

Dansk Betondag 2008

Torsdag den 11. september
i Haderslev og ekskursion
fredag den 12. september.



Dansk Betonforening
INGENIØRFORENINGEN I DANMARK



Indhold

Flodhestehuset, Københavns Zoo	3
<i>Mette Seiding, arkitekt og partner og Niels Thorslund, projektleder</i>	
Cityringen - Mere metro i København	8
<i>Mikkel Kjær Jensen, Projektleder</i>	
Status på Eurocodes	12
<i>Jens Gorm Rasmussen, Projektleder</i>	
Udførelse af betonarbejder – farvel til DS 482 og velkommen til EN 13670	16
<i>Per Fogh Jensen, Koordinerende Kvalitets- og Miljøchef</i>	
Fiberarmering i bærende konstruksjoner: Status og aktuelle forskningsresultater	21
<i>Terje Kanstad, professor</i>	
Fiberbeton til slidlag på broer	26
<i>Carsten Henriksen, eftersynsingeniør</i>	
Cementbundne bærelag i Danmark - udvikling og demonstration	30
<i>Tony Kobberø Andersen</i>	
Robotbaseret produktion af unikke betonkonstruktioner	33
<i>Thomas Juul Andersen, Arkitekt MAA.</i>	

Dansk betondag 2008

Hotel Harmonien, Haderslev

11. september

Flodhestehuset, Københavns ZOO

Mette Seiding
Dall & Lindhardtsen A/S
Strandgade 73,
3000 Helsingør
Tlf.: 4921 4941
ms@dall-lindhardtsen.dk

Niels Thorsund
HCA Anlæg og Service
Islevdalvej 208
2610 Rødovre
nth@hca-as.dk
Tlf.: 8820 4870.

Herunder Synopsis og resume vedrørende oplæg om Flodhestehuset i Zoologisk Have København til Dansk Betondag.

Synopsis:

Flodhestehuset, Zoologisk Have København

- Fra kreativ tanke over godt håndværk til smuk beton i virkeligheden.
En duet om hvor godt det kan gå, når den kreative proces forlænges fra projekt til produktion. Om hvordan overfladekarakterer og materialestrukturer kan tales frem, hvis man tør. -Og om at prøvestøbe sig frem til et resultat, man ikke turde drømme om at ønske sig.

Resume af oplæg:

Flodhestehuset, Zoologisk Have København

Oplægget er delt i 4 afsnit, der omhandler:

- Forudsætninger og bindinger for projektets gennemførelse og de første ideer.
- Overvejelser i projektfasen om materialer og strukturer.
- Udførelsesprocessen, fra ord, tegninger og tanker til bygningsværk.
- En betragtning over hvad der skal til for at det kan gøres igen.

Forudsætninger, formgivning og materialer.

Alle projekter bliver til på baggrund af funktionelle bindinger og forudsætninger. I forbindelse med Flodhestehuset havde det omgivende landskab betydning for bygningens udformning og placering. ZOO ønskede, for at bevare Søndermarksafdelingens parkkarakter, at placere huset så tæt på skel som muligt - men samtidig skulle der i projektet tages hensyn til Søndermarkens status som fredet park. Placeringen i det dramatisk skrånende terræn indebar også kotebindinger, idet publikumsti, tilkørsel, staldgulv, publikumsområde og vandspejl står i låst forhold til hinanden.

En anden udfordring der krævede særlig bearbejdning var adskillelsen af dyr og mennesker langs savannens grænser, og det forhold at en række dyrearter krydser publikumstien på deres vej fra stald til anlæg. Funktionerne i flodhestehuset skulle sikre at der ikke kan komme mennesker på tværs af flodhestenes færdsel.

Med Flodhestehuset fuldendes den afrikanske savanne i Søndermarksafdelingen, som blev påbegyndt da girafferne flyttede til denne del af haven 2001. Alle de afrikanske dyr er nu samlet omkring savannen.

Fordi Flodhestehuset er en del af savannen var det en bærende ide at huset skulle åbne sig mod nord – mod savannen, med mulighed for at fornemme sammenhæng mellem hus og anlæg. Huset er tænkt som et pejlemærke, og skal derfor være synligt fra savannens nordside.

Stalddelens størrelser, funktioner og logistik bestemmer formen på denne del af bygningen, der er meget regulær.

Publikums mulighed for at se dyrene i bassinet var med til at udpege vifteformen på udstillingen og det afrundede og forskudte publikumsområde sikrer at trafikken deles naturligt og at man ikke fornemmer huset som en lukket passage, men derimod som et åbent område.

Bakken åbner sig og indgangene velkommer med de skrånende vægge.

Materialerne er valgt så de modsvarer dyrets tyngde og grovhed.

Strukturen minder om dyret grovhed, den vandrette lagdeling har mindelser om tidedvand – måler vandhøjden og fanger lyset.

Huset er tænkt lyst og venligt og frem for alt måtte oplevelsen af at gå ind i en bakke ikke fortsætte i en kælderfornemmelse.
Huset er tungt og vådt, og udsat for enormt slid fra både dyr og mennesker.
Man kan ikke som publikum komme tæt på og røre dyrene, derfor var ønsket at husets overflader skal være grove som dyret, venlige og varme – en overflade der er god at røre ved, som fanger lyset og fremstår tung og venlig.
Hvid cement og ikast-sand fordi farven er lys og varm – og uden pigment

Projektet

Ved brug af kendte bygningsdele og materialer kan projekter beskrives næsten 100% og meget præcist.

Betonoverfladen i flodhestehuset kendte vi ikke på forhånd.

Materialesammenstød og bygningsdelsmøder er defineret og detaljeret i projektet, men reliefdybden på betonens struktur, "højden" på grater mellem listeforskallingen og listernes udseende var ikke fastlagt.

Teknisk set er betonen beskrevet af konstruktionsingeniøren. Udfaldskrav, acceptable porestørrelser og maksimalt antal porer var defineret, men overfladen, der var et billede i arkitektens hoved, en fornemmelse, var ikke mulig at beskrive fuldt ud i projektet. I stedet var der stillet krav om at entreprenøren skulle udføre prøvestøbninger for godkendelse af betonoverfladen, hvilket viste sig ikke at være en nem opgave.

Udførelsesprocessen

At udføre en betonvæg med træstruktur er ikke svært. Det svære er at få defineret træstrukturens endelige fremtoning.

Man kan mene at ved at definere betonoverfladen til at skulle have træstruktur, så var det på plads, men der kan være lang vej til at finde frem til hvilket type "træ" der skal anvendes. Skal der anvendes gummihud eller brædder . . . og skal mønstret være repeteret eller tilfældigt?

De fleste i byggebranchen har referencer til bræddestruktur fra tidligere erfaringer, men det er sjældent de samme referencer vi har, og det kan derfor være svært at finde en fælles forståelse.

Ved første møde mellem projekterende og udførende – efter kontrakten var forhandlet på plads – gennemgik vi projektet og der blev stillet en masse spørgsmål til projektet; Vigtigheden af træstrukturen, listernes bredde, ruhed og sortering. Fastgørelse af listerne til formen, friskt eller lagret træ, efterbearbejdning af clampshuller mv. Alle punkter der har stor betydning for overfladernes endelige udtryk.

Efter afforskalling af første prøvestøbning var vi enige om at det ikke så ud som nogen af os ønskede. Det viste sig heldigvis samtidig at vi taler samme sprog! Med prøvestøbningen som et håndfast udgangspunkt tog vi fat på den videre proces. Prøvestøbningen gav os noget at pege på, at referere til og at tænke og tale videre ud fra i arbejdet frem mod målet.

Ved hjælp af gode spørgsmål, omveje og lange historier opnåede vi en fælles forståelse af ønsker og muligheder. Processen var ikke lykkedes uden åbenhed og lydhørhed fra begge sider. Det skal til for at finde fælles forståelse for hvad det betyder at betonoverfladen skal "svare til flodhestens grovhed". Og at "overfladen ikke

må være for fin". At bruge en gummimatrise var ikke en løsning. Mønsteret blev alt for ensartet og pænt. Almindelige forskallingsbrædder var heller ikke godt – de havde ikke nok "tilfældig ruhed". Løsningen var at finde nogle dårlige brædder i den rigtige størrelse.

Uden gensidig forståelse ville husets overflader have været en fuldskala af anden prøvestøbning, som til dels blev godkendt af både arkitekt og ingeniør. Men det blev anderledes fordi de udførende syntes det skulle være bedre, og på eget initiativ foretog prøvestøbning 3 og 4 med andre teknikker og behandlinger af forskalling og forme.

Kardinalpunktet for det gode resultat lå i overfladebehandlingen af brædderne. Problemet med de første prøvestøbninger, hvor de anbefalinger rådgiveren havde givet blev fulgt, var at huden på betonen havde tendens til at komme med af ved afforskallingen.

Der var flere forklaringer på problemerne. Sukkerstofferne i listerne virkede som retarder, hvilket kunne undgås ved at bruge lagrede brædder, men det var ikke muligt at finde sådanne. En anden mulighed var at udvande brædderne, hvilket også var en omstændelig og besværlig proces.

Tiden var ved at løbe ud, og der var 4 mulige løsninger at gå videre med:

- Epoxybcoatning af listerne
- lakbehandling
- svumning af listerne med cementvælling
- at fortsætte med den beskrevne og godkendte løsning - formolie.

Der skulle tages en hurtig beslutning, selvom ikke alle metoder var afprøvet. Tankerne om de enkelte løsningsmuligheder var kort sagt:

- epoxycoating er en dyr løsning med lang leveringstid. Det krævede at brædder kunne genbruges, hvilket var tvivlsomt med det aktuelle bræddevalg. Desuden var løsningen ikke afprøvet.
- lakbehandlingen kræver en forholdsvis lang hærdetid og tidsplanen var stram.
- svumning havde den fordel at afhængigheden af vejret blev reduceret, men løsningen medfører øgede omkostninger i form af materialer og mandetimer.
- At fortsætte som hidtil var mest oplagt, selvom resultatet ikke var fuldt tilfredsstillende var prøvestøbning 2 godkendt.

Der blev taget en beslutning så tidsplanen kunne følges, og sideløbende (!!) blev prøvemur 3 og 4 udført. Vi synes selv det var det rigtige valg!

Udførelsen har som beskrevet ikke haft et lineært forløb, men et mere gentaget forløb: En ide afprøves, duer et stykke af vejen men må ændres for at alle facetter og bindinger opfyldes – som et spiralt forløb hvor hvert punkt i processen gentages flere eller mange gange, men hver gang med en højere indsigt.

Forløbet har på mange måder mindet om idéfasen i et projekt, hvor man arbejder rundt om ideerne en masse gange – nogen gange lader man et hjørne hvile i en periode fordi det ikke kan løses lige nu, og næste gang man vender tilbage til det har det "løst sig selv" som følge af en række beslutninger taget siden sidste gang man boksede med det.

På denne sag er det lykkedes at få et formidabelt betonresultat!

Det er – i hvert tilfælde til dels – lykkedes som følge af et godt samarbejde mellem arkitekt og entreprenør. Fordi vi fandt et fælles sprog og havde fælles høje mål for øje. Det er også i nogen grad lykkedes på trods – nemlig af en stram tidsplan, økonomi og traditionelle aktørroller med stor mistro mellem projekterende og udførende.

Kan det gøres igen?

Samme vilkår for resultatet som vi her har skabt i fællesskab kan opnås hvis det fælles mål hos projekterende og udførende er større åbenhed og tillid på tværs af faggrænser – så de faglige fordomme vi alle render rundt med i højere eller mindre grad bliver nedbrudt.

Tidligere inddragelse af den udførende entreprenør kan give mulighed for en bedre planlægning af udførelsen – og for tryghed i arbejdet for alle parter

Lydhørhed og afklaring af fælles mål og succeskriterier i opstartfasen giver fælles pejlemærker når byggeriet kører i fuld fart frem mod deadline.

Åbenhed for nye skæve ideer og vilje til at være dum på den gode måde giver plads til forbedrede løsninger. At afgive patentet på altid at have den gode løsning og erkende at den kan komme fra en anden kant beriger processen.

Realistiske budgetter og tidsplaner hjælper altid. Plads til planlægning fra start og til fordybelse og refleksion over løsningerne i hele udførelsesperioden giver de bedste muligheder for at levere et godt resultat.

Målet er større åbenhed og tillid mellem parterne i byggeriet.
Vi tror på at det giver det bedste resultat – på den lange bane.

Dansk betondag 2008

Hotel Harmonien, Haderslev

11. september 2008-08-14

Cityringen - Mere metro i København

Projektleder

Mikkel Kjær Jensen

Metroselskabet I/S

Metrovej 5

2300 København S

T: 7242 4572

E: mkj@m.dk

H: www.m.dk

Resume:

Staten, Københavns kommune og Frederiksberg kommune har aftalt at anlægge og finansiere en underjordisk ringbane, Cityringen, under den tætteste del af København City, Brokvartererne og Frederiksberg. Folketinget vedtog efterfølgende i juni 2007 Lov om en cityring og Lov om Metroselskabet I/S og Arealudviklingsselskabet I/S. I lovene fastlægges blandt andet linjeføring og stationsplaceringer, samt finansiering af projektet.

Projektet omfatter en ny metrostrækning to tunnelrør der hver er ca. 15,5km lange og løber i 25 til 35 meters dybde. Tunnellen løber i en ring og kommer op til overfladen ved kontrol- og vedligeholdelsescentret (CMC) ved Vasbygade. Adgangen til Cityringen for de kommende passagerer vil ske ved de 17 nye stationer, som er placeret med passende mellemrum langs tunnelstrækningen. Stationer og skakte vil blive de eneste synlige tegn i gadebilledet på, at der er et højklasset trafiksystem i byen.



Cityringen planlægges trafikeret dels af en linje, der i begge retninger kører hele vejen rundt i ringen, og dels af en linje, der i pendulfart betjener den østlige del af ringen mellem København H og Nørrebro station. Tidsintervallet mellem togene i myldretiderne planlægges til 100 sekunder på den østlige del af ringen og til 200 sekunder på den vestlige del af ringen.

Selve anlægsarbejdet forventes at blive påbegyndt i sommeren 2010 og afsluttet i 2018, hvor Cityringen tages i brug. Den tunge del af anlægsarbejderne, hvor der udgraves til stationer og skakte og hvor tunnelen boret, forventes at forløbe fra for-

året 2011 til 2016. Førrend denne del kan starte skal der projekteres, laves geotekniske undersøgelser, omlægges ledninger og laves arkæologiske udgravninger.

Tunnellarbejdspladserne er de pladser, hvorfra man konstruerer selve tunnelen. Antallet og placeringen af tunnellarbejdspladserne er nøje vurderet ud fra pladsmæssige, trafikale og tekniske hensyn. Det er fra tunnellarbejdspladserne, at det materiale, som tunnelboremaskinen borer ud – 'mucken' – kommer op til overfladen og skal transporteres bort. Der er også her, tunnelelementerne sænkes ned i tunnelen og køres herfra til tunnelboremaskinen, hvor de monteres. Det forventes at overskudsjord og muck genanvendes til landvinding i Nordhavn, ligesom forurennet jord forventes placeret i Nordhavn.

Tunnellerne vil få en indvendig diameter på 4,9 meter svarende til den eksisterende metro og beklædes med præfabrikerede betonelementer hvor anvendelse af stålfiberarmering pt. Vurderes.

Stationerne skal indbygges i det snævre byrum i en dybde af ca. 25 meter. Disse udføres efter samme princip som de eksisterende stationer, (Top down metode). Indfatningsvægge bliver typisk sekantpæle vægge eller slidsevægge. Specielt i den gamle bydel hvor sænkning af grundvand ikke er en mulighed, og hvor der eksisterer mange sætningsfølsomme bygninger, sættes der store krav til udførelsesmetoderne.

Stationer og kaverner skal derfor etableres med et ydre vandtryk på ca. 25 meter og med høje krav til tæthed og levetid.

Synopsis:

Staten, Københavns kommune og Frederiksberg kommune har aftalt at anlægge og finansiere en underjordisk ringbane, Cityringen, under den tætteste del af København og Frederiksberg. Folketinget vedtog efterfølgende i juni 2007 Lov om en cityring hvor der blandt andet fastlægges linjeføring og stationsplaceringer, samt finansiering af projektet.

Projektet omhandler en ny metrostrækning to tunnelrør der hver er ca. 15,5 km lange og løber i 25 til 35 meters dybde. Tunnellen løber i en ring og kommer op til overfladen ved kontrol- og vedligeholdelsescentret (CMC) ved Vasbygade. Adgangen til Cityringen for de kommende passagerer vil ske ved de 17 nye underjordiske stationer, som er placeret med passende mellemrum langs tunnelstrækningen.

Dansk betondag 2008

Hotel Harmonien, Haderslev
11. september 2008

Status på Eurocodes

Projektleder
Jens Gorm Rasmussen

Dansk Standard
Kollegievej 6
2920 Charlottenlund
Tlf.: 3996 6394
jgr@ds.dk

Eurocodes i Danmark

Dansk Betondag 2008

Overblik over eurocodes

Den 1. januar 2009 er en vigtig skæringsdato for byggeriets parter. Det er den dato, hvor Danmark

endegyldigt siger farvel til konstruktionsnormerne DS 409 – DS 451 for at tilslutte sig de europæiske eurocodes.

Fra da af skal alle projekterende, byggemyndigheder, byggevareproducenter, bygherrer mv. benytte eurocodes, der bliver det eneste lovlige projekteringsgrundlag i Danmark.

Eurocodes er det sæt af europæiske konstruktionsnormer, der omfatter alle gængse konstruktioner og materialer. Hele sættet af eurocodes (DS/EN 1990 – DS/EN 1999) indeholder i dag 60 dele. DS/EN 1990, Projekteringsgrundlag og DS/EN 1991, Lastforskrifter danner basis for materialeområder beton, stål, komposit (beton/stål), træ, murværk og aluminium samt jordskælv og geoteknik. Implementeringen af Eurocodes i dansk byggelovgivning betyder, at Eurocodes er fuldt integreret i bygningsreglementet BR08, der trådte i kraft 1. februar 2008.

I overgangsperioden skal man ved dimensionering af konstruktioner enten benytte konstruktionsnormerne (DS 409 – DS 451) eller Eurocodes med tilhørende nationale annekser. Denne valgmulighed gælder kun indtil 31. december 2008, hvorefter det alene er eurocodes, som er gyldigt projekteringsgrundlag i Danmark. Dette er meget væsentligt at holde sig for øje i forbindelse med igangsætning af en længerevarende projekteringsopgave. Hos Center for Byggeri hos Dansk Standard har man længe haft Eurocodes som omdrejningspunkt for arbejdet. Vi har bl.a. etableret en hjemmeside, www.eurocodes.dk, der giver brugerne – erfarne som uerfarne – et overblik over eurocodes, de tilhørende nationale annekser samt de relevante produktstandarder.

Det er også planen, at de andre EU-landes nationale annekser skal kunne downloades via hjemmesiden.

Oversigt over eurocodes

Eurocodes er opdelt i seks grupper efter emne:

Eurocodes 0 er det grundlæggende designgrundlag (DS/EN 1990) svarende til den nuværende danske konstruktionsnorm DS 409.

Eurocodes 1 omfatter eurocodes for lasterne vind, sne, ulykke osv. (DS/EN 1991) svarende til DS 410.

Eurocodes 2-9 omhandler materialerne samt fundering:

DS/EN 1992 beton svarende til den nuværende DS 411

DS/EN 1993 stål svarende til den nuværende DS 412 & DS 446

DS/EN 1994 komposit (beton/stål) svarende til den nuværende DS 451

DS/EN 1995 træ svarende til den nuværende DS 413

DS/EN 1996 murværk svarende til den nuværende DS 414

DS/EN 1999 aluminium svarende til den nuværende DS 419

DS/EN 1997 for fundering svarende til DS 415.

For at kunne anvende eurocodes i Danmark skal man i henhold til Bygningsreglementet BR08

anvende den enkelte eurocode i samspil med det tilsvarende danske nationale annek. Det vil sige, at man fx sammen med DS/EN 1991-1-1 skal benytte EN 1991-1-1 DK NA. Der er ikke udarbejdet nationale annekser til alle Eurocodes. Dette skyldes blandt andet, at en række bygge- og anlægsopgaver ligger uden for BR08 regi, fx jernbane- og vejbroer. Man har samtidig prioriteret relevansen af de enkelte eurocodes i det danske standardiseringsarbejde. Det betyder fx, at der ikke er udarbejdet et nationalt annek for jordskælv (DS/EN 1998), da det sjældent indgår i normale danske byggesager.

Eurocodes og nationale annekser

I det nye bygningsreglement BR08 er eurocodes ligestillet med de nuværende danske konstruktionsnormer (DS 409 – DS 451) under den forudsætning, at man ved projekteringen benytter de tilhørende danske nationale annekser (NA). Disse skal betragtes som den "nationale nøgle", der så at sige "låser eurocodes op" til brug i Danmark. Tilsvarende implementeringsprocesser med nationale annekser er undervejs i de andre EU lande.

De nationale annekser, som alle har været ude i en 2 måneders offentlig høring i løbet af 2007, angiver de partialkoefficienter og øvrige valg, som det er besluttet skal være gældende ved beregning af danske bygningskonstruktioner. Dette indebærer også, at de danske nationale annekser skal anvendes af fx udenlandske producenter af fx stålkonstruktioner til montering i Danmark eller udenlandske ingeniører, som arbejder på danske byggeopgaver. Tilsvarende skal danske producenter og rådgivere anvende de nationale annekser, som er gældende i fx Sverige

eller Tyskland ved byggeopgaver dér. De nationale annekser er udarbejdet af en række tekniske eksperter, forankret i de respektive standardiseringsudvalg i Dansk Standard og på vegne af Erhvervs- og Byggestyrelsen.

Se oversigt over de nationale annekser på www.eurocodes.dk.

Eurocodes på Betonområdet

Overgangen til Eurocodes på betonområdet betyder et skifte i praksis på flere områder. Eurocodes sortimentet på beton består af :

EN	Titel	Dansk oversæt	NA	NA (Vej-Bane.)	NA (Landbrug)
DS/EN 1992-1-1	Eurocode 2 – Betonkonstruktioner Generelle regler, samt regler for bygningskonstruktioner	X	X		
DS/EN 1992-1-2	Eurocode 2 – Betonkonstruktioner Generelle regler – regler for branddimensionering	X	X		
DS/EN 1992-2	Eurocode 2 – Betonkonstruktioner - Betonbroer – Dimensionerings- og detaljeringsregler			X	
DS/EN 1992-3	Eurocodes 2 – Betonkonstruktioner – Betonkonstruktioner til opvaring af væsker og pulvere.				X

Udover selve overgangen til Eurocodes betyder skiftet på betonområdet et farvel til gammelkendte danske standarder og et goddag til nye Europæiske standarder.

DS 13080 serien for armeringsstål bliver afløst af DS/EN 10080 Steel for reinforcement of concrete

PrEN 10138 serien for spændarmering indføres

DS 482 Beton udførelse bliver afløst af DS/ENV 13670-1 Execution of concrete structures

Dansk betondag 2008

Hotel Harmonien, Haderslev

11. september

Udførelse af betonarbejder – farvel til DS 482 og velkommen til EN 13 670

Per Elmar Fogh Jensen
MT Højgaard
Knud Højgaards Vej 9
2860 Søborg
Tlf: 2270 9777
pje@mthojgaard.dk

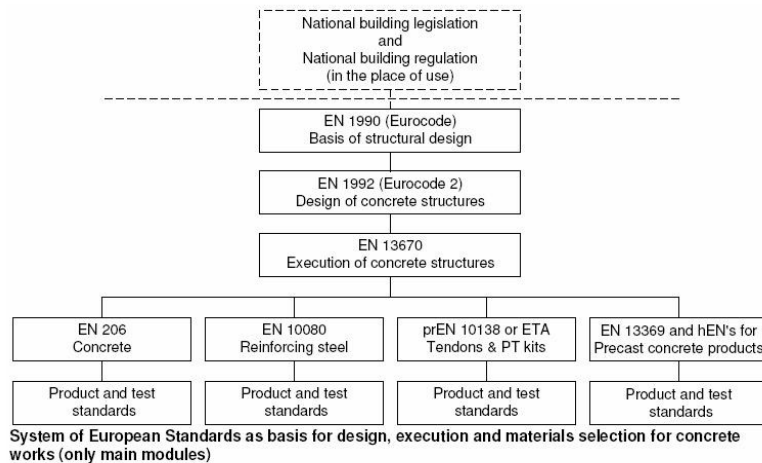
Udførelse af betonarbejder - farvel til DS 482 og velkommen til EN 13670

Det danske engagement i arbejdet med en Europæisk "Udførelsesstandard for Betonarbejder" blev indledt i 1990'erne. Det var før revisionen af DS 411 og BBB, der i 1999 førte til en ny DS411, og BBB blev erstattet med DS481 (materialestandard) og DS482 (udførelsesstandard).

DS482 udvalget – S-329, agerede spejlgruppe for det arbejde der knyttede sig til den Europæiske udførelsesstandard. Det medførte at strukturen i DS482 ligger op ad den Europæiske udførelsesstandard prEN 13670.

Sammenhængen EC2 - prEN 13670

Den overordnede struktur vedrørende BR08/EC2 og prEN 13670 er i prEN 13670 vist som:



Den Europæiske udførelsesstandard har tre overordnede funktioner, at:

- overføre designkrav til udførelsen;
- anvise en række standardiserede tekniske krav for udførelse af betonarbejder
- give designeren en tjekliste for at sikre at al relevant teknisk information foreligger.

Og standarden gælder for (uddrag):

- This European Standard gives common requirements for execution of concrete structures, it applies to both in-situ works and construction using prefabricated concrete elements.
- This standard expects the execution specification to state all the specific requirements relevant to the particular structure.
- This standard is applicable to permanent as well as temporary concrete structures.
- This standard is not applicable to the production of precast concrete elements made in accordance with product standards.

I prEN 13670

I det efterfølgende gives eksempler på ændringer i forhold til specifikationer der anvises i DS482.

Projektledeelse

Der stilles krav vedrørende projektledeelse (afsnit 4.1):

- a site management which will take charge of the organisation of the works and enable the correct and safe use of the equipment and machinery, the satisfactory quality of materials, the execution of a conforming structure and its safe use up to the delivery of the works.

Dokumentation af kvalitet

For dokumentation (afsnit 4.1) af kvaliteten, relateres til "Udførelsesklasser" 1 - >3, idet klasse 1 omfatter byggerier/komponenter hvor kollaps har lille betydning.

Dokumentationen til klasse 1 kan udføres som selvkontrol af den udførende (fx betonarbejderen), hvor kravene om uvildig overvågning øges i klasse 2 og 3.

Form

Vedrørende afformning (afsnit 5.7) specificeres kravene til:

(1) Falsework, backpropping and formwork shall not be removed until the concrete has gained sufficient strength, to:

- resist damage to surfaces that may arise during the striking;
- carry the actions imposed on the concrete member at that stage;
- avoid deflections beyond the specified deviation in this standard and the execution specification;
- avoid damage due to climatic effects.

Funktionskravene minder om DS482 – men notet (anneks C 5.7) er noget lempeligere:

(1) Where guidance on the required strength for removal of formwork and falsework is not given in the formwork or falsework design or the execution specification, then the following are suggested:

- **5 MPa** concrete strength to resist damage to surfaces that may arise during the striking

Armering

Bukning af armering (afsnit 6.3) er tilladt ned til -5°C -:

- bending of steel at temperatures below **-5 °C** is permitted only if allowed by the execution specification and provided the procedure conforms to given additional precautions.

Støbning

I indledningen til afsnittes vedrørende støbning (afsnit 8) henviser generelt til noteteksten (6 sider):

8 Concreting

NOTE Informative annex F gives guidance on concreting

Afsnit 8.1 "Specification of concrete" henviser til EN 206, men supplerer med:

(4) **Information on concrete strength development shall** be obtained from the concrete producer when required for the execution of the concrete works, e.g. deciding curing class.

Hvilket synes meget relevant da krav til fx curing sættes i relation til styrkeudviklingsklasser for betonen (se Table 4).

Afsnit 8.4.1 Placing and Compaction – General, formulerer stort set samme funktionskrav til den friske beton som vi kender det i dag fra DS 482, fx:

(6) The concrete shall be protected against adverse effects of solar radiation, strong wind, freezing, water, rain and snow, during placing and compaction.

Men den generelle udførelsesbeskrivelse i Anneks F8.4.1, åbner for flytning af beton vha. vibratorstaven:

(2) Concrete should be placed as near as practical to its final location. Vibration should be used to compact the concrete and not as a means of moving the concrete long distances.

Nyt er beskrivelse af specielle udstøbningstekniker som SCC-beton, Sprøjtebeton, Slipforming og Undervandsstøbning.

Funktionskrav til curing i afsnit 8.5 er lig DS482's, men ved formulering som:

Natural curing is sufficient when conditions throughout the required curing period are such that evaporation rates from the concrete surface are low, e.g. in damp, rainy or foggy weather.

Men den udførende lades lidt i stikken mht. dokumentation af "Natural curing".

Der opstilles Curingclasses hvor curingperiode er varighed af beskyttelse som funktion af betonens trykstyrkeudvikling.

Table 4 - Curing Classes

	Curing class 1	Curing class 2	Curing class 3	Curing class 4
Period (hours)	12 ¹⁾	NA	NA	NA
Percentage of specified characteristic 28 days compressive strength	Not applicable (NA)	35 %	50 %	70 %

¹⁾ Provided the set does not exceed 5 hours, and the surface concrete temperature is equal to or above 5 °C

Bemærk at standarden IKKE indeholder definition af "Curingclass" – fx ved en relation mellem Curingclass og miljøklasser.

Afsnit 8.8 henviser til beskrivelsen vedrørende krav til overfladefinish på betonkonstruktionen:

(1) Possible requirements for the finish of formed and unformed surfaces shall be given in the execution specification.

Men der hjælp at hente I Anneks F8.8 -

Table F.4 - Types of surface finish

Type	Normal application	Examples
Formed surfaces		
Basic Finish:	Where no particular requirement is needed.	Foundations
Ordinary Finish:	Where not of visual importance or to receive applied finishes.	Areas with applied render finish or unseen surfaces such as inside ducts or lift shafts.
Plain Finish:	Where visual effect is of some importance.	Areas seen occasionally and areas with prepared, direct painted areas where there are some particular requirements.
Special Finish:	Where special requirements have to be given	Areas where surface regularity and / or colour are important
Unformed surfaces		
Basic Finish:	A closed uniform surface produced by levelling. No further work is required.	Area to receive a screeded finish or other applied finishes.
Ordinary Finish:	A level uniform surface produced by floating or similar process.	Area for false floor and other applied floorings.
Plain Finish:	A dense smooth surface produced by trowelling or similar	Normal warehouses and factories, areas of plant rooms and work areas without other finish than paint.
Special Finish:	A surface where special requirements have to be given for further working of another finish.	Areas of warehouse floors for special trafficking.

Men i Danmark vil man sikkert indarbejde en generel henvisning til Bips A24 vedrørende definition af overflade krav.

Betonelementmontage

Afsnit 9 vedrører montage af betonelementer og beskrivelsen er mere detaljeret end DS482's, fx vedrørende montageanvisning:

(1) Requirements for the placing and adjustment of the precast elements shall be given in the erection specification.

Geometriske tolerancer

Afsnit 10 er detaljeret og gælder for bygningskonstruktioner, og kan anvendes for anlægsarbejder.

De geometriske tolerancer er angivet i to klasser – klasse 1 er den normale. Klasse to arbejder med skærpede tolerancer.

Anneks H

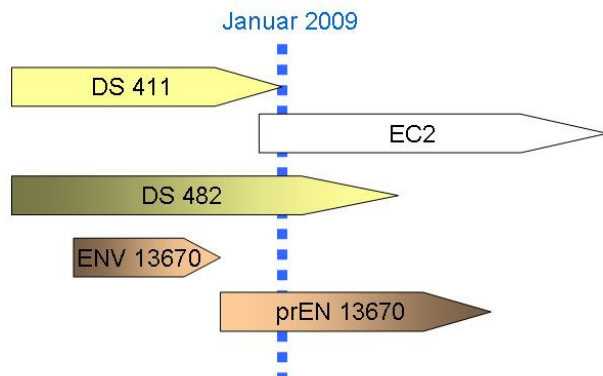
I prEN 13670 henvises ofte til

“requirements that should be given in the execution specification”

Som udlægges til at de enkelte lande ved disse formuleringer kan opstille deres nationale krav (NAD).

DS411/EC2/DS482/prEN 13670

Ifølge BR08 skal dimensionering fra 1. januar 2009 ske efter Eurode 2 (EC2), i hvis anvendelsesområde der henviser til ENV 13670-1. I realiteten betyder det at DS482 fra det tidspunkt ikke længere må bruges!



- Der er ikke annonceret overgangperiode for DS482
- EC2 henviser til ENV 13670, men i mellemtiden foreligger prEN 13670
- Det er vanskeligt at forestille sig at man (normsystemet i DK) vil opretholde en henvisning til en ikke eksisterende standard (ENV)

Fiberarmering i bærende konstruksjoner: Status og aktuelle forskningsresultater

**Professor
Terje Kanstad**

**Institutt for konstruksjonsteknikk
NTNU
N-7491 Trondheim**

Tlf ++47 73594519
e-mail: terje.kanstad@ntnu.no

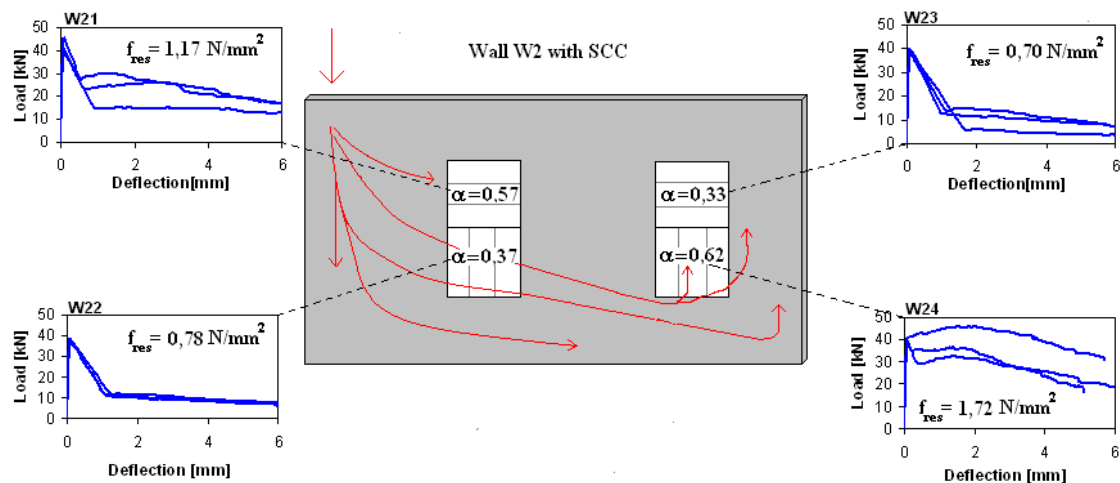
1. Innledning

Anvendelsen av stålfiber-armering i betongkonstruksjoner er for tiden økende, blant annet på grunn av krav til industrialisering og bedre arbeidsmiljø i byggebransjen. Andre viktige aspekt i denne sammenhengen er mangel på arbeidskraft og behov for kvalitetsforbedring. Det siste punktet gjelder for eksempel industri-golv hvor fiberarmering har klare fordeler sammenlignet med konvensjonell stangarmering.

Det er fortsatt slik at de dominerende anvendelsesområdene for fiber er sprøytebetong og plater på mark, dvs ikke-lastbærende konstruksjoner. At fiberarmering ennå kun benyttes i svært liten grad i bærende konstruksjoner skyldes i første rekke økte kostnader og at det eksisterende regelverket er ufullstendig og ikke tilstrekkelig anerkjent. Videre eksisterer det, blant fagfolk, en skepsis mot fiberarmering som skyldes tidligere erfaringer med utilstrekkelig duktilitet, og sikkerhet knyttet til utførelse. Angående det siste punktet, er det viktig at det er vanskelig å dokumentere at fiberinnholdet er tilstrekkelig jevnt fordelt i betongen.

Et relativt stort problem i denne sammenhengen er også at fibrenes retnings-orientering i mange tilfeller ikke er tilstrekkelig forutsigbar, dvs at den synes å variere for mye gjennom en konstruksjon. Et eksempel på dette er vist i figur 1 som viser en vegg støpt med selv-komprimerende betong og ett fyllingspunkt. Bjelker er saget ut som illustrert i figuren og reststrekkfastheten er bestemt ved hjelp av 4-punkts-bøyning iht til Norsk regelverk /10,4/. Resultatene viser at nært fyllingspunktet er fiberarmeringen i stor grad horisontalt orientert, mens den lenger bort fra fyllingspunktet i stor grad er vertikalt orientert. Det må allikevel poengteres at dersom utførelsen dvs utstøpingen er forutsigbar kan fibrenes tendens til å orientere seg med flyte-retningen utnyttes positivt. Dette gjelder for eksempel for bjelker støpt av selv-komprimerende betong (SKB) /4/. Disse resultatene viser en betydelig synergi-effekt mellom fiberarmering og SKB.

Innledningsvis kan det også nevnes at stålfiber kan være den eneste armeringen, og at den kan anvendes i kombinasjon med vanlig stangarmering som beskrevet i senere kapitler. Et annet viktig poeng er at det finnes mange interessante spesialprodukt basert på ulike fiber-teknologier og spesielle betongsammensetningerslik som for eksempel Fibremesh, SIFCON, SIMCON, EEC og CRC se for eksempel /11/. Slike produkt vurderes imidlertid å ligge utenfor dette foredragets tema.



Figur 1. Vegg støpt med 0,7 volumprosent stålfiberarmering. Rest-strekkfasthet som funksjon av retning og posisjon i forhold til fyllingspunkt /4/.

2. Regelverk

Fiberarmering er i praksis ikke nevnt i noen nasjonale og internasjonale standarder, slik at i denne sammenhengen er et relativt langt stykke å gå før materialet kan sies å være fullt akseptert, Leivestad /9/. På den annen side utføres det omfattende forskning og utvikling mot dimensjoneringsregler i mange land, og flere utkast til slike regler finnes, se for eksempel /2,3,6,7,8/. Mye er felles i disse, og omforente uttrykk for bestemmelse av momentkapasitet, skjærkraftkapasitet, rissvidder og minimumsarmering eksisterer til en viss grad.

Temaene utførelse og kontroll av fiberarmert betong er derimot i svært liten grad behandlet i aktuelle regelverk, og for eksempel er dette hovedårsaken til at de norske dimensjoneringsreglene /10/ ikke er godkjent og allment akseptert. Videre kan det synes det som om de fleste forskningsmiljø aksepterer at utførelse av fiberarmert betong ikke er mer krevende enn konvensjonelt armert betong og derfor ikke prioriterer FoU innen dette temaet.

Videre er det høstet en del relevante erfaringer i diverse utviklingsprosjekt hvor man har gjort unntak fra gjeldende regelverk, dette gjelder for eksempel et visst antall flatdekker i UK /2/, prefabrikerte spennarmerte bjelker i Tyskland, og betongdekker i et forsvarsanlegg i Norge /4/ noe som etter hvert vil gi verdifull feedback til aktuelle regelverk.

3. Bærende konstruksjoner med fiberarmering og vanlig stangarmering

Det synes i mange tilfeller relativt uproblematisk å benytte fiberarmering sammen med vanlig stangarmering i bærende konstruksjoner. I bjelker kan for eksempel kan bøylearmeringen erstattes med fiber og det er også vist at fibrenes og lengdearmeringens strekkapasitet kan adderes når momentkapasiteten bestemmes, se for eksempel /4/. Videre kan man tenke seg at sekundær-armeringen i plater erstattes med fiber. Det finnes også interessante eksempler på kombinasjon av spennarmering og fiberarmering.

Et viktig forbehold må imidlertid nevnes. Det kan lett skje at armeringen blir stengsel for betongens flytning, slik at fibrene hopper seg opp foran den. Dette må det tas hensyn til ved planleggingen av armerings- og støpearbeidene.

4. Bærende konstruksjoner med kun fiberarmering

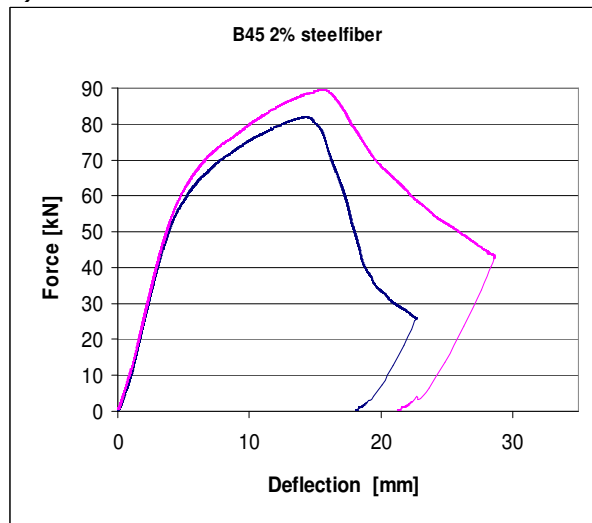
To avgjørende begrensninger for bruk av kun fiberarmering i bærende konstruksjoner er manglende duktilitet og vanskeligheter i forbindelse med utstøping av betong med tilstrekkelig høyt fiberinnhold. For å studere hva som er mulig, og identifisere mulige problem, ble det våren 2007 gjennomført en forsøksserie ved NTNU, hvor det ble støpt bjelker med 1-3,5 volumprosent stål- eller syntetisk makrofiber, dvs inntil 270 kg/m³ stålfiber, eller inntil 35 kg/m³ syntetisk makrofiber. Resultater fra denne undersøkelsen er vist i Figur 2. De viktigste erfaringene kan summeres opp som følger: (1) Strain hardening-oppførsel og god rissfordeling kan oppnåes i konstruksjoner med bare fiberarmering. (2) Deformasjon ved maksimal last ($\delta:L$) ligger i området 1:170 – 1:90. (3) Ved å benytte 0-8 mm tilslag, er det mulig å støpe ut en betong med inntil 2% Dramix stålfiber, eller 3% syntetisk makrofiber (Barchip Shogun). Og ved å benytte 0-2 mm tilslag, er det mulig med inntil 4% stålfiber eller syntetisk makrofiber.

5. Litteratur

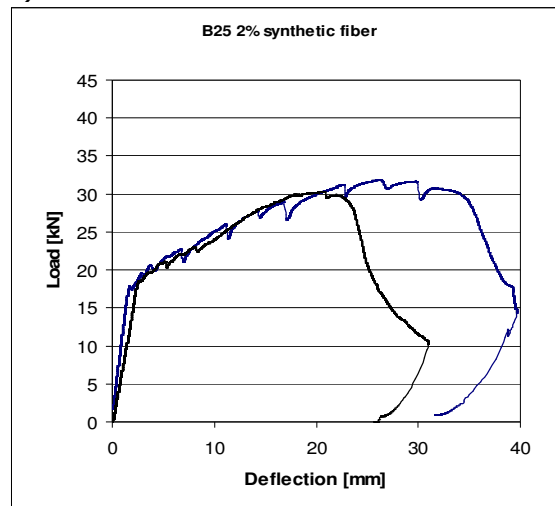
- /1/ ACI Committee 544: Report on Fiber reinforced concrete, American Concrete Institute, 2001.
- /2/ The Concrete Society: Guidance for the design of steel-fibre-reinforced concrete, Technical report No.63, The Concrete Society, Surrey, Great Britain, March 2007.
- /3/ The Concrete Society: Guidance on the use of macro-synthetic-fibre-reinforced concrete, Technical report No.65, The Concrete Society, Surrey, Great Britain, April 2007.
- /4/ Døssland, Å.L. Fibre reinforcement in load carrying concrete structures, PhD-thesis, Department of structural engineering, NTNU, Trondheim, Norway, April 2008.
- /5/ Löfgren, I. "Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction-a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis". PhD Thesis, Dep. of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2005, 268, pp.
- /6/ RILEM TC 162-TDF. "Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, σ - ϵ design method.(Chairlady L. Vandewalle)." Materials and Structures / Matériaux et Constructions, Vol. 36, No., 2003, pp. 560-567.
- /7/ RILEM TC 162-TDF. "Design of steel fibre reinforced concrete using the σ -w method – principles and applications (Chairlady L. Vandewalle)." Materials and Structures, Vol. 35, No., June 2002, pp. 262-278.
- /8/ CNR-DT 204/2006. "Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo di strutture di Calcestruzzo Fibrorinforzato". design recommendation, Rome, Draft 2006, 59, pp.
- /9/ Leivestad, S., " Status for fibre reinforced concrete in european (CEN) and international (ISO) standardization work, and requirements for further progress." Foredrag holdt på Nordic miniseminar. Fibre Reinforced Concrete, Trondheim November 2007
- /10/ Stålfiberarmering i betong. Norsk veiledning for prosjektering, utførelse og kontroll, Høringsutkast Februar 2006.

/11/ Vikan, H., "Fresh Fibre Reinforced Concrete – A State of the Art Report. In Proceedings of Nordic miniseminar. Fibre Reinforced Concrete, Trondheim November 2007.

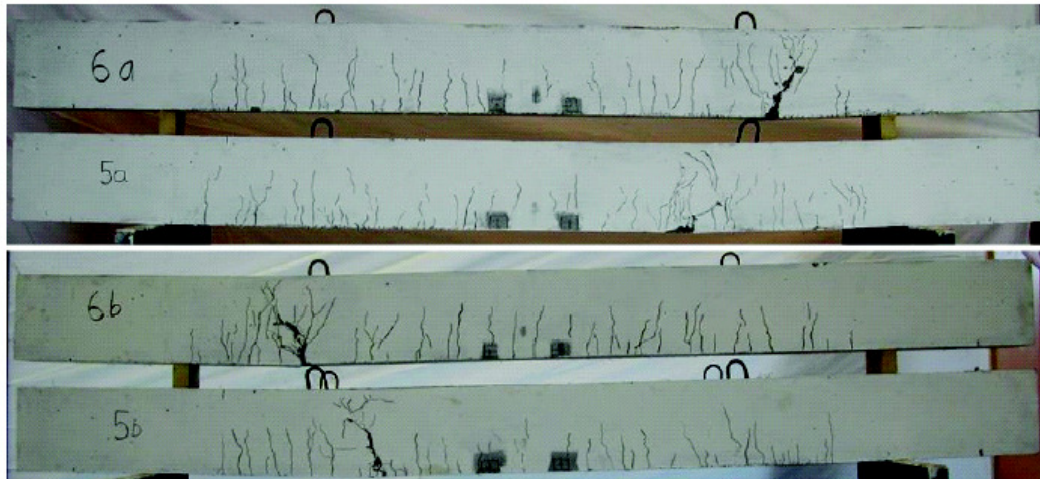
a)



b)



c)



Figur 2. Resultater fra prøving av bjelker armert med kun fiberarmering, (a) last-nedbøyning for 2 volum % stålfiber, (b) 2 volum % syntetisk fiber, (c) Rissbilder for bjelkene med 2% stålfiber.

Fiberbeton til slidlag på broer
En attraktiv løsning?
Dansk Betondag 11. september 2008
Carsten Henriksen, Vejdirektoratet

1. Baggrund

Vejdirektoratets har tradition for at fugtisolere brodæk med en bitumenmembran for at sikre mod nedbrydning af betonen i brodækket og sikre den indstøbte armering mod korrosion og ikke mindst sikre den spændte armering, som er det centrale element i de fleste broers bæreevne.

Vejdirektoratets broer har nu nået en alder, hvor broernes fugtisolering har opbrugt deres levetid og derfor skal udskiftes.

En udskiftning af en fugtisolering er forbundet med store omkostninger og samtidig en trafikal belastning, fordi en udskiftning er tidskrævende og dermed pålægger trafikanterne langvarige trafikrestriktioner – en udskiftning af en fugtisolering koster typisk ca. kr. 5000,-/m² og varer 2-4 måneder.

Vejdirektoratet forventer et behov for udskiftning af fugtisoleringer over de næste 10 år svarende til en investering af størrelsesordenen kr. 85 mio./år.

Vejdirektoratet har derfor en naturlig interesse i at udvikle alternative billigere og hurtigere løsninger.

Denne interesse er naturligvis også til stede, når det gælder opførelsen af nye broer.

For nye broer vil 1:1-besparelsen som udgangspunkt andrage ca. kr. 1400,-/m².

Rene betonløsninger er et muligt alternativ.

2. Tekniske problemstillinger

Den traditionelle fugtisolering af bitumenplader har over en periode på ca. 50 år vist sin kvalitet og værdi – det er hævet over enhver tvivl, at en stor del af årsagen til danske broers generelt gode tilstand kan tilskrives brugen af en langtidsholdbarhed fugtisolering.

Eksempelvis viser erfaringerne, at når fugtisoleringen svigter nedbrydes specielt broerne opført i 60'erne og 70'erne - de såkaldte AKR-broer - relativt hurtig.

Enhver ny teknik skal derfor vejes op mod dette koncept – der skal være gode argumenter af teknisk/økonomisk karakter for at opgive en veldokumenteret løsning til fordel for en helt ny ikke-dokumenteret.

Betonbranchen har dog endnu ikke entydigt dokumenteret, at rene betonløsninger udgør et ligeværdigt alternativ til den traditionelle fugtisolering.

Et af de primære tekniske usikkerhedspunkter er revneproblematikken, dvs. eventuelle revners effekt på langtidsholdbarheden.

Et andet usikkerhedspunkt er betonernes evne til at modstå kloridindtrængning således, at der ikke opstår reparationskrævende skader i løbet af de første 50 år, som er levetiden af en traditionel fugtisolering og dermed et naturligt referencepunkt for kravene til en betonløsning.

Begge forhold giver anledning til et forbehold med hensyn til at erstatte konceptet med brug fugtisoleringer af bitumen med rene betonløsninger.

Brugen af rene betonløsninger til broer er selvfølgelig ikke helt ny.

Vejdirektoratet har således gennem de seneste 25 år opført en række broer af beton og har ved en systematisk opfølgning fået et signifikant erfaringsmateriale, som tillader at kvalificere og kvantificere den tekniske diskussion vedrørende de 2 væsentligste tekniske problempunkter - kloridindtrængning og makrorevner.

2.1 Kloridindtrængning

Med hensyn til kloridindtrængning viser målinger gennemført på Ryå-broen, Gadholdvejbroen, Bredahlvejbroen og kantelementer til Fiskebækbroen, at indtrængning af klorider i en beton uden makrorevner ikke vil give anledning til korrosionsproblemer indenfor en 50 års horisont – selv ikke i de af betonerne der har et indhold af mikrorevner i dæklaget.

Alle broer er opført med en beton af en kvalitet stort set svarende til dagens E-beton til særlig aggressiv miljøklasse.

2.2 Makrorevner

Erfaringerne viser generelt, at 1) Det er ikke entydigt om makrorevner vil opstå eller ej og 2) Der er ikke en entydig dokumentation af revnernes effekt på langtids-holdbarheden(50 års perspektiv), hvis de opstår.

Problematikken med makrorevner skal vurderes separat for henholdsvis nye broer støbt som rene betonløsninger og eksisterende broer, hvor løsningen anvendes som slidlag som erstatning for den eksisterende asfaltbelægning.

Erfaringsgrundlaget dækker primært nye broer støbt som rene betonløsninger.

Erfaringerne fra disse broer viser, at der endnu ikke efter ca. 20 år har udviklet sig reparationskrævende skader – heller ikke på de broer, hvor der efterfølgende er konstateret revner i dæklaget.

Erfaringsgrundlaget med anvendelse af løsningen som betonslidlag som erstatning for den traditionelle 100-200 mm fugtisolerings- og belægningsopbygning på eksisterende broer er mere begrænset.

Risikoen for revner i dæklaget er dog betydelig – den velkendte "Nyt på gammelt"-problematik - hvilket senest er erfaret ved de første forsøg med latexbetonbelægninger.

Det noteres, at beskyttelsen af broernes bærende armering og specielt den spændte armering mod korrosion forårsaget af nedsivende kloridholdigt vand udgør et afgørende krav til en belægning henholdsvis dæklag.

Yderligere opfylder en række brobetoner ikke kravene til frostbestandighed, hvorfor kravet til en revnefri tæt belægning også på disse broer er væsentligt.

Problemstillingen omkring revners betydning er således af så vital for beslutningen om en mere systematisk anvendelse af rene betonløsninger, at usikkerheden om revners betydning ikke kan negligeres.

3. Forsøg med og tekniske krav til stålfiberløsninger

3.1 Forsøg med stålfiberløsninger

I et forsøg på at imødegå makrorevnedannelser i dæklaget har Vejdirektoratet afprøvet anvendelsen af stålfiberbeton på en forsøgsplade, hvor de øverste 150 mm af en typisk brobetonplade er udstøbt i en stålfiberbeton (vådt i vådt oven på en normal E-beton) for at minimere risikoen for revner i dæklaget.

Forsøgene er gennemført med både forskellige mængder tilsatte stålfibre og med forskellige længder af stålfibrene. Disse detaljer omtales ikke yderligere i nærværende skrift.

Erfaringerne fra dette forsøg er indtil videre lovende: 1) Ingen revner i overfladen, 2) Betonen er frostsikkerhed, 3) Ingen støbefejl eller mikrodefekter og 4) Resistent overfor kloridindtrængning.

3.2 Krav til stålfiberløsninger

Såfremt risikoen for revner i betonbelægninger udlagt i en almindelig løbende produktion kan elimineres – det første primære tekniske nåleøjeblik – vil betonbelægninger derudover skulle opfylde krav til kørselskomfort, friktion samt ikke mindst støj.

Støj udgør en væsentlig problemstilling. Det skal derfor vurderes om betonbelægninger giver anledning til de meget hørbare og meget generende støjspidser, som kendes fra passage af dilatationsfuger.

Såfremt dette er et væsentligt problem i forbindelse med brug af betonbelægninger, vil det i sin yderste konsekvens kunne medføre, at betonbelægninger ikke kan anvendes i bebyggede områder.

Endelig skal det vurderes, hvorledes betonbelægninger skal vedligeholdes dels i løbet af driftsperioden dels, når de er udtjente.

4. Økonomiske forhold

Til de tekniske forbehold er der desuden et vist forbehold med hensyn til den økonomiske gevinst ved anvendelse af et betonkoncept.

Som udgangspunkt er den reelle økonomiske gevinst lig med prisen på en fugtisolering og de beregninger Vejdirektoratet har gennemført for at vurdere livstidsøkonomien for den traditionelle henholdsvis den rene betonløsning viser, at der kan være en betydelig besparelse ved at anvende rene betonløsninger.

Gevinsten er dog afhængig af vedligeholdelsesbehovet på de rene betonløsninger – opstår der således indenfor en kortere årrække reparationskrævende skader vil gevinsten forsvinde.

Til vurderingen af betonløsningernes økonomiske optimalitet er også udførelsestiden en væsentlig parameter – kan betonløsninger gennemføres hurtigere og med færre trafikantgener end den traditionelle løsningen eller kan de udvikles til at kunne være det?

Spørgsmålet er imidlertid om betonbranchen anser markedet for tilstrækkeligt attraktivt til i fremtiden at kunne tilbyde rene betonløsninger til konkurrencedygtige priser?

Hele problematikken tager udgangspunkt i økonomisk optimering og hvis de rene betonløsninger ikke er konkurrencedygtige både pris- og kvalitetsmæssigt, vil løsningen ikke være attraktiv.

5. Stålfiberløsninger i fremtiden

Vejdirektoratet vil på ovennævnte baggrund indenfor de næste par år opføre en række broer på mindre befærdede veje for at afprøve den tekniske del af konceptet i praksis – i første omgang alene på nye broer på mindre befærdede veje.

Indtil der foreligger entydige erfaringer fra disse forsøg, vil Vejdirektoratet ikke derudover anvende rene betonløsninger som et ligeværdigt alternativ til den hidtil anvendte traditionelle fugtisoleringsløsning.

Den største gevinst ved anvendelsen af rene betonløsninger må formodes at være knyttet til omisolering af den del af den eksisterende bromasse, der ikke er støbt med alkaliskiselsreaktivt materiale (her vil det traditionelle fugtisoleringsprincip ikke blive fravejet).

Dette behov opstår – ifølge Vejdirektoratets prognoser – om ca. 4-5 år.

Vejdirektoratet og betonbranchen har således i fællesskab 4-5 år til at trimme konceptet, hvis det skal udvikles til at udgøre et fremtidigt ligeværdigt alternativ til den traditionelle fugtisoleringsløsning.

Det noteres, at Vejdirektoratet parallelt afprøver andre alternativer til den traditionelle løsning end den her beskrevne rene betonløsning.

Det noteres desuden, at fiberbetonløsninger været anvendt som slidlag i en årrække i Norge og Sverige.

Erfaringerne er tilsyneladende positive – dog bemærkes, at mange af de gennemgaaede broer er beliggende i et ikke-dansk klima med få frysepunktpassager.

De nordiske vejvæsner er ved at færdiggøre en samlet vurdering af disse broers langtidsholdbarhed, som vil indgå i Vejdirektoratets samlede vurdering af stålfiberbetonløsninger til broer.

Cementbundne bærelag i Danmark - udvikling og demonstration

Tony Kobberø Andersen
Vejdirektoratet, Anlægsområdet
tka@vd.dk

En del af de motorvejsbelægninger der blev udført i 1970'erne med bærelag af cementbundet grus har vist sig at have lang levetid. Med dette som udgangspunkt har Vejdirektoratet i samarbejde med COWI og NCC/Dansk Beton Teknik gennemført et udviklingsprojekt, der havde til formål at introducere de cementbundne bærelag som et seriøst alternativ for vejbygning på det overordnede vejnet i Danmark. Som opfølgning på udviklingsprojektet er der udlagt to demonstrationstrækninger ved Herning.

De holdbare motorveje

I perioden fra omkring 1970 til først i 1980'erne blev en stor del af de danske motorvejsstrækninger udført som halvstive belægninger, dvs. med bærelag af cementbundet grus. I alt blev der i perioden konstrueret over 100 km motorvej af denne type. Den typiske opbygning på disse strækninger var et 20 cm bærelag af cementbundet grus, hvorpå der blev udlagt 8-12 cm asfaltbærelag og endelig 3-4 cm asfalt slidlag.

I begyndelsen af 1980'erne ophørte brugen af de stive bærelag til motorveje i Danmark. Dette skyldtes primært at der blev konstateret alvorlige gennemslagsrevner på visse strækninger, f.eks. den østlige del af Fynsmotorvejen, der allerede ved åbningen havde kraftige revner.

Opståen af disse refleksionsrevner, dvs. tværgående revner for hver 10 – 15 m, vil ofte være det reelle nedbrydningskriterium for denne belægningstype. Det er en udbredt opfattelse, at revnerne i alle tilfælde vil reflektere op igennem asfalten før eller siden. Dette er dog ikke tilfældet, idet skønsmæssigt under halvdelen af de omkring 100 km motorvej i Danmark med cementbundne bærelag lider af refleksionsrevner i alvorligt omfang.

I forbindelse med de igangværende udvidelser af motorvejsstrækninger i Københavnsområdet har Vejteknisk Institut udført omfattende belægningsanalyser af de eksisterende belægninger. Det blev konstateret, at flere af de strækninger der var udført med cementbundne bærelag faktisk havde klaret sig rigtig godt på flere punkter. En faktor der taler til fordel for de stive bærelag var, at asfalslidlagene i flere tilfælde havde haft meget lang holdbarhed. Eksempelvis findes på den sydlige del af Motorring 3 en strækning med det oprindelige slidlag fra 1977, altså med en exceptionel lang levetid på 30 år.

Det bedste eksempel på en langtidsholdbar belægning som blev fundet i forbindelse med forundersøgelserne, var en belægning ved Brøndby som blev udlagt i 1980 og siden da har været praktisk taget urørt i 28 år. Der er ingen synlige refleksionsrevner og det oprindelige asfalslidlag fremtræder uden reparationer med gode friktions- og jævnhedsværdier.

En mere generel analyse udført af Vejteknisk Institut, hvor man kiggede på asfalslidlag på statsvejnettet med levetid over gennemsnittet, har desuden vist at disse slidlag ofte var placeret på cementbundne bærelag.

I projektet blev der indsamlet konstruktions-, trafik- og vedligeholdelsesdata for tre motorvejsstrækninger omkring København. Nye borekerner fra belægningerne blev undersøgt og faldlodsmålinger foretaget gennem hele levetiden blev behandlet.

Undersøgelserne af de gamle belægninger sandsynliggør, at det under de rette forhold er muligt at lave halvstive belægninger, der er stort set vedligeholdelsesfri i over 20 år. De undersøgte motorvejsbelægninger var dimensioneret til omkring 6 mio. Æ10, men har nu båret 15-35 mio. Æ10. Samtidig skal det dog understreges, at der også var eksempler på belægninger der slog fejl ret tidligt pga. alvorlige refleksionsrevner.

Nedbrydningsmodeller og fuldskalaforsøg

Det forhold, at de undersøgte belægninger langt havde overskredet deres beregnede holdbarhed, og samtidig var i fuldt funktionsdygtig stand, viste, at de kriterier der var anvendt ved dimensioneringen, ikke gav en troværdig bestemmelse af holdbarheden.

I udviklingsprojektet stillede man derfor imod at opstille en troværdig nedbrydningsmodel, der var i stand til at forudsige nedbrydningen af det stabiliserede materiale. Der blev udviklet en model af den inkrementelt-rekursive type, det vil sige en model, der ud fra information om begyndelsestilstanden, den aktuelle tilstand samt trafikens påvirkninger kan beregne, hvilken ændring af tilstand disse påvirkninger vil føre til.

Til verificering af modellen blev det besluttet at lave udmattelsesforsøg med den svensk-finsk ejede Heavy Vehicle Simulator - en stor mobil vejprøvemaskine. Forsøgene blev gennemført i Sverige, 75 km nord for Helsingborg. Ud fra måledata fra dette fuldskalaforsøg er den inkrementelt-rekursive nedbrydningsmodel kalibreret og efterfølgende verificeret med faldlodsdata målt på de danske motorveje konstrueret i 1970'erne.

Sideordnet med udvikling af dimensioneringsmodellen blev der i udviklingsprojektet udført en række laboratorieforsøg med henblik på at optimere materialesammensætningen for cementbundne materialer. Hensigten var at muliggøre brug af sand- og grusmaterialer, som ellers ikke anses for anvendelige til formålet. Tillige vil en optimeret kornkurve for tilslagsmaterialerne gøre det muligt at holde cementindholdet passende lavt, hvilket naturligvis er en økonomisk fordel.

Demonstrationsstrækninger

For at eftervise konceptets bæredygtighed blev der i august 2005 lavet en demonstrationsstrækning ved Høgild syd for Herning. Der blev udlagt 20 cm cementbundet grus, som efterfølgende blev forsynet med asfaltbindelag + slidlag, altså i alt 8-9 cm asfalt. Det cementbundne grus blev proportioneret til en 28 døgns styrke på 8 MPa, svarende til styrkeklasse C8/10 i den nye europæiske standard EN 14227-1. Ved passende materialevalg var det muligt at opnå dette styrkeniveau med et cementindhold på 50-60 kg/m³.

Som tidligere nævnt var refleksionsrevner på nogle strækninger, sammen med en ugunstig prisudvikling, den faktor der reelt stoppede anvendelsen af cementbundne bærelag i Danmark i starten af 1980'erne. I de senere år har man i de fleste lande brugt forskellige metoder til at kontrollere revneudviklingen i de cementbundne bærelag. På strækningen ved Høgild blev der induceret tætliggende revneanvisere i det frisk udlagte bærelagsmateriale.

Strækningen blev åbnet for trafik i oktober 2007, og vil i de følgende år blive fulgt med visuelle inspektioner og bæreevne målinger.

I april 2008 blev der udlagt endnu en demonstrationsstrækning med cementbundet bærelag på motortrafikvejsstrækningen Vardevej- Snejbjerg ved Herning. På denne strækning blev der valgt både en anden udlægningsteknik (direkte på bundsikringen, uden et stabilt gruslag) samt en anden metode til at inducere et revnemønster i belægningen, nemlig slag med en tung guillotine på det hærtnede bærelag.

Afrunding

Erfaringerne fra udviklingsprojektet og demonstrationsstrækningerne indgår nu i vejregelarbejdet med udarbejdelse af nye " Udbudsforskrifter for hydraulisk bundne bærelag " som forventes at være færdige primo 2009.

Den dimensionerings- og nedbrydningsmodel som blev formuleret i udviklingsprojektet bliver ligeledes implementeret i Vejreglernes nye danske dimensioneringsværktøj MMOPP.

Vejdirektoratets arbejde med udbygningen af de tungt belastede motorvejsstrækninger har givet en ny vinkel på de " nye " cementbundne bærelæg , idet vi her skal håndtere ikke 10 mio Æ10 aksler men 50-60 mio Æ10 aksler.

Det er Vejdirektoratets håb, at de cementbundne bærelæg her kan vise sig at være en måde hvorpå vi kan lave mere holdbare belægninger som tillige er billigere og formentligt også mere miljøvenlige ved at kunne udnytte lokalt forekommende grusmaterialer og derved spare at stort transportarbejde.

Robotbaseret produktion af unikke betonkonstruktioner

Arkitekt MAA.

Thomas Juul Andersen

Teknologisk Institut, Gregersensvej, DK-2630 Taastrup

E-mail: thomas.juul.andersen@teknologisk.dk

Tlf: +45 7220 2157

Fax: +45 7220 2019

www.teknologisk.dk

Synopsis

Beton kan, på grund af dens store formbarhed, blive det foretrukne konstruktionsmateriale i fremtidens digitalt fremstillede arkitektur. Men nye, automatiserede arbejdsmetoder er påkrævet, hvis betonbranchen skal følge med den digitale udvikling. I det 3 årige projekt Unikabeton forskes i ny metoder til digital fremstilling af forskalling til unikke betonkonstruktioner. Det indebærer forskning i robotteknologi, nye, fleksible formmaterialer og forskallingsprincipper samt simulering af formfyldning med SCC. Projektet har indtil videre udviklet nogle spændende forskallingsprincipper, som benytter sig af alternative, robottilvirkede formmaterialer, og principperne er nu klar til at blive testet i fuld skala.

Håndværk og automatisering

I dag anvendes solide arbejdsmetoder baseret på håndværk, når der skal produceres betonkonstruktioner til byggeriet. Enkelte steder er metoderne blevet optimeret

i form af nyt, moderne udstyr, der automatiserer dele af produktionen. Denne optimering gælder dog primært, når der skal fremstilles katalogvarer, som bliver fremstillet i store serier. Anderledes ser det ud, når betonkonstruktionerne er unikke, og der kun skal produceres serier bestående af få elementer eller pladsstøbte vægge. Udfordringen klares ofte ved at tilpasse byggeriet efter de nærmeste katalogvarer eller indkøbe/producere nogle tilpassede formdele, idet det unikke ofte består i anvendelse af ikke-standard størrelser samt forskellige placeringer af udspæringer mv.

Men hvad når konstruktionerne også bliver unikke i deres geometri? Buede, bølgede, kantede betonkonstruktioner. Her skal forskallingen bygges op fra bunden – og med de håndværksbaserede arbejdsmetoder til rådighed kan denne forskallingsopbygning være en virkelig krævende disciplin, som både er tidskrævende og uforholdsmæssig dyr. Tidligere eksempler har dog vist, at enkelte bygherrer er villige til at betale den ekstra omkostning, der er forbundet med de unikke geometrier. Et af disse eksempler er tilbygningen til Ordrupgaard, som godt kunne lade sig gøre at fremstille via håndværksbaserede tilvirkningsmetoder, trods huset var tegnet digitalt. Sådan vil det næppe blive ved med at være.

Ny arkitektur i et frit formsprog

Udviklingen inden for digitale 3D modelleringsværktøjer har givet arkitekter helt nye muligheder for at eksperimentere i langt friere formsprog end tidligere. Derfor vil fremtiden utvivlsomt byde på flere digitalt fremstillede projekter med avancerede geometrier - og på grund af betonens store formbarhed, kan den komme til at spille en vigtig hovedrolle som det foretrukne konstruktionsmateriale.

Men hvor disse tidlige, digitalt udviklede, byggerier stadig kunne håndteres via håndværksbaserede arbejdsmetoder, vil fremtidige digitalt fremstillede byggerier byde på mere avancerede geometrier, som vil vanskeliggøre eller ligefrem umuliggøre fremstillingsmetoder baseret på håndværk. Denne udvikling udstiller for alvor behovet for nytænkning i betonindustrien. De traditionelle arbejdsmetoder må nødvendigvis have et alternativ i form af nye teknologier, der kan matche den digitale udvikling. Dette kræver værktøjer, der kan håndtere de digitale informationer og dermed digitalt fremstille de komplekse forskallinger til unikke betonkonstruktioner. Her kan implementering af robotteknologi være en mulig løsning.

Unikke betonkonstruktioner ved hjælp af robotteknologi

I projektet Unikabeton er udfordringen taget op. Det 3-årige projekt, som er støttet af Højteknologifonden, er et projektsamarbejde mellem Teknologisk Institut (projektleder), Unicon a/s, Spæncom a/s, MT Højgaard a/s, Paschal Danmark a/s, Arkitektskolen Aarhus, Syddansk Universitet og Giben Scandinavia. Hovedformålet med projektet er at udvikle nye, automatiserede metoder til industriel fremstilling af unikke betonkonstruktioner.

Et af omdrejningspunkterne i Unikabeton er Det Højteknologiske Betonværksted på Teknologisk Institut. Værkstedet, som blev indviet i sommeren 2007, er udstyret med blandt andet et fuldautomatisk laboratorie-blandeanlæg samt en robotcelle med en 6-akset robot. Og netop robotten er det centrale værktøj i forskningen i nye metoder til at lave digitalt fremstillet forskalling. Robotten er det digitale værktøj, som kan fodres med digitale input og agere herefter.

Alternative formmaterialer og digitalt baserede tilvirkningsmetoder

En af de store udfordringer ved at udvikle digitalt fremstillet forskalling, er at finde de bedst egnede formmaterialer samt hvilke tilvirkningsmetoder robotten skal an-

vende. Som udgangspunkt er robotten blevet forsynet med fræseværktøjer af forskellige typer, som kan fræse materiale væk ud fra et givent blokmateriale. Denne teknik er anvendt til at teste anvendeligheden af en række potentielle formmaterialer.

Et af de afprøvede formmaterialer er ekspanderet polystyren, som har vist sig at have flere af de egenskaber, som kræves af et nyt formmateriale, der skal bearbejdes med robot. Materialet er billigt, stærkt, let at bearbejde og samtidig forholdsvis let at bortskaffe, da polystyren består af 98 % luft. Polystyrenen, som primært produceres til isoleringsindustrien, fås i store blokke af forskellige finhedsgrader. Blokkene bliver på fabrikken skåret med en stor glødetråd til de ønskede mål. Ved fræsning i polystyren åbnes overfladen, hvilket blotter kuglestrukturen og skaber en ujævn overflade. Denne struktur kan, sammen med synlige fræsespor, aflæses i det støbte betonemne, som dermed vidner om både det anvendte formmateriale og den anvendte tilvirkningsteknik.

Et andet spændende formmateriale som er blevet testet i projektet er støbesand, som i dag primært anvendes i jern og metalindustrien. Selvom støbesand er et forholdsvis tungt materiale, er det stadig velegnet til fræsning. Støbesand har endvidere den fordel, at det kan genanvendes – det brugte sand kan knuses og komprimeres på ny til nye blokke. Af andre materialer som der er udført fræseforsøg med kan nævnes polyuretan-blokke, ekstruderet polystyren (styrofoam), gips, voks og mdf. Polyuretan-blokke kan fås i mange forskellige varianter og typer, som primært anvendes til design- og model fremstilling. Ved fræsning i de fine, hårde typer fås en glat overflade ved fræsning – ulempen ved disse materialer er især prisen, som kan være op til 20 højere end for eksempelvis ekspanderet polystyren.



Coatings og slipmidler

Der findes andre metoder end fræsning i dyre blokke, til at opnå finere, glattere overflader. En metode er at udfræse den ønskede geometri i et billigt formmateriale, eksempelvis ekspanderet polystyren, og herefter lægge en fin coating på. Denne coating kan herefter anvendes direkte som formens overflade, eller den kan finfræses for ekstra finish. På denne måde bliver formmaterialet et kombinationsmateriale der tilsammen giver de ønskede egenskaber.

I projektet er der afprøvet et stort antal coatings på ekspanderet polystyren. Disse coatings inkluderer blandt andet silikone, flydende polyuretan, akrylmaling, gummi, latex, lak, gips og voks. Blandt de coatings der har givet de bedste resultater er silikone og flydende polyuretan. Silikonen giver en glat og blank overflade på betonen og har rimelig slipeffekt uden brug af formolie. Den flydende polyuretan giver en glat og mat overflade og har ligeledes rimelig slipeffekt uden brug af formolie. Mens silikonen har en blød, elastisk overflade hærder den flydende polyuretan op til en hård hinde på polystyrenen.



Avanceret robotteknologi

Coatingsforsøgene er primært udført ved at håndpensle den flydende masse på. Men der er indkøbt et sprøjteværktøj til robotten, så også denne proces kan automatiseres. Til at starte med udføres forsøg med automatisk påføring af formolie – og senere vil processen og værktøjet justeres, så også diverse coatings kan blive påført med robot. Senere tænkes værktøjssortimentet udvidet med blandt andet skære, gribe og glødeværktøjer, således at mulighederne for forskellige tilvirkningsteknikker og processer øges.

Med mange muligheder for forskellige formmaterialer, coatings og tilvirkningsmetoder, kræves der en del manuel robotprogrammering, for at få udvalgt den helt rigtige kombination samt få robotens tilvirkningsstrategi til at være optimal i forhold til det ønskede resultat. Derfor forskes der en del i projektet på at optimere programmeringsdelen, så robotten selv kan udvælge de rigtige løsninger på baggrund af de digitale tegninger.

Nye forskallingsprincipper

Mens en del af projektets forskning går på udviklingen af alternative formmaterialer og tilvirkningsmetoder, fokuserer en anden del på at kunne anvende det udviklede i fuldskala konstruktioner i byggeriet. Denne del indebærer forskning i nye forskallingsprincipper.

Et af disse forskallingsprincipper, der er under udvikling i projektet, er et fleksibelt formsystem, hvor bøjelige plader af blandt andet stål og akryl formes via stempler til den ønskede geometri. Forsøg hos Spæncom har vist potentialet ved dette for-

skallingsprincip, og der videreudvikles på metoden, så stemplerne med tiden kan styres digitalt ud fra 3D tegninger.

Et andet princip under udvikling er en kombinationsforskalling, der dels består af et standard-forskallingssystem sammen med robottilvirkede inserts. Dette princip er blandt andet anvendt til at fremstille et unikt betonelement på Teknologisk Institut i en geometri, som vil være meget vanskelig at frembringe ved hjælp af håndværksbaserede metoder. Betonelementet er først tegnet digitalt, hvorefter de digitale informationer er overført til robotten, som efterfølgende har fræset to formsider i ekspanderet polystyren. Formsiderne er herefter blevet spændt sammen i en standard-forskalling og efterfølgende udstøbt. Princippet skal senere på året opskaleres og testes i fuld skala. Med forsøget vil det for alvor blive afprøvet, om princippet kan overføres direkte til fuld skal og dermed have potentialet til at blive implementeret i byggeriet.



Til disse forsøg anvendes selvkompakterende beton til udstøbningen. Og netop SCC er en af nøglerne i produktionen af de unikke betonkonstruktioner. Med så komplicerede forskallingsgeometrier, vil det være yderst vanskeligt at komme til med vibreringsudstyr ved brug af konventionel beton. Men for at sikre en optimal og fuldstændig formfyldning, forskes der i, hvordan SCC opfører sig ved så vanskelige formgeometrier. Målet er, at kunne simulere formfyldningen, så sammensætning og udførelse kan optimeres i forhold til geometrien.

Potentialet er til stede

Beton har potentialet til at blive det foretrukne konstruktionsmateriale i fremtidens digitalt fremstillede arkitektur. Projektet Unikabeton har indtil videre påvist nogle af mulighederne for at fremstille forskallingen til unikke betonkonstruktioner ved anvendelse af robotteknologi. Med nye formmaterialer, forskallingsprincipper og digitale tilvirkningsmetoder kan selv meget komplicerede forskallingsgeometrier fremstilles, og der kan endvidere eksperimenteres med ny formgivning og overfladeteksturer baseret på de anvendte digitale fremstillingsmetoder. I den resterende projektperiode vil det vise sig, om de udviklede metoder kan implementeres i byggeriet. Potentialet er til stede – så den digitale fremtid for betonbranchen er måske ikke så langt væk.

