

Bæreevne og Bæredygtighed – hvordan udnyttes ressourcerne bedst?

Jan Vig

Afdelingsleder, Monitoring og Analyse af Eksisterende Konstruktioner
Rambøll
Civilingeniør fra DTU, 2010
JAVN@ramboll.dk, M: 5161 6997



Jan har i sin karriere stort set udelukkende arbejdet med eksisterende broer og primært bæreevneberegninger.

Jan er desuden modtager af Dansk Bro- og Tunnelpris 2020 med begrundelsen: *...sikre bedre anvendelse af differentierede beregningsmetoder for at forlænge levetiden for betonbroer, øge deres bæreevne og reducere omfanget af forstærkning til stor fordel for samfundet både økonomisk og bæredygtighedsmæssigt.*

De mest bæredygtige løsninger er dem, hvor vi genbruger, opgraderer, reparerer, bygger ovenpå eller levetidsforlænger de broer, vi allerede har – hvilket helt naturligt fører til spørgsmålet: Hvordan regner vi så på dem? Og hvordan kan to ingeniører få forskellige resultater ud af en bæreevneberegning af samme bro?

Behovet for analyse af eksisterende broer opstår naturligt hele tiden, som samfundet udvikler sig:

- Ændringer i konstruktionen (fx sideudvidelse eller sporsænkning)
- Ændringer i anvendelse (større last, fx tungere særtransport/ny færdselslov/højere hastighed af tog/opsætning af støjskærm; eller anderledes placeret last, fx ændring af kørebaner eller spor)
- Ændringer i tilstanden: Nedbrydning af materialer (fx korrosion og AKR i beton) og forringet tilstand generelt.
- Udmattelse
- Derudover giver fokus på bæredygtighed også et betydeligt incitament til at fortsætte og evt. udvide brugen af eksisterende bygværker frem for at erstatte med nye, hvorfor behovet for bæreevneanalyse kun vil vokse fremadrettet

Analyse af eksisterende broer er væsentligt forskelligt ift. design af nye broer. Ved design af nye broer er analysemodellen typisk den samme gennem et helt projektførløb, og bæreevnen justeres typisk ved et større/mindre materialeforbrug.

Dette står i modsætning til beregning af eksisterende broer, hvor designet er givet og analysen dermed kompliceres af, at ældre broer kan være bygget efter en anden praksis som ikke er beskrevet i nugældende normer. Til gengæld kan analyseniveauet tilpasses og ændres, så det passer til behovet. Som udgangspunkt skal det ønskede resultat opnås billigst muligt.

I et tænkt eksempel, hvor den tilladte trafiklast på en eksisterende bro ønskes forøget, kan forstærkning eller udskiftning selvfølgelig være en mulighed, men det er hverken en bæredygtig eller billig løsning. Derfor kan det ved beregning af eksisterende broer i højere grad også betale sig at benytte avancerede analyser og metoder fra speciallitteraturen for at påvise ekstra kapacitet.

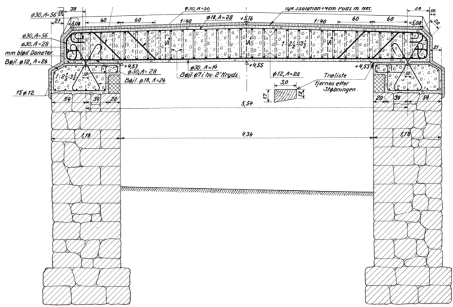
I præsentationen uddybes og diskuteres forskellige analyseniveauer, herunder metode, omfang, tidsforbrug/pris, præcision og anvendelighed, illustreret ved eksempler. Analyse af bæreevne kan groft opdeles i 3 niveauer.

Niveau 1: Bæreevnescreening

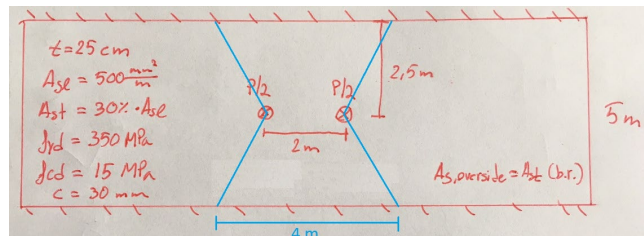
Her udføres typisk gennemgang af arkivmateriale, herunder tegninger, oprindelige statiske beregninger og eftersynsrapporter. Bæreevnen kan vurderes pba. den oprindelige designlast. Dette kan fx ske ved en lastsammenligning, hvor lasteffekten fra designlasten sammenlignes med det ønske, der haves til størrelsen af ny belastning. Tankegangen er, at hvis belastningen kun ændres, men ikke forøges, så må bygværket (stadig) kunne bære det, det var designet til, så længe tilstanden er acceptabel. Den vigtige antagelse her er altså også, at det sikkerhedsniveau, man havde ved opførslen stadig er acceptabelt. Det er er alment accepteret tilgang, som fx er angivet i den nye DS 11990 for eksisterende konstruktioner. Ulempen er, at der ikke tages højde for udvikling i vores viden. Fx blev forskydningskapaciteten af ikke-forskydningsarmeret beton overvurderet i betonnormen fra 1949 og flere årtier frem. I sådanne tilfælde må et resultat af en screening behandles med forsigtighed.

Niveau 2: Bæreevneberegning

Omfanget af en bæreevneberegning er hverken veldefineret eller standardiseret, og resultatet afhænger derfor kraftigt af analysemodellen og beregningsmetoderne. Det er illustreret på figur 1-4, hvor der for en simpelt oplagt pladebro er udført en beregning af, hvor stort et akseltryk, der kan tillades på broen med 3 forskellige analysemodeller: En håndberegning, hvor pladen regnes som en bjælke med en antaget fordelingsbredde; en beregning med en elastisk FE-model og til sidst en plastisk beregning. Og som det ses afhænger resultatet i høj grad af analysemodellen.

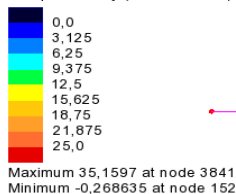


Figur 2: Eksempel på en simpelt oplagt pladebro (tværsnit)



Figur 1: Planskitse. Håndberegning af simpelt oplagt pladebro påvirket af ét enkelt akseltryk og en antaget fordelingsbredde på 4m. Akseltryk på ca. 11 ton kan eftervises.

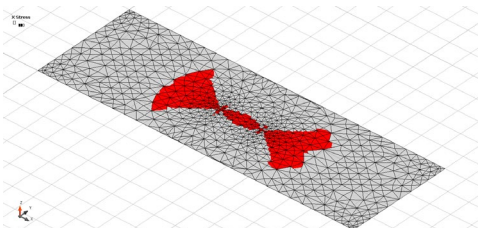
Combination 1
Entity: Force/Moment - Thick Shell
Transformation: Global
Component: My (Units: kN.m/m)



Figur 3: Elastisk FE-model af samme pladebro med samme belastning. **Akseltryk på 13 ton** kan eftervises.

Niveau 3: Avancerede bæreevneberegninger

- Plastiske og ikke-lineære beregningsmodeller
- Speciallitteratur, fx for kapacitet af ikke-forskydningsarmeret beton
- Prøvebelastning
- Sandsynlighedsbaseret analyse



Figur 4: Fuld plastisk beregning af samme pladebro. Her kan der eftervises et **akseltryk på 16 ton**, dvs. næsten 25 % mere end den elastisk FE-model.