



TEKNOLOGISK
INSTITUT



Nye byggesystemer til broer: Brodæk med in situ-støbte elementer

Titel

Nye byggesystemer til broer: Brodæk med in situ-støbte elementer

Udarbejdet af

Teknologisk Institut
Beton
Gregersensvej
2630 Taastrup

Støtte

Rapporten er udarbejdet som en del af aktiviteterne i resultatkontraktprojektet "Huller i vejen" (2016-2018), der er finansieret af Styrelsen for Institutioner og Uddannelsesstøtte (under Uddannelses- og Forskningsministeriet).

Kontakt

Christian Bøgh Jøns Nielsen
Beton
Teknologisk Institut

Telefon: 7220 1447

E-mail: cbjn@teknologisk.dk

November 2018

Indholdsfortegnelse

Introduktion.....	4
In situ-støbte betonbroer	4
Elementbroer	6
Nyt byggesystem med brodæk støbt som elementer ved siden af brosted.....	7
Sammenfatning	10

Introduktion

Opførelsen af nye bygværker i infrastrukturen kan være omfattet af store logistiske udfordringer, idet sådanne projekter i byggeperioden ofte vil kræve indgreb, som medfører gener af den eksisterende infrastruktur i form af eksempelvis trafikomlægninger og vej- eller banelukninger. Derfor er netop håndteringen af de logistiske og trafikmæssige forhold en væsentlig parameter i forbindelse med planlægningen af større anlægsprojekter, hvor valg af byggesystem kan være afgørende for, hvordan disse udfordringer håndteres.

I forbindelse med større anlægsprojekter i infrastrukturen vil det altid være relevant at forsøge at begrænse de trafikale gener så meget som muligt i forbindelse med byggefasen. Den udførende entreprenørs udfordring vil ligge i dels at udføre arbejdet inden for de rammer og retningslinjer, der udstikkes af bygherre og myndigheder samt dels at gøre det til så konkurrencedygtig en pris som muligt. I den forbindelse kan valget af byggesystem være afgørende for at opnå den rette balance mellem økonomi og logistik.

I Danmark er der en lang tradition for opførelsen af betonbroer og langt størstedelen af danske vej- og banebroer er udført i beton. Traditionelt har der til opførelse af betonbroer i Danmark været anvendt to forskellige byggesystemer i form af enten elementbroer eller in situ-støbte broer, hvor alle konstruktionsdele støbes på stedet. Sidstnævnte system er historisk set det klart mest anvendte i Danmark, men i de senere år, hvor der har været et større og større fokus på optimerede løsninger i forbindelse med at større anlægsprojekter er blevet udbudt i totalentrepriser, har alternative byggesystemer i højere grad vundet indpas på markedet.

Netop det større fokus/behov for optimerede løsninger har også medført en bredere interesse for at udvikle og afprøve nye byggesystemer til broer. I den forbindelse er der udført et forsøg med opførelsen af en demobro, hvor et nyt byggesystem, som søger at kombinere fordelene ved hhv. in situ-støbte broer og elementbroer blev testet. Nærværende rapport samler op på erfaringerne fra projektet, hvor elementer blev in situ-støbt ved siden af broens endelige placering og løftet på plads. Indledningsvis foretages dog en kort gennemgang af de mere traditionelle byggesystemer, som er anvendt i Danmark, nemlig elementmonterede betonbroer og in situ-støbte betonbroer.

In situ-støbte betonbroer

In situ-støbte betonbroer er det byggesystem, som historisk har været mest anvendt i forbindelse med opførelsen af broer i Danmark, og langt størstedelen af de eksisterende broer i Danmark er udført efter denne metode. Det betyder, at der er en stor viden- og erfaringsdatabase forankret i den danske anlægsbranche, som er relateret til in situ-støbte betonbroer.

In situ-støbte betonbroer er desuden forbundet med den fordel, at de giver mulighed for at opnå slanke og smukke broer med stort fokus på det æstetiske design, fordi brofaget udføres i ét sammenhængende stykke. En yderligere fordel herved er, at der ikke skal udføres samlinger i brodækket, og der er derfor ofte tale om robuste og holdbare konstruktioner, som er forholdsvis simple at efterse og vedligeholde.

Eftersom nye broer ofte udføres over strækninger, hvor der er kørende trafik, vil der i forbindelse med in situ-støbte betonbroer ofte være behov for at etablere gennemkørselsåbninger i støbestilladset, således at den kørende trafik kan bibeholdes i byggeperioden (foto 1).



Foto 1: Eksempel på brodæk som in situ-støbes over vej i drift, og hvor der er etableret gennemkørselsåbning i støbestilladset.

Enkelte uheldige hændelser, hvor støbestilladser under udstøbning af brodæk er kollapsede over veje med kørende trafik, har medført et behov for øget fokus på sikkerheden omkring støbestilladser styrke og stabilitet. Der er derfor i dag store ressourcer forbundet med både projekteringen og etableringen af støbestilladser til in situ-støbte brodæk, ligesom der er et stort tidsforbrug forbundet med etableringen og nedtagningen af støbestillads og forskalling til brodækket. Den samlede byggetid på brostedet for in situ-støbte betonbroer er derfor forholdsvis høj sammenlignet med eksempelvis elementmonterede betonbroer.

Elementbroer

Et af alternativerne til traditionelle in situ-støbte betonbroer er broer bestående af betonelementer leveret fra elementfabrikker. Den største fordel ved elementmonterede broer er, at udførelsesstiden på selve brostedet kan reduceres væsentligt i forhold til in situ-støbte betonbroer, samt at de trafikale gener i anlægsperioden også reduceres væsentligt. Ved støbning af elementer på fabrik bliver udstøbningsarbejdet desuden uafhængigt af vejrliget, og betonen fremstilles under kontrolerede forhold, hvilket er med til at sikre en ensartet og høj kvalitet af betonen.



Foto 2: Elementmonteret bro, hvor ende- og midterunderstøtninger består af in situ-støbt beton og brodækket af fabriksproducerede elementer, som løftes på plads med kran.

Elementbroer vil normalt kræve en større dækhøjde end in situ-støbte betonbroer, og der vil derfor normalt ikke kunne opnås helt de samme slanke og æstetisk smukke designs, som er mulige med in situ-støbte broer. Derudover vil elementmonterede broer medføre flere samlinger og fuger, som kræver et skærpet fokus på samlingsdetaljer samt holdbarhed/vedligehold af fuger.

Nyt byggesystem med brodæk støbt som elementer ved siden af brosted

Som beskrevet ovenfor kan der være forskellige fordele og ulemper forbundet med hhv. in situ-støbte og elementmonterede betonbroer. Der er derfor udført et demonstrationsprojekt, hvor muligheden for at kombinere nogle af fordelene fra de to byggesystemer søges afprøvet.

MT Højgaard har i samarbejde med Vejdirektoratet opført en bro over Sydmotorvejen ved Rødby på Lolland, hvor brodækket blev støbt som elementer ved siden af brostedet og efterfølgende løftet på plads med kran, mens fundamenter og understøtninger blev støbt på stedet på traditionel vis.

Ved at anvende denne metode, skulle der ikke foregå nogen transport af elementerne fra produktionssted til brostedet, og der kunne derfor uden væsentlige meromkostninger til transport støbes nogle relativt store elementer, som blev støbt i fuld højde, og hvor kantbjælke og brodæk blev støbt sammenhængende (foto 3).



Foto 3: Formbord opstillet på terræn ved siden af brostedets endelige placering. Foto taget af Rolf Skovløkke, MT Højgaard.

Ved at støbe brodækket på et "formbord" opstillet på terræn ved siden af broens endelige placering kunne behovet for etablering af støbestillads med gennemkørselsåbninger elimineres og, dermed kunne hele stilladsprojektet spares væk.

Ved traditionelle in-situ-støbte betonbroer, som udføres over veje i brug, udgør stilladsprojektet normalt en betydelig ressource både med hensyn til tid, økonomi og bemanning. Blandt andet stilles der for broer opført over offentlige veje krav om, at alle personer involveret i stilladsprojektet skal have gennemført forskellige kurser for at kunne hhv. opsætte, beregne og kontrollere stilladset. Derudover vil etableringen af både stillads og gennemkørselsåbninger være forbundet med nogle direkte økonomiske omkostninger til stilladsleverandør, som ved dette byggesystem kan reduceres ligesom det tidsmæssige forbrug i forbindelse med opsætningen af stilladset kan reduceres.

Samtidig vil det være muligt at arbejde på hhv. mellem- og endeunderstøtninger samtidig med at der arbejdes på brodækket, hvilket altså sammenlagt vil give en væsentlig reduktion i den samlede byggetid for broen. Det, at der ikke skal etableres støbestillads med gennemkørselsåbninger, samt at der kan opnås en reduceret byggetid, vil både medføre en reduktion i de trafikale gener samt reducere entreprenørens omkostninger til byggepladsdrift.

Byggesystemet kan derfor være særligt velegnet til projekter, hvor det er en stor prioritet, at generne for trafikken er så små som muligt (ligesom tilfældet er for traditionelle elementmonterede broer).

En anden potentiel fordel ved metoden er, at der er mulighed for at udføre en del af fugtisoleringen på oversiden af brodækket inden elementerne monteres. Såfremt broen opføres i vintermånederne bliver det dermed nemmere og billigere at etablere eventuelle vinterforanstaltninger, så som telt/overdækning med opvarmning, og dermed forlænges sæsonen for påføring af fugtisolering reelt.

En af ulemperne ved metoden sammenlignet med traditionelle in situ-støbte broer er, at der kræves en større mængde af slap armering i brodækket, fordi opspændingen af dækket først foregår efter elementerne er monteret. Elementernes egenvægt skal altså kunne bæres af den slappe armering alene, hvilket betyder, at armeringsgraden er større sammenlignet med in-situ støbte brodæk, hvor stilladset først fjernes efter opspænding er foretaget. Dette medfører dels øgede udgifter til armeringsleverandør og dels, at entreprenøren skal bruge øgede ressourcer i forbindelse med håndteringen/monteringen af den ekstra armering.

Idet der er tale om relativt store elementer, er der selvfølgelig også tale om en stor egenvægt af elementerne, hvilket betyder, at der kræves relativt store kraner til montering af elementerne, ligesom der stilles særlige krav til de løftebeslag, der anvendes (standard løftebeslag vil ikke kunne anvendes).



Foto 4: Montage af brodækelement med mobilkran. Foto taget af Rolf Skovlække, MT Højgaard.

Sammenlignet med traditionelle elementmonterede broer, hvor elementerne produceres på fabrikk, opnås der desuden ikke samme uafhængighed af vejrliget, idet elementerne produceres udendørs. Dette kan dog elimineres, hvis der opstilles et telt. Desuden vil der stadig være behov for sammenstøbning af elementerne, selvom elementerne støbes i fuld højde, og brodækket sammenstøbes med kantbjælken, og der kan derfor ikke opnås ét sammenhængende brodæk uden samlinger og støbeskel som ved traditionelle in situ-støbte brodæk (foto 5).



Foto 5: Brodæk støbes i fuld højde og sammenstøbes med kantbjælke, men der skal stadig udføres en del sammenstøbninger både på tværs og på langs af brodækket. Foto taget af Rolf Skovlørke, MT Højgaard.

Sammenfatning

Opsummering af fordele og ulemper ved det nye byggesystem for broer, hvor brodækket støbes som elementer ved siden af brostedet:

- Der kan opnås en reduceret byggetid sammenlignet med traditionelle in situ-støbte broer
- Brodæk kan støbes i fuld højde og støbes sammenhængende med kantbjælke. Antallet af fuger og samlinger kan reduceres sammenlignet med traditionelle elementbroer, dog ikke helt undværes
- Stilladsprojekt kan undværes og både udgifter til stilladsleje og ressourcer (tid+bemanding) forbundet med stilladsprojektet kan spares væk.
- Lettere at udføre vinterforanstaltninger i forbindelse med fugtisolering
- Der skal påregnes øgede udgifter til slap armering
- Øgede udgifter til kran, idet der kræves relativt store kraner for at kunne håndtere elementerne.
- Særlige krav til løftebeslag grundet elementernes store egenvægt
- Udendørs elementproduktion giver ikke samme uafhængighed af vejrliget som traditionel elementproduktion, der foregår i fabriksal

Ved anvendelse af det nye byggesystem for broer, hvor brodækket støbes som elementer ved siden af brostedet, kan der opnås en kombination af en række af de fordele, der er forbundet med de mere traditionelle byggesystemer. Samtidig kan anvendelsen af det nye byggesystem også være forbundet med en række ulemper. Det vil derfor være afhængigt af det specifikke projekt, hvilket byggesystem, der vil være at foretrække, men byggesystemet vil formentlig kunne fungere som et godt alternativ til de mere traditionelle metoder.