

LICENTIATUPPSATS

Effektivare samverkansbroar

Prefabricerade farbanor med torra fogar

ANDERS STOLTZ

Institutionen för Väg- och vattenbyggnad
Avdelningen för Stålbyggnad

SAMMANFATTNING

Dagens vägbroar utgörs ofta av samverkanskonstruktioner med bärande huvudbalkar av stål och farbana av betong. Detta sätt att bygga har visat sig vara kostnadseffektivt och ur konstruktionshänseende en bra lösning. På senare tid har det blivit allt viktigare att byggtiden dessutom skall minimeras så långt som möjligt för att bland annat minska de störningar som uppstår för trafikanten under produktionstiden.

Uppsatsen presenterar en metod som gör det möjligt att uppfylla dessa krav vid byggande av samverkansbroar. Metoden baseras på ett system som har hög prefabriceringsgrad. Förutom stålbalkarna är även betongfarbanan prefabricerad. Det unika med metoden som beskrivs i denna licentiatuppsats är att fogarna mellan elementen är torra. I stället för att ha en kontinuerlig skarv med genomgående armering så används överlappande betongklackar för att föra över vertikalkrafterna mellan elementen som uppstår då ett fordon passerar fogen.

Metoden har använts för bro BD 1883, en enspannsbro över Rokån i Norrbotten. För detta fall föreligger det inte några stora hinder eftersom fogen är tryckt och inte öppnar sig. Om bron däremot utförs som en flerspannsbro kan det uppstå problem över innerstöd eftersom fogen vill öppna sig.

För att undersöka hur fogen beter sig under sådana förhållanden har det utförts försök vid Testlab, LTU. Syftet var att undersöka hur mycket fogen öppnar sig över innerstöd vertikalt på grund av passerande hjultryck samt horisontellt på grund av trafiklast i fält. Detta tros ha betydelse för isoleringsskiktet och beläggningen. Den största vertikala rörelsen mellan överytorna på två element intill varandra uppgick till omkring 1,4 mm. Den horisontella öppningen uppgick till 1,1 mm. En annan del av försöket bestod i att undersöka om de skjuvförbindande svetsbultarna skulle utmattas då bron böjer sig över innerstödet till följd av trafiklast i fält. Tre stycken svetsbultar utmattades, och mätningar med akustisk emission visade att sprickorna i svetsbulten började tillväxa vid 400 000 lastcykler.

För att underlätta utvärderingen skapades också en FE-modell där det var möjligt att variera storleken på elementen och se hur detta påverkade resultaten. Ett av syftena med denna modellering var att bestämma de krafter som påverkade svetsbultarna. Från FE-analysen uppskattades skjuvkraften på den mest påverkade svetsbulten till 44,1 kN och en uppskattning utifrån den verkliga töjningsbilden gav 47,9 kN.

Det har också utförts fältmätningar på den verkliga bron över Rokån för att se om det förelåg samverkan mellan stålet och betongen. Även dessa undersökningar FE modellerades för att

underlätta utvärderingen. Både mätta töjningar och FE-analysen pekar på att vid centrisk last över ena balken tas cirka 20 % av lasten upp av den andra balken.

Dessutom har ett examensarbete vid LTU visat på stora samhällsekonomiska aspekter för detta koncept på bro BD 1883 över Rokån jämfört med traditionella byggmetoder. Även effekter som trafikantstörningar vägdes in för att få en så heltäckande jämförelse som möjligt.

ABSTRACT

A modern road bridge is often a composite bridge with main girders of steel and the bridge deck of concrete. This way of constructing a bridge has been shown to have a high economic efficiency. To day it is also important to minimise the construction time as much as possible in order to minimise the disturbance for the user of the road.

This thesis presents a method based on a system with a high degree of prefabrication. Not only the steel girders are prefabricated, but also the concrete slab. The unique feature of this method is that the joints between the elements are dry with no reinforcement passing trough the joints. Overlapping concrete tongues are used to prevent relative vertical deflection between adjacent elements when a vehicle is passing over the joint.

This method has been tested on a real object, a single span two girder bridge over Rokån in Sweden. In this case there is no problem because the joints will always be in compression and will not open. If the bridge on the other hand has intermediate supports the problems may occur due to the fact that the elements will be subjected to tension forces. Dues to the tension the joint tends to open up over the support.

In order to investigate what will happen to a joint subjected to tension forces, an experimental studies has been taken place at the Luleå University of Technology in Sweden. The aim of the tests was to see how much the joint over the intermediate support would open in horizontal as well as in vertical direction. The magnitude of the opening has influence on water proofing as well as on the surfacing. The opening in the vertical direction was 1,4 mm and the horizontal opening was 1,1 mm. Another aim was to investigate the behaviour of the stud shear connectors subjected to fatigue load. Three shear connectors did suffer from fatigue and a acoustic emission measuring indicate that the shear connectors start to crack after 400 000 load cycles.

In order to make it easier to evaluate the test results, a finite element study was performed. A parametric study could give an answer what shear forces there was on the studs during the test. The results gives that the maximum shear force was 44,1 kN compered to 47,9 kN calculated from the real strains in the flange.

Full scale tests has also been performed on the real bridge over Rokån. Finite element studies was performed in order to investigate the load distribution between the girders and to evaluate the composite action between the steel girder and the concrete. The results indicate that approximately 20 % of the load will distributed to the other girder. The composite action is also proved to be sufficient.

During the work of this thesis a diploma work has been running in order to investigate the economic efficiency of this new concept compared to conventional methods of constructing composite bridges including the costs for disturbance of the traffic.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	I
SAMMANFATTNING	III
ABSTRACT	V
BETECKNINGAR	VII
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	XI
1. INLEDNING	3
1.1 BAKGRUND	3
1.2 SYFTE	7
1.3 METODVAL	7
1.4 LÄSANVISNINGAR	8
2. LITTERATURSTUDIER	11
2.1 ALLMÄNT	11
2.2 SKJUVFÖRBINDARE	11
2.2.1 Allmänt	11
2.2.2 Svetsbultar	13
2.2.3 U-Profiler	16
2.2.4 Skruvförband	16
2.2.5 Limning	17
2.3 ELEMENTFOGAR	18
2.3.1 Svetsning av Ingjutna stålplåtar	18
2.3.2 Gjutna skarvar med omlottlagd armering	19
2.3.3 Fogar utan genomgående armering	21
2.4 ELEMENTBYGGDA SAMVERKANSBROAR, FÖRSÖK UTFÖRDA VID LTU 1996	23
2.4.1 Allmänt	23
2.4.2 Hoptryckningsprov	23
2.4.3 Utmattningsprov	25
2.4.4 Statisk provning av tvärkraftsdon till brott	27
2.5 FÖRSÖK UTFÖRDA I SYDKOREA	29
2.5.1 Allmänt	29
2.5.2 Provkroppar för push-out prover	30
2.5.3 Resultat push-out tester med utmattningslast	31
2.5.4 Försök på nedskalad bro	32

35	6.5 MONTAGE	126
35	6.6 ERFARENHETER FRÅN UPPFÖRANDET	130
35		
36	7. FÄLTPROVNINGAR AV BRO BD 1883 ÖVER ROKÅN	135
37	7.1 ALLMÄNT	135
41	7.2 MONTAGE AV MÄTUTRUSTNING	135
41	7.3 BESKRIVNING AV LASTKONFIGURATION	137
45	7.4 RESULTAT FRÅN PROVBELASTNING	139
	7.5 FE-ANALYS	141
	7.5.1 Bro utan ändskärm	142
51	7.5.2 Bro med ändskärm utan bakomliggande fyllning	144
51	7.5.3 Bro med ändskärm med bakomliggande fyllning	145
52	7.6 JÄMFÖRELSE OCH SLUTSATSER	148
54		
55	8. KOSTNADSJÄMFÖRELSE MELLAN OLIKA UTFÖRANDEN	151
61	8.1 ALLMÄNT	151
63	8.2 KOSTNADER FÖR UPPFÖRANDET AV BRO BD 1883 ÖVER ROKÅN	152
67	8.2.1 Produktionskostnader	152
67	8.2.2 Trafikantkostnader	154
68	8.3 SAMHÄLLSKOSTNADER	156
68	8.4 DISKUSSION OM ERHÅLLET RESULTAT	157
73		
79	9. DISKUSSION	163
100		
101	10. SLUTSATSER OCH FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	169
	10.1 SLUTSATSER	169
05	10.2 FÖRSLAG TILL FORTSATT ARBETE	170
05		
05	11. REFERENSER	173
05		
07	APPENDIX	
08	APPENDIX A: DRAGPROV STÅL	179
11	APPENDIX B: KUBPROVER BETONG OCH ARMERINGSDRAGPROVER	187

23

23

24

25

25

25

25

2.6 FÖRSÖK UTFÖRDA I KAISERSLAUTEN	35
2.6.1 <i>Allmänt</i>	35
2.6.2 <i>Provuppställning</i>	35
2.6.3 <i>Resultat</i>	36
2.6.4 <i>Slutsatser</i>	37
3. PREFABRICERADE FARBANELEMENT MED TORRA FOGAR	41
3.1 ALLMÄNT	41
3.2 TILLVERKNING	45
4. FÖRSÖK PÅ DEL AV BRO VID INNERSTÖD	51
4.1 ALLMÄNT	51
4.2 MATERIAL	52
4.3 GEOMETRI	54
4.4 FÖRSÖKSUPPSTÄLLNING OCH GENOMFÖRANDE	55
4.4.1 <i>Utmattning av tvärkraftsöverförande klackar</i>	61
4.4.2 <i>Utmattning av svetsbultar</i>	63
4.4.3 <i>Excentrisk belastning av provkropp</i>	67
4.4.4 <i>Statisk belastning av klackar till brott</i>	67
4.5 RESULTAT	68
4.5.1 <i>Stegvis statisk pålastning</i>	68
4.5.2 <i>Utmattning av tvärkraftsöverförande klackar</i>	73
4.5.3 <i>Utmattning av svetsbultar</i>	79
4.5.4 <i>Excentrisk belastning av provkropp</i>	100
4.5.5 <i>Statisk belastning av klackar till brott</i>	101
5. FE-MODELLERING AV FÖRSÖK	105
5.1 ALLMÄNT	105
5.2 GEOMETRI OCH MATERIALPARAMETRAR	105
5.3 FE-NÄT OCH ELEMENT	105
5.4 RANDVILLKOR OCH LASTER	107
5.5 JÄMFÖRELSE FE-ANALYS OCH FÖRSÖK	108
5.6 RESULTAT	111
6. PILOTOBJEKT, BRO BD 1883 ÖVER ROKÅN	123
6.1 ALLMÄN BESKRIVNING	123
6.2 MATERIAL	124
6.3 DIMENSIONERING	125
6.3.1 <i>Stål</i>	125
6.3.2 <i>Betongelement</i>	125
6.4 TILLVERKNING	125