



FORSØGSBROER MED GRØNNE PERSPEKTIVER

De broprojekter som Vejdirektoratet og Banedanmark stiller til rådighed som forsøgsprojekter er helt esentielle i forhold til udviklingen af nye, mere bæredygtige betontyper og betontechnologier

Noget af det, der kendetegner udviklingen af nye produkter og teknologier inden for den danske betonverden gennem de sidste årtier, er det brede samarbejde i diverse innovationskonsortier. Konsortierne har typisk deltagelse af både forskningsinstitutioner, producenter, rådgivere og store entreprenørfirmaer og bygherrer. En vigtig

del er at få teknologierne afprøvet i praksis, og her er forsøgsbroerne helt i centrum.

- Lige siden det første grønne betonkonsortium omkring år 2000 har Vejdirektoratet og senere hen også Banedanmark stillet broer til rådighed til forsøg. Det er interessant at få afprøvet nye betontyper i netop broer. Dels fordi Vejdirektoratet er en trendsætter med hensyn til de krav man stiller til højtydende beton, og dels på grund af de ekstreme miljøforhold broer udsættes for. Hvis en beton kan holde i en bro, kan den så at sige holde til alt andet også, siger Jesper Sand Damtoft, der er direktør for forskning og udvikling i cementproducenten Aalborg Portlands moderselskab Cementir.



Dele af en jernbanebro på strækningen mellem Ringsted og Femern er støbt i grøn beton. Sideudvidelsen ved Kærstrupvej blev stillet til rådighed af Banedanmark som demonstrationsprojekt i forbindelse med innovationskonsortiet Grøn Beton II.



Foto: Torben Eskerød.

Aalborg Portland har lanceret det nye cementprodukt Futurecem, der giver cirka 30 procent reduktion af CO₂-emissionen i forhold til traditionelle cementtyper. Futurecem er blandt andet blevet afprøvet i broprojekter som led i innovationskonsortiet Grøn Beton II's forsøg.

- Mange af de prøvninger vi laver i laboratoriet, er jo ikke nødvendigvis helt repræsentative for de påvirkninger konstruktioner udsættes for i virkelighedens verden. Derfor er det vigtigt at få afprøvet betonen i en rigtig konstruktion for at få sikkerhed for, at produktet kan anvendes og holder. En nyudviklet beton kan godt opføre sig anderledes end en traditionel beton, hvilket kan give udfordringer for både producent og entrepre-

nør. Derfor er det vigtigt, at begge parter er med i fuldskalaforsøgene fra starten, forklarer Jesper Sand Damtoft.

BROER OG INNOVATIONSKONSORTIER

I de tværgående innovationskonsortier er det oftest Teknologisk Institut, der som koordinerende enhed og projektleder skal holde sammen på trådene. Lars Nyholm Thrane, der er konstitueret centerchef for TI's Betoncenter har gennem årene deltaget i flere af den slags udviklingsprojekter - SCC Konsortiet (udvikling af Self Compacting Concrete), Stålfiberkonsortiet, det første grønne betonprojekt og senest Grøn Beton II.

- Forsøgsbroernes rolle er grundlæggende at demonstrere det, man har fundet ud af i de tidligere faser af projektet. De erfaringer man gør sig i forbindelse med projektering og udvikling, at få byggeriet industrialiseret og skaleret op, dem tager man med sig videre med det samme. Derimod vil erfaringerne med hensyn til holdbarheden tage tid at indhente. Derfor vil det være fantastisk at have de forsøgsbroer stående om 10 og 20 år til at vurdere de nye betoners langtidsholdbarhed, selvom vi dog allerede i den mere tidlige fase kan opnå nogle indikationer af, i hvilken retning det går, forklarer Lars Nyholm Thrane.

BRYDER STANDARDERNE

De seneste innovationskonsortier har i høj grad handlet om bæredygtighed og om at udvikle mere grønne betoner og det kommer vi ifølge Lars Nyholm Trane til at se mere af i fremtiden.

- Hvis man vil have mere bæredygtige konstruktioner, så handler det om at blive klogere på, hvor grænserne går, og det ved vi jo reelt ikke i dag. Vi tillader os at bryde normerne og gå udover, hvad der i dag er tilladt i standarderne, men det sker på et sagligt grundlag i samarbejde mellem parterne. Men der skal være en høj grad af risi-



Foto: Erik Brahl.

- Det tager tid at drage konklusioner, men langt hen ad vejen vurderer vi, at der er ækvivalente egenskaber mellem de gamle og de nye cement- og bindersystemer, siger Lars Nyholm Thrane.



kovillighed, når vi arbejder med for eksempel en forsøgsbro, ellers er det jo ikke noget forsøg. I Grøn Beton II har vi arbejdet meget med funktionsbaseret design, det vil sige at vi forsøger at optimere ud fra funktionsbaserede principper i stedet for at skele for meget til, hvad standarderne siger om sammensætning af beton, fortæller Lars Nyholm Thrane.

Et vigtigt tillæg til forsøgsbroerne er de såkaldte eksponeringspladser, der er opstillet flere steder - blandt andet i havne med hårdt miljø. Her er tale om betonudstøbninger i fuld skala, men da konstruktionerne i sig selv ikke har nogen funktion, er man endnu mere risikovillige med hensyn til sammensætning af betonen. Eksponeringspladserne bliver desuden monitoreret via diverse måleudstyr, så man kan indhøste data løbende.

CO₂-REDUCEREDE BROER

Forsøgsbroerne er dog ikke kun et redskab til at skabe bedre løsninger og studere nye betontyper. Bygningen af broer vil fremadrettet også blive underlagt strenge krav om CO₂-reduktion.

- Som vi ser det, bliver vores opgave i Vejdirektoratet, at de broer vi opfører om 10 år, skal opføres med et CO₂-aftryk som kun er 30 procent i forhold til, hvad det ville have været i 1990. Derfor er vi også ved at udvikle en baseline, som vil gøre det muligt at vurdere om kravene overholdes i et givent brobyggeri, forklarer Niels Højgaard Pedersen, der leder Vejdirektoratets afdeling for Bygværker.

- Når vi i dag vurderer et tilbud, handler det om prisen, og om hvorvidt vores krav i øvrigt er opfyldt, men i fremtiden vil der også være et CO₂-regnskab, der skal overholdes. Vi arbejder med at få udviklet nogle modeller, der kan måle

“

SOM VI SER DET BLIVER VORES OPGAVE I VEJDIREKTORATET, AT DE BROER VI OPFØRER OM 10 ÅR SKAL OPFØRES MED ET CO₂-AFTRYK SOM KUN ER 30 PROCENT I FORHOLD TIL, HVAD DET VILLE HAVE VÆRET I 1990.



Foto: Martin Schubert.

- Det er interessant at få afprøvet nye betontyper i netop broer. Dels fordi Vejdirektoratet er en trendsætter med hensyn til de krav man stiller til højtydende beton, og dels på grund af de ekstreme miljøforhold broer udsættes for, siger Jesper Sand Damtoft, der er direktør for forskning og udvikling i cementproducenten Aalborg Portlands moderselskab, Cementir.

den samlede CO₂-mængde i forbindelse med et givent byggeri, fortæller Niels Højgaard Pedersen.

MULIGT AT NÅ MÅLET

En 70 procent reduktion af CO₂ i forbindelse med brobyggerier lyder voldsomt, men er i følge Niels Højgaard Pedersen ikke urealistisk. Ikke mindst fordi beton- og byggebranchen selv har fået øjnene op for perspektiverne, der kan medføre at Vejdirektoratet og andre bygherrer delvist dropper betonen og søger mod andre egnede byggematerialer, som kan dokumentere et lavere CO₂-aftryk for eksempel kompositmaterialer med stål og glasfiber. Et af resultaterne af den tankegang er det store Bæredygtig Beton Initiativ, der fremlægger 35 konkrete forslag til, hvordan man fra start til slut i byggeri- og anlægsprojekter kan bringe CO₂-udledningen markant ned.

Brug af grøn beton med cement fremstillet med reduceret CO₂-udslip vil kunne bidrage hertil, og så skal man ifølge Niels Højgaard Pedersen ind og optimere på selve konstruktionerne. Slanke og optimerede konstruktioner er lettere og kræver mindre beton. Broer, der for eksempel krydser en motorvej i en vinkel på 30 grader, er længere end broer der krydser vinkelret, så her vil der også kunne hentes noget. Der skal også ses på brugen af stålarmering, både på mængden, og på, hvor stålet kommer fra.

Broen ved Lundegårdsvej er bygget af Vejdirektoratet for Sund og Bælt som en del af Femern-projekts land-anlæg. Der er gjort plads til at broen kan udvides med en ekstra bane i hver retning.

Foto: Torben Eskerod.

MOTORVEJSBRO MED MEGEN INNOVATION

En slank motorvejsbro ved Rødby fra 2017 er et eksempel på et nytænkende forsøgsbyggeri, da broen både er støbt delvist i grøn beton og blander in-situ støbning og elementer

Innovationskonsortiet Grøn Beton II var et fire-årigt forsknings- og udviklingsprojekt, der afsluttede sit arbejde i starten af 2019. En vigtig del af projektet var at afprøve de nye betontyper i praksis. Ikke bare i prøvestøbninger og mock-ups, men i faktiske byggeprojekter.

Udover støbning af gulv og vægge i DTU's nye laboratorium og betoncenter, handlede det om tre broer: En sideudvidelse af en jernbanebro på strækningen Ringsted - Femern, en motorvejsbro over Herning - Holstebromotorvejen og en overføring over Sydmotorvejen på Lolland ved Lundegårdsvej. Banedanmark var bygherre på den førstnævnte bro, Vejdirektoratet på den anden bro og Vejdirektoratet og Sund & Bælt stod for den sidstnævnte bro, der er en del af landanlægget i forbindelse med Femern-forbindelsen.

IN-SITU ELEMENTBRO

I motorvejsbroen er et af dækelementerne støbt med

den nye grønne beton, men broen er også et forsøgsprojekt vedrørende selve grundkonstruktionen.

- Projektet var budt ud fra vores side med fri mulighed for, om det skulle være en ren in-situ bro eller en elementbro. Et vigtigt vurderingskriterium var den tid, som byggeriet ville forstyrre trafikken på motorvejen. Det åbnede op for, at det kunne være en elementbro, da man jo så undgår støbestilladser, der giver begrænsninger på vejen i lang tid, forklarer projektleder fra Vejdirektoratet, Emilie Dittmer Hartwich.

MT Højgaard, der vandt totalentrepriseprisen på broen, valgte at bygge broen som en kombination af en elementbro og en in-situ støbt bro. Der er tale om en firefagsbro, der hviler på tre bropiller samt endevederlag i hver ende. Broen er lidt bredere end sædvanligt, da der af hensyn til Femern-trafikken i fremtiden er gjort plads til en ekstra vognbane på motorvejen.

- Brodækket er støbt i 20 elementer, således at hvert brofag består af fem elementer. Pillerne er in-situ støbt på traditionel vis, hvor man kun har haft en indsnævring af vejen i forbindelse med den midterste pille. Broelementerne er støbt i forme på marken lige ved siden af motorvejen og derefter kranet på plads med mobilkraner. Det er en rigtig



Brodækket består af fire fag á hver fem dækselementer, som hviler på tre betonpiller samt vederlag i beton i hver ende af broen.



De 20 brodækselementer er støbt i forme opbygget på marken lige ved siden af motorvejen.



De færdigstøbte elementer er derefter løftet på plads ved hjælp af en mobilkran. Det tog en dag at montere hver side af broen, mens trafikken blev ledt over i det andet spor.



Det er et enkelt kantelement i den ene ende af broen, der er støbt i grøn beton. Undersøgelser har godtgjort, at elementet indtil videre fungerer fuldt så godt som de øvrige betonelementer.

fin løsning at lave broen på den måde, fordi man blandt andet så undgik at skulle køre med store særtransporter med elementerne på de meget små veje i området hernede, siger Emilie Dittmer Hartwich.

Metoden indebar, at man kunne nøjes med at spærre trafikken en enkelt dag i den ene retning, mens trafikken var omlagt til dobbeltreetet i den anden retning. Hver halvdel af broen kunne monteres på en enkelt dag. Det samlede brodæk er derefter sammenstøbt og efterspændt på kryds og tværs inden den endelige færdiggørelse, der også foregik med trafikken i drift. Brugen af in-situ støbte elementer gav også mulighed for, at man kunne støbe et enkelt element i grøn beton.

ELEMENT I GRØN BETON

Det er et enkelt af kantelementerne i dækket, der er støbt i grøn beton. På den måde man nemt sam-

menligne den grønne betons ydeevne og holdbarhed med de andre elementer i broen, der er støbt med en traditionel beton.

I praksis var den grønne beton lige så nem at støbe med som med den traditionelle beton, omend den ikke flød helt så godt, så der skulle bruges mere tid med vibratoren på at efterbehandle den udstøbte beton. Den grønne beton kunne på det tidspunkt kun leveres i små mængder, men det passede ifølge Emilie Dittmer Hartwich fint med, at der kun skulle bruges omkring 18 m³ beton til at støbe det lidt mindre kantelement.

- Efterfølgende har vi udtaget flere borekerner fra det grønne betonelement end ellers. Borekernerne ser i øvrigt fine ud og har den forventede styrke. Fremadrettet vil broen indgå i vores almindelige eftersynsrutine med et årligt eftersyn og et generaleftersyn hvert femte år, fortæller Emilie Dittmer Hartwich.