från ritningar. Mätningarna utfördes under lågtrafik varvid andelen personlast var liten. Därtill registrerades 18 överfarer med X60 tåg. Från de filtrerade mätsignalerna är standardavvikelsen avseende maxtöjning ca:  $0.1 \mu\epsilon$  och variationskoefficienten 15 %, baserat på dessa 18 överfarer. För max respons i hjässan på den västra sidan är dock motsvarande variationskoefficient endast 3 %. Resultaten stämmer väl överens med upprättade FE-modeller, i synnerhet i hjässan. I fjärdedelspunkten underskattar FE-modellen responsen något. En jämförelse med tidigare mätning visar på något ökade påkänningar på västra sidan efter vattenbilning på östra sidan, detta stämmer väl överens med FE-modellerna.

En jämförelse med regionaltåg X2 passerande på östra spåret visar på något ökade påkänningar i hjässan och fjärdedelspunkten närmast vattenbilningsområdet. Skillnaderna mellan mätningar och FE-modeller är något större än för X60 tågen, sannolikt p.g.a. X2 tågen inte är lika väldefinierade i beräkningarna. Tendenserna mellan olika etapper är dock liknande mellan mätningar och beräkningar.

Responser från några godståg presenteras. Påkänningarna är vissa fall nästa dubbelt så stora som från pendeltågen och härrör främst från loken, även om vissa vagnar är i samma storleksordning. Uttryckt i spänningar är påkänningarna dock små, i storleksordningen några 1-2 MPa i armeringen.

Resultaten för de studerade tågpassagera uppvisar generellt förväntade responser i samma storleksordning som beräkningarna. Inverkan av vattenbilning på bågens östra kant har liten men mätbar inverkan på brukslaster.



# A Mätningar 2007-11-07

## A.1 Mätschema

Tabell A.1: Mätschema.

**datum:** 2007-11-07

**etapp:** fas 1, efter att ca: 200 mm av bågens östra kant har vattenbilats.

**Allmänt:** molningt, ca: -1 ° C lite vind, varit kallare under natten. Samtliga givare är utförda i halvbygga och mätresultaten från \*.BIN-filerna ska divideras med bryggfaktorn 1+v. Givare 3, 4 och 12 har bytt plats pga. de försvann vid vattenbilning. Givare 7 har ersatts med ny givare på samma plats. Givare 12 kan ev. vara defekt. Givare 1 uk och givare 2 ök.

tid:	mätning nr:	tågtyp:	antal vagnar:	spår:	notering:
09:32	1	X60	2	väst	
09:42	2	X60	2	väst	
09:46	3	X60	2	väst	
09:56	4	X60	2	väst	
09:59	5	X40	2	öst	dubbeldäckare, 17 ton/axel
10:02	6	X1/X10	4	väst	
10:04	7	gods	34	öst	täckta vagnar, några enaxliga. RC4 lok?
10:10	8	X1	4	väst	två sista vagnarna X10
10:14	9	X2	6	öst	6 vagnar inkl längst fram och längst bak
10:17	10	X10	5	väst	
10:25	11	X2		öst	
10:27	12	X60	2	väst	
10:28	13		4	öst	RC-lok?
10:30	14			öst	arbetslok (spårleggningsvagn?)
10:31	15	X10A	4	väst	
10:41	16	gods	28	väst	2 st RC-lok + 28 vagnar, flest tomvagnar i början
10:45	17	X40	1?	öst	6 dubbelboggi
10:46		X60	2	väst	
10:47	18	X60	2	väst	
10:57	19	X60	2	väst	
10:59	20	X40		öst	8 dubbelboggi?
11:02	21	X60	2	väst	
11:12	22	X60	2	väst	
11:17	23	X60	2	väst	
11:20	24	gods		väst	17 tomvagnar, 2-axliga vagnar, ett RC2-lok
11:24	25	X2	6-7	öst	
11:26	26	X60	2	väst	
11:45 - 12:53	27				långtidsmätning under lunchrast, bytt strömförsörjning från elverk till befintlig bygg-el (risk för el-spikar mm)
11:48	27 1	X60		väst	under mätning 27 skedde ingen övervakning av trafik
11:49	27 2	RC-lok		väst	
11:59	27 3	X60		väst	
12:00	27 4	X10?		öst	
12:02	27 5	X60		väst	
12:14	27 6	X60		väst	
12:18	27 7	X10?		väst	
12:21	27 8	RC-lok		väst	
12:22	27 9	X2		öst	

*forts. nästa sida*

A. MÄTNINGAR 2007-11-07

---

tid:	mätning nr:	tågtyp:	antal vagnar:	spår:	notering:
12:28	27 10	X60		väst	
12:29	27 11	X2		öst	
12:33	27 12	X60		väst	
12:34	27 13	X2		öst	
12:42	27 14	X10?		väst	
12:43	27 15	RC-lok?		öst	
12:44	27 16	X10?		öst	
12:48	27 17	X60		väst	