

Evaluering af eksisterende broers bæreevne

Forud for bæreevneforsøg med en række mindre broer mellem Herning og Holstebro blev der foretaget beregninger, som viste, at broerne ikke havde en kapacitet svarende til den broklasse, de stod opført til. Dette er i misforhold til, at forsøgene viste, at bæreevnerne langt oversteg det, der kræves for de pågældende broklasser. I denne artikel beskrives, hvorledes en analyse og tilhørende modellering, der afspejler virkemåden, kan benyttes til at eftervise en bæreevne, der svarer til den påvirkning, som de blev belastet med ved forsøgene.



AF LARS GERMAN HAGSTEN
Ingeniørhøjskolen,
Aarhus Universitet,
Nordic Structural
Engineering
lgh@nseng.dk



AF JAKOB FISKER
Ingeniørhøjskolen,
Aarhus Universitet,
Nordic Structural
Engineering
jafi@nseng.dk

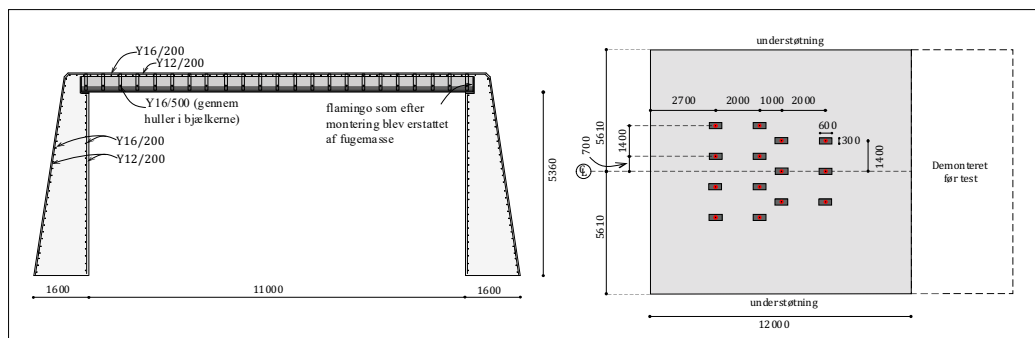
Baggrund

De testede broer blev opført i 1972 og var konstrueret som henholdsvis OT-broer og L-broer. De forudgående analyser af broernes bæreevne og de efterfølgende forsøg er omtalt i [1].

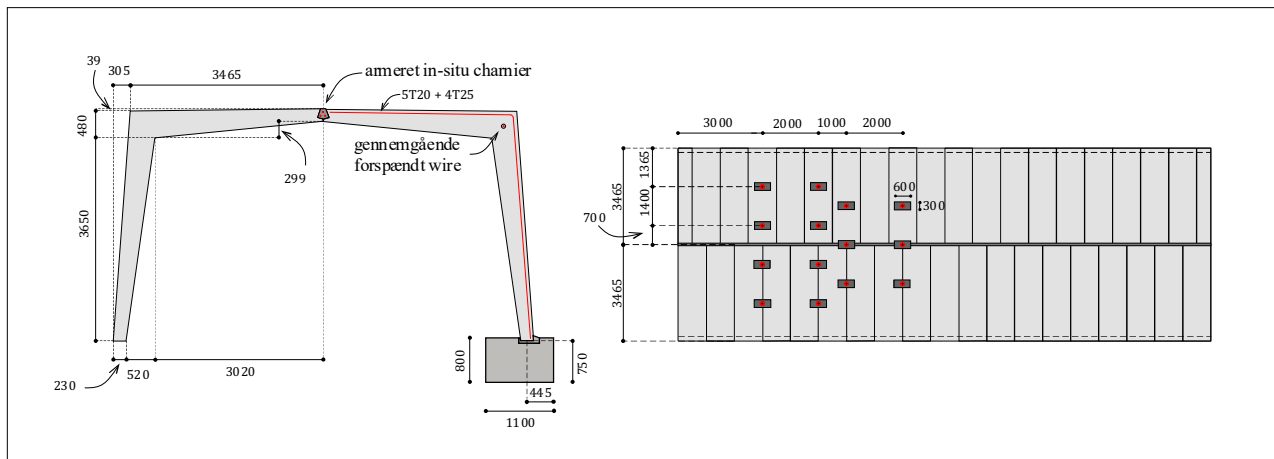
I figur 1 ses opstalt af en OT-bro (reg.nr. 1577). Den tilhørende plan viser placeringen af de simulerede hjullaster ved forsøgene.

Konstruktionen af OT-broer er karakteriseret ved, at man placerer en række parallelle præfabrikerede forspændte T-formede elementer omvendt, således de, udover at bidrage til den bærende funktion i den færdige bro, også danner en blivende forskalling for den in situ støbte beton. De T-formede elementer er

støbt med plane sider/mod glat forskalling, og der er således et glat støbeskel mellem elementernes sider og den in situ støbte beton. Elementerne er lagt af på udsparinger i broens in situ støbte vægge. Mellem enden af udsparingen og bjælkeelementerne er der i første omgang placeret flamingo. Efter montage af bjælkeelementerne er denne flamingo fjernet og erstattet af fugemasse. I elementerne er der placeret huller vinkelret på længderetningen, hvori der er placeret tværgående armering for at sikre en sammenvirkning i dette niveau i den færdige konstruktion. I den in situ støbte beton i niveau over bjælkeelementerne er der ilagt armering både på langs og på tværs af broens spændretning. I elementerne er der place-



Figur 1: Længdesnit og lastopstilling



Figur 2: Tværnit og lastopstilling

ret bøjler, som i toppen er udragende. Ved væggenes ender er der støbt bagudvendende vinger. Broen er på siderne påvirket af jordtryk fra bagfyld.

I figur 2 ses plan og opstalt af en L-bro (reg.nr. 1578). Konstruktionen af L-broer er karakteriseret ved, at man placerer omvendte L-formede elementer over for hinanden. De er placeret forskudt, således elementerne i den ene side er forskudt en halv elementbredde i forhold til den anden side. De enkelte elementer har glatte sider uden udragende armering, og fuger elementerne imellem er udført med cementmørtel. Elementerne er i hver række holdt sammen af en efterspændt wire i de to hjørner. Elementerne støder i toppen mod et in situ støbt armeret charnier, der er gennemgående hele vejen på tværs af broen. Elementerne er ved undersiden understøttet af sribefundamenter. Denne understøtning kan optage lodrette laster og i et begrænset omfang vandrette reaktioner. De lodrette sider er ved siderne af broen understøttet af skråt stillede bagudvendende vinger. Broen er på siderne påvirket af jordtryk fra bagfyld. Selve konstruktionen er en 3-charniers ramme, hvor jordtrykket virker stabiliserende.

Modellering generelt

Det kræver en høj grad af forståelse af, hvorledes hele konstruktionen og dens enkeltdele virker for at kunne foretage en

korrekt analyse. Det er i forbindelse med dette arbejde, at ingeniøren med afsæt i en god konstruktionsforståelse ser, hvilke konkrete fordele/styrker broens enkeltdele og broen som helhed har. Det er ligeledes i denne forståelse, at de konkrete svagheder træder frem.

Er denne dybe forståelse af konstruktionen og dens enkeltdele opnået, kan man ikke alene opnå en præcis viden om konstruktionens kapacitet, men også en viden om konstruktionens centrale dele og derfor en viden om, hvilke dele der er centrale for at opnå en maksimal levetid. Den helt samme tilgang er nødvendig for at kunne foreskrive eventuel relevant forstærkning og vedligehold.

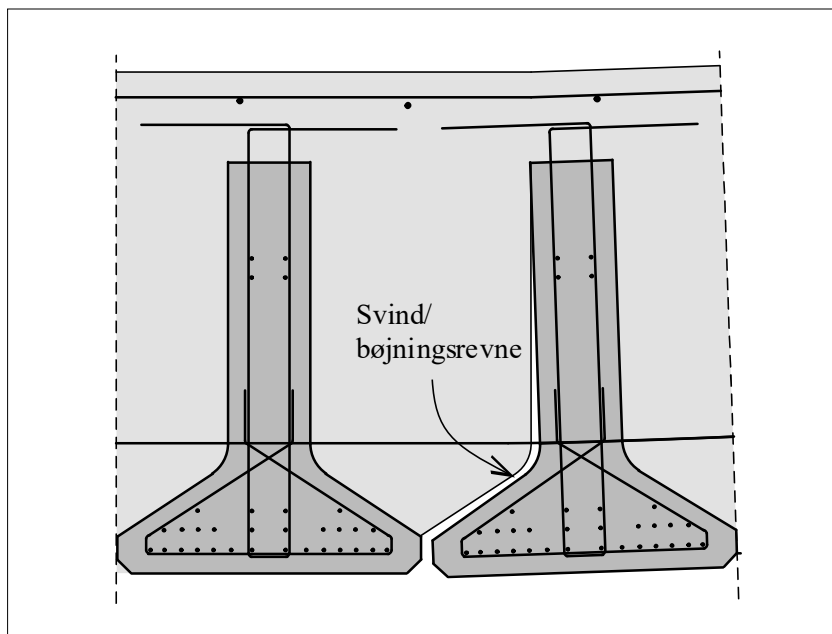
Når der er opnået en forståelse af konstruktionens virkemåde, er der en bred vifte af allerede kendte modelleringsværktøjer, som man kan bruge til at bestemme kapaciteten. Med afsæt i konstruktionsanalysen og den deraf afledte erkendelse af styrker og svagheder vil konstruktionsingeniøren være i stand til at udpege de for denne konstruktion rette modelleringsværktøjer. Det kræver naturligvis viden og erfaring om materialer og baggrund for de forskellige modelleringstyper at bringe de rette værktøjer i brug samt anvende dem korrekt.

Forudsætningerne for at kunne foretage den rette modellering kan således sammenfattes til:

1. At man analyserer den konkrete bro i detaljen og forstår den egentlige fysiske virkemåde, herunder de konstruktive begrænsninger og styrker.
2. At man har dyb viden og erfaring med en bred vifte af analyseværktøjer, så den viden, der er opnået under analysen, afspejler sig fuldt ud i modelleringen.

Modellering af OT- henholdsvis L-bro

Den primære bæring ved OT-broerne er de langsgående elementer samvirkende med den pladsstøbte beton via forbindelsen ved elementernes overside. Dette fremgår ligeledes af tidligere rapporterede forsøg - blandt andet C. Ostenfeld og W. Jønson [2] og J. T. Halsey og R. Miller [3]. De enkelte bjælkeelementer samvirkende med den in situ støbte beton kan i begrænset omfang regnes indspændte ved væggene. Denne indspænding er givet ved det kraftpar, som dannes af den ubrudte in situ støbte beton i toppen og friktionen ved vederlaget. Prøvebelastningen påvirker, via trykspredning gennem asfalt og overbeton, direkte et antal bjælker. Deformationen af disse kombineret med den ilagte tværarmering betyder, at flere bjælker vil blive aktiveret ved bøjning på tværs af broens spændretning. Den statiske udfordring i den forbindelse er den glatte overflade af bjælkeelemen- »



Figur 3: Eksisterende adskillelse med element og in situ beton

terne kombineret med bøjningen på tværs, der vil bevirke revnedannelse vinkelret på denne rotation. Denne revnedannelse vil foregå, hvor konstruktionen er svagest i forhold til denne bevægelse, og dette vil være langs de glatte støbeskel. En yderligere svækkelse skyldes det svind, som vil finde sted i den in situ støbte beton. En konsekvens af dette er, at der ikke kan overføres forskydningskræfter langs disse overflader. Dette forhold er illustreret i figur 3. Forskydningskapaciteten langs disse flader er nul.

Den primære bæremåde ved broerne med omvendte L-profiler er rammevirkning svarende til den statiske virkemåde af en plan tre-charniers ramme. De enkelte L-elementer har stor bæreevne, og kapaciteten af dette statiske system begrænses først og fremmest af fundamentets bæreevne i forhold til vandrette reaktioner.

En betydelig andel af den koncentrerede lodrette last vil dog fordeles til områderne uden for den hårdest påvirkede zone/strimmel, og som en konsekvens heraf vil der ske en væsentlig 'udjævning' af reaktionerne ved overkant fundament. Denne fordeling beror på tilstedeværel-

sen af den ilagte armering i det gennemgående in situ støbte charnier og den gennemgående forspændte armering i hjørnet af de omvendte L-profiler. Herved etableres mulighed for dannelsen af membrankræfter i dækket, som virker dels i broens i længderetning, dels i broens tværretning samt i lodret retning.

Størrelsesordenen af de deformationer, der vil optræde i det reelle brudstadium, vil medføre en yderligere mobilisering af det stabiliserende jordtryk. Herved opnås blandt andet et bidrag til optagelsen af de vandrette reaktioner, idet det dog bemærkes, at denne virkemåde naturligvis i høj grad afhænger af stivheden af bagfyldet langs de skråtstillede ben i L-profilerne. Det kan i denne sammenhæng konstateres, at den anvendte forsøgsopstilling med den tilhørende ballast reelt har forstærket denne stabiliserende virkemåde.

Afslutning

I denne artikel er der fokus på at beskrive analysedelen for de to brotyper. Det er analysen, der bestemmer, hvilken model der i det konkrete tilfælde er den rette at anvende. På baggrund af disse analyser

af broernes styrker og svagheder er relevante modeller opsat. Herved kan det eftervises, at broerne havde en kapacitet, der overstiger den last, som broen blev udsat for ved testen, og dermed også langt overstiger en kapacitet svarende til den broklasse, som den forudgående vurdering ellers havde konkluderet ikke var til stede.

Der synes ved mange modelleringer at være en stor uoverensstemmelse mellem den tegnede/byggede bro og de modeller, som ligger til grund for bæreevnevurderingen. Med hensyn til modeller ses denne uoverensstemmelse på hele skalaen fra de simpleste bjælke modeller til komplekse ikke-lineære numeriske modeller. Væsentlige forhold (både styrker og svagheder) er udeladt af modellerne sammenholdt med det tegnede/byggede, og den indledende analyse af konstruktionen synes at være enten meget overfladisk eller måske blot ikke taget med i arbejdet med modelleringen.

Vi står over for en stadig stigende trafikmængde med tunge køretøjer og særtransporter. Samtidig har vi en stor gruppe af broer med en alder på mere end 50 år. Det er derfor afgørende, at vi er i stand til ikke kun at kunne bestemme bæreevner mere nøjagtigt, men også at kunne fastlægge den faktiske virkemåde for derved at kunne målrette fokus i forbindelse med drift og vedligehold med forøgelse af restlevetid til følge. Der vil være tale om ganske betydelige økonomiske besparelser ved at kunne fastlægge reel kapacitet, virkemåde og dermed også mere optimal vedligehold. ●

Referencer

- Henriksen, A., Schmidt, J. W., & Engelund, S. 2018. Vejdirektoratet gennemfører bæreevneforsøg på broer. Trafik & Veje, maj, s. 59-61.
- Ostenfeld, C. og W. Jønson. 1951. Forsøg med forspændt beton: materialer, strengbeton, kabelbeton. Teknisk Forlag, København.
- Halsey, J. T., and R. Miller. 1996. Destructive Testing of Two 40-Year-Old Prestressed Concrete Bridge Beams. PCI Journal, V. 41, No. 5 (September-October): pp. 84-93