



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Gregersensvej
DK-2630 Taastrup
Telefon 72 20 20 00
Telefax 72 20 20 19

info@teknologisk.dk
www.teknologisk.dk

Kritiske samlingsdetaljer i anlægskonstruktioner

RK-aktivitetsplan E1: Ny Teknologi til Anlægskonstruktioner

Udarbejdet af:

Christian Bøgh Jøns Nielsen

Thomas Pilegaard Madsen

December 2014

Indhold

1	Baggrund og formål	3
2	”Bruttoliste” over kritiske samlingsdetaljer	4
3	Udvælgelse af samlingsdetaljer til videre analyser	5
4	Analyse af samlingsdetaljer	6
4.1	Vedhæftning mellem betonslidlag og eksisterende beton på broer	6
4.1.1	Forsøg med UHPFRC-slidlag som fugtisolering på broer	6
4.2	Samlinger mellem eksisterende og nye materialer ved retablering af ledningsarbejder	8
4.2.1	Regelsæt og udfordringer for korrekt reetablering.....	8
4.2.2	Praktiske erfaringer	9
4.2.3	Metoder til undersøgelse af korrekt retablering af ledningsgrave	10
4.3	Præfabrikerede elementbroer	11
5	Referencer	14

1 Baggrund og formål

Følgende rapport har til formål at analysere tre typisk forekommende kritiske samlingsdetaljer i infrastrukturens konstruktioner, herunder at belyse eventuelle udviklingspotentialer samt skitsere løsningsforslag for de tre typer af samlingsdetaljer. Rapporten er udarbejdet som en del af aktiviteterne i projektet "Ny Teknologi til Anlægskonstruktioner", der er en resultatkontakt indgået mellem Uddannelses- og Forskningsministeriet og Teknologisk Institut for perioden 2013-2015.

Konstruktioner i infrastrukturen vil ofte udgøre en størrelse som betyder, at konstruktionerne nødvendigvis må bygges i etaper og ved sammenbygning til sidst fremstå som én samlet konstruktion. Et væsentligt parameter i sammenbygningen af konstruktioner er de samlingsdetaljer som gør, at de enkelte konstruktionsdele kan arbejde sammen og overføre de kræfter og bevægelser, som opstår på konstruktionerne i anvendelsestilstanden. Samlingsdetaljerne er altså vigtige elementer for funktionen af den samlede konstruktion, og en korrekt udførelse af disse er derfor særdeles vigtige for den færdige konstruktion.

Samlinger kan også have den kritiske egenskab at de, afhængig af deres eksponering, kan optræde som angrebepunkter for vandgennemtrængning og nedbrydning, hvis ikke de udføres med den korrekte tæthed. Konstruktioner i infrastrukturen vil ofte være udsat for en eksponering som gør, at netop tætheden af samlinger vil være et særligt kritisk punkt.

Foruden samlingsdetaljer, som har til formål at overføre kræfter eller bevægelser mellem konstruktionsdele, findes også samlinger mellem forskellige lag af materialer; eksempelvis på brokonstruktioner, hvor fugtisolering påføres konstruktionsbetonen for at beskytte denne mod nedsivende vand og tø-salt fra vinterens glatførebekæmpelse.

I afsnit 2 nedenfor er opstillet en række kritiske samlingsdetaljer, som kan optræde på konstruktioner i infrastrukturen. Tre af disse er udvalgt til nærmere analyse.

2 "Bruttoliste" over kritiske samlingsdetaljer

- **Samplingsdetaljer i forbindelse med præ-fabrikerede broer**

Vedligehold af fuger kan være specielt problematisk for præfabrikerede elementbroer. Fuger synlige på oversiden af brodæk skal vedligeholdes, hvilket er dyrt og kompliceret. Desuden kan fugerne give dårligere kørselskomfort.

- **Brobælægning af højstyrkebeton**

De oftest anvendte fugtisoleringssystemer på danske broer er dyre og tidskrævende at udlægge ligesom udførelsen er meget afhængig af vejrliget. Samtidig er levetiden begrænset og renoveringsprocessen kompliceret. En ny type af fugtisolering bestående af brobælægning i ultra højstyrke fiberbeton kan muligvis øge holdbarheden og lette udførelsesarbejdet ved fugtisolering på broer.

- **Ledningsgrave: Samlinger mellem eksisterende asfalt og ny asfalt ved reetablering af ledningsarbejder**

Der findes i Danmark klare retningslinier (AAB¹) for, hvordan samlinger mellem ny og eksisterende asfalt skal udføres, ved reetablering efter ledningsgrave. Alligevel er det ofte tilfældet, at der ses skader i belægningen over ledningsgrave, som kan henføres til manglende efterkommelse af retningslinjerne i AAB'en og SAB'en² for reetablering af ledningsgrave. Disse følgeskader vil have konsekvens for vejes eller cykelstiers funktionelle og strukturelle egenskaber.

- **Samling mellem asfalt og beton**

Samlinger mellem asfalt og beton kan være særligt problematiske, f.eks. hvis en rundkørsel udføres i beton, som støder op til asfalt el. ved motorvejsudvidelser, hvor det "ekstra" spor, hvor den tunge trafik afvikles, udføres i beton.

- **Udstøbningsfejl i hjørner af tunnelelementer**

Ved støbning af tunnelelementer ses ofte støbefejl i det område, hvor vertikalt orienteret væg møder lodret orienteret plade. Forbedring af støbemetoder og/eller betonens flydeegenskaber kan medvirke til at løse dette problem.

- **Samlinger mellem tunnelelementer (omstøbning af fugebånd)**

Samlinger mellem tunnelelementer kan optræde som angrebepunkter for vandgennemtrængning hvis ikke de udføres korrekt. Der findes fugebånd som i teorien sørger for en fuld vandtætning af konstruktioner der er sammensat af elementer, men fra tid til anden ses alligevel utætheder i samlingerne mellem tunnelelementer.

¹ AAB (almindelige arbejdsbeskrivelser) er en håndbog udarbejdet af Vejdirektoratet med krav/arbejdsbeskrivelser, som er gældende for de fleste almindeligt forekommende fag/entreprisedele i forbindelse med anlægsarbejder.

² SAB (særlige arbejdsbeskrivelser) er et projektspecifikt tillæg til de generelle arbejdsbeskrivelser, AAB.

3 Udvalgelse af samlingsdetaljer til videre analyser

De hidtil anvendte belægningssystemer (fugtisolering + asfalt) på danske broer er dyre og tidskrævende at udlægge ligesom udførelsen af fugtmembranen er meget afhængig af vejrliget. Samtidig er levetiden begrænset og renoveringsprocessen kompliceret. Der findes derfor et stort potentiale i forhold til at udvikle en egnet bromembran, som både er mere holdbar samt nemmere og hurtigere at udlægge. I afsnit 4.1 nedenfor beskrives forsøg med en ny type af fugtisolering bestående af brobelægning i ultra-højstyrke-fiberbeton som alternativ til ovenstående.

En anden kritisk samlingsdetalje mellem to lag af materialer i den danske vejinfrastruktur er samlingen mellem ny og eksisterende asfalt ved retablering efter ledningsarbejder. Der foreligger klare retningslinjer og arbejdsbeskrivelser (AAB) for, hvordan sådanne samlinger skal udføres, men alligevel forekommer udførelsesmæssige fejl som betyder, at skader viser sig 3-5 år efter arbejdets udførelse. Denne samlingsdetalje og de udførelsesmæssige udfordringer, der kan være forbundet med retablering efter ledningsarbejder, beskrives nærmere i afsnit 4.2 nedenfor.

Der er en lang byggetradition i Danmark for opførelsen af *in situ*-støbte betonbroer. Fordelene ved *in situ*-støbte betonbroer kan dels ligge i det æstetiske aspekt og dels i antallet af samlingsdetaljer og dermed antallet af potentielle angrebepunkter for nedbrydning, som er færre end for præfabrikerede elementbroer.

Præfabrikerede elementbroer har dog nogle anlægsmæssige fordele i form af kortere byggeperioder og lavere belastning af trafikken i anlægsperioden. Den reducerede anlægsperiode kan resultere i reducerede anlægsomkostninger mens den reducerede trafikale belastning kan medføre nogle samfundsmæssige gevinster, som særligt ved offentlige anlægsprojekter vil være attraktive for bygherren. Desuden elimineres risikoen for kollaps af stillads over vej i drift ved elementmonterede broer.

I forlængelse af det nylige stilladskollaps på Helsingørmotorvejen er løsninger med præfabrikerede betonelementer til brobygning derfor meget relevante, men erfaringerne i Danmark er fortsat små med præfabrikerede elementbroer. En nærmere analyse af de udfordringer, der kan være forbundet med præfabrikerede betonelementbroer, samt erfaringer fra udlandet fremgår af afsnit 4.3 nedenfor.

4 Analyse af samlingsdetaljer

I det følgende foretages en nærmere analyse af de tre udvalgte emner beskrevet i afsnit 3.

4.1 Vedhæftning mellem betonslidlag og eksisterende beton på broer

Hovedparten af de eksisterende danske broer er historisk set blevet udført med et fugtisoleringsystem bestående af bitumenplader. Flere variationer af fugtisoleringssystemet har været anvendt, men i nyere tid har udførelsen af fugtisoleringsystemer (inkl. belægning) på broer i Danmark stort set været begrænset til et system bestående af grunder, bund- og topmembran (Polymerbitumenplader), drænlag (åben asfaltbeton), beskyttelseslag og slidlag. Denne belægningstype er dyr og udførelsesprocessen er både tidskrævende og vejrligsafhængig. Samtidig er levetiden begrænset, hvilket betyder, at belægning og fugtisolerung skal udskiftes eller renoveres løbende i konstruktionernes levetid. Typisk tager sådan en renovering 3 måneder, hvoraf en betydelig del af denne periode kommer fra udskiftningen af fugtisolerungen.

Alternative fugtisoleringsystemer, som er i stand til at reducere renoveringsperioden eller frekvensen hvorved renoveringer eller udskiftninger skal udføres, er derfor meget relevante. Ultra-højstyrke-fiberbeton (UHPFRC) er i det sidste årti blevet undersøgt som alternativt fugtisoleringsystem af bl.a. Habert et al. (2013) [1]. Manglende viden om materialet har dog forhindret dets udbredelse, og derfor er der på Teknologisk Institut udført forsøg med henblik på at udbrede viden om materialets egenskaber og egnethed som fugtisolerung på broer [2].

4.1.1 Forsøg med UHPFRC-slidlag som fugtisolerung på broer

Vedhæftningen mellem betonslidlag og den eksisterende beton på broer er en væsentlig faktor for at opnå den tæthed, som gør, at betonen i bropladen beskyttes mod nedsivende vand og tøm-salt i konstruktionens levetid. Er vedhæftningen utilstrækkelig kan der opstå delamineringer mellem betonslidlaget og bropladen, som kan medføre at fugtisolerungen bliver utæt.

Til test af vedhæftningen mellem UHPFRC-slidlag og eksisterende beton på broer er der på Teknologisk Institut udført et mindre pilotforsøg på 10 testemner bestående af blokke på 30 x 30 x 7 cm udstøbt med en traditionel brobeton

Resultaterne fra forsøget viser, at for UHPFRC-slidlag gælder det som for andre typer slidlag, at en forudgående behandling af brobetonens overflade er en afgørende faktor for at opnå en tilstrækkelig vedhæftning mellem brobeton og slidlag. På de forsøgsblokke, hvor UHPFRC-slidlaget blev påført uden forudgående behandling af betonoverfladen, var vedhæftningen mellem slidlag og betonoverflade således negligeabel, idet der blev observeret kraftige delamineringer mellem lagene herpå, jf. Figur 1 nedenfor.



Figur 1 – Eksempel på kraftig delaminering mellem UHPFRC-slidlag (øverst) og beton (nederst). Rød pil markerer zoom af lodret snit omkring delaminering [2].

Den bedste vedhæftning blev opnået i tilfælde hvor betonoverfladen blev sandblæst og påført bindemiddel inden udlægning af slidlag. Uden brug af bindemiddel blev det bedste resultat opnået på de blokke, som blot blev sandblæst inden påføring af slidlag.

I tillæg til ovenstående undersøgelse af vedhæftningen mellem lagene blev der udført undersøgelser af UHPFRC-slidlagets materialemæssige egenskaber i samvirke med det underliggende betonlag.

Konklusionerne fra disse undersøgelser var, at stålfibrenes volumenfraktion spiller en betydelig rolle i forhold til at sikre en tilstrækkelig fordeling af svindrevner. Uden tilføjelsen af fibre opstår få, men store revner, hvorimod mange mikroskopiske revner optræder, når en tilstrækkelig mængde af fibre tilføjes betonen, hvilket resulterer i et vandtæt slidlag.

For at opnå en tilstrækkelig tæt beton må antallet af fibre altså øges og dermed må betonens bearbejdelse reduceres. Ligesom antallet af fibre er væsentlige for revnefordelingen spiller også fibrenes orientering en rolle. For at undgå for store svindrevner må overdreven fiberorientering undgås, hvilket betyder, at betonens flydeevne må begrænses.

På baggrund af konklusionerne fra ovenstående forsøg er der blevet iværksat et forsøg i større skala, hvor et miniature brodæk med målene 2x3 m er støbt med en traditionel brobeton og med traditionel brogeometri (forhøjning ved kantbjælker samt tværfald).

Brodækket er i forbindelse med støbningen blevet fyldt op med fugtsensorer, og efter hærkning er der udlagt et UHPFRC-slidlag på brodækket, som herefter er placeret udendørs. En overvågning af fugtindholdet i brobetonen samt løbende undersøgelser af vedhæftningen mellem slidlag og brodæk skal danne grundlag for en vurdering af, hvorvidt UHPFRC-slidlag kan være egnet som alternativ til det eksisterende fugtisoleringssystem med grunder og polymerbitumenplader. De endelige konklusioner fra dette forsøg foreligger endnu ikke.

4.1.2 Forslag til fremadrettede aktiviteter

Afhængig af konklusionen på ovenfor nævnte forsøg kan det i fremtiden være relevant at udføre nogle fuldskalaforsøg på eksisterende broer, hvor fugtisoleringen skal udskiftes med en ny. Hermed vil der være mulighed for dels at undersøge hvordan materialet reagerer i brugstilstanden ligesom eventuelle udførelsesmæssige udfordringer vil kunne klarlægges herved.

4.2 Samlinger mellem eksisterende og nye materialer ved reetablering af ledningsarbejder

Når der skal anlægges nye forsyningsledninger, eller når eksisterende skal serviceres, skal der foretages en udgravning i vejkassen. Der hvor ledningsgraven er etableret, skal vejkasse samt overliggende belægning reetableres efter ledningsarbejdet er afsluttet.



Udføres denne reetablering ikke efter forskrifterne og under egnede forhold, vil dette med stor risiko medføre en reduceret levetid af befæstelsen. Samlingen mellem den eksisterende asfaltbelægning og den nye asfalt på den reetablerede ledningsgrav er kritisk. Er fugen ikke rengjort tilstrækkelig, vil vedhæftningen mellem ny og gammel asfalt være svækket med forhøjet risiko for udvikling af revner i samlingen, som vil kunne lede vand ned i vejkassen og nedbryde den. Tilsvarende, hvis vejmaterialerne i den reetablerede ledningsgrav sætter sig utilsigtet, vil noget lignende forekomme. Hvis den færdige overflade (inden belægning) ikke er rengjort og i niveau med den resterende vej (overlag GAB³) medfører dette en risiko for et spring i den færdige belægningsoverflade henover ledningsgraven (lappen).

Det problematiske er, at udførelsmæssige fejl, uanset deres karakter, med stor sandsynlighed først vil vise sig efter en længere periode på måske 3-5 år. I de tilfælde, hvor den udførende entreprenør har givet en garanti på 2 år, vil det således betyde, at bygherren hænger på ansvaret, når de udførelsmæssige fejl slår igennem og medfører en ødelagt eller skadet belægning.

4.2.1 Regelsæt og udfordringer for korrekt reetablering

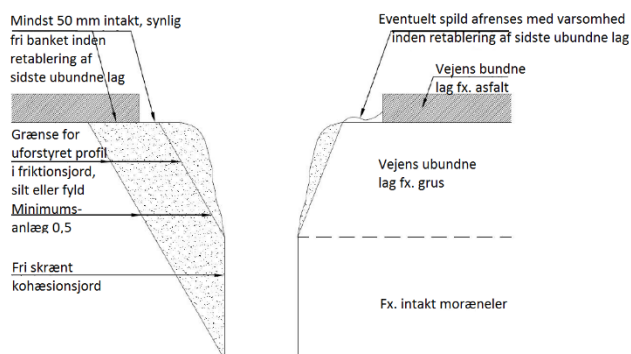
Der findes i Danmark et sæt retningslinjer for etablering og reetablering af ledningsgrave. Disse retningslinjer består primært af den almindelige arbejdsbeskrivelse (AAB'en) og som supplement til denne, den særlige arbejdsbeskrivelse (SAB'en). AAB'en er et 8-siders dokument og senest revideret ultimo 2008.

Det, som er særligt vigtigt at have for øje, når en ledningsgrav skal reetableres, er bl.a.:

- Ledningsgraven skal etableres med korrekt profil, og der skal etableres min. 50 mm fri banket, som er intakt indtil lukning af graven. I modsat fald skal der foretages tilbageskæring.
- Opgravede materialer skal så vidt muligt genanvendes.

³ Vejopbygningens bærelag kaldes GAB og består af grus, asfalt og beton.

- Der skal sikres den rette indbygning af materialerne ved konditionsmæssig komprimering.
- Asfaltkanten skal fremstå rengjort og med et rent snit, således der er optimale forhold for samlingen.
- Banketten skal oprensnes inden ledningsgraven befæstes, således at tykkelseskravene til både bærelag (GAB'en) og slidlaget kan overholdes og minimere niveauforskellene mellem gammel og ny asfalt.
- Asfaltkanten skal klæbes (forberedes) og dette skal ske i et jævnt lag.
- På den reetablerede grav udlægges det nye GAB-lag og komprimeres, så tykkelsen svarer til det eksisterende.
- Oven på GAB'en klæbes der i et jævnt lag over hele fladen.
- Asfaltslidlaget udlægges og komprimeres så tykkelsen af det nye og eksisterende slidlag bliver identisk.



Figur 2 – Graveprofil af uafstivet ledningsgrav [3]

4.2.2 Praktiske erfaringer

At ovenstående retningslinjer skal følges er en af forudsætningerne for, at de tekniske forvaltninger i landets kommuner udsteder gravetilladelser til ledningsejere og entreprenører. Alligevel er det ofte tilfældet, at der ses skader i belægningen over ledningsgrave, som kan henføres til manglende efterkommelse af retningslinjerne i AAB'en og SAB'en for reetablering af ledningsgrave. Disse følgeskader vil have konsekvens for vejes eller cykelstiers funktionelle og strukturelle egenskaber.

Mangelfuld reetableringen af ledningsgraven og konsekvenser som følge heraf kan eksempelvis være:

- *Uens komprimering af ledningsgraven i forhold til vej-kassen* betyder, at ledningsgraven og vej-kassen arbejder uens, og derfor vil der kunne opstå deformationer og revner i asfalten og dermed åbnes for vandnedtrængning.
- *Manglende bæreevne i hele ledningsgraven* kan opleves som negative vej-bump når man passerer tværgående ledningsgrave i bil. Årsagen hertil kan blandt andet ligge deri, at ledningsgraven ikke er opbygget og komprimeret optimalt. Ofte indbygges ledningsgraven ad én gang, tit med grusmaterialer bestående af en sammenblanding af de tidligere lagdelte grusmaterialer, som ledningsgraven bestod af inden opgravningen. Denne fremgangsmåde er uhensigtsmæssig, idet de nederste gruslag ikke vil blive komprimeret tilstrækkeligt og efterfølgende vil sætte sig i forhold til den uberørte del af vej-kassen.
- *Manglende bæreevne under asfaltsamlings* opstår idet det undlades at etablere fri banket. Derved vil komprimeringen af det øverste gruslag vanskeliggøres og ofte være mangelfuld, og som følge heraf vil zonen mellem de urørte og de indbyggede grusmaterialer være komprimeret utilstrækkeligt. Det medfører, at området under asfaltsamlingen har dårlig bæreevne, og der vil derfor være stor risiko for, at asfalten vil blive kørt i stykker. Derved vil belægningens forseglende evne blive brudt, vand kan trænge ind i belægningen, og nedbrydningsprocessen accelereres. Ved at etablere en banket placeres asfaltsamlingen over gruslag med korrekt bæreevne og vil derved kunne modstå trafikbelastningen.

- *Åbne asfaltsamlinger* kan ses som følge af mangelfuld rengøring af asfaltkanter og bevirke, at samlinger ikke vil blive tilstrækkelig tætte ved udlægning af bærelag og slidlag over ledningsgraven. Bliver de fritskårede asfaltkanter samtidigt ikke klæbet tilstrækkeligt og omhyggeligt nok, vil dette være endnu en årsag til, at der er mulighed for vandgennemtrængning ned i vejkassen.

4.2.3 Metoder til undersøgelse af korrekt reetablering af ledningsgrave

En undersøgelse af hvorvidt en ledningsgrav er reetableret korrekt, kræver en hurtig og præcis metode. Følgende krav bør sættes til udstyret:

- Målingen må ikke hindre eller kun minimalt genere trafikens fremkommelighed under udførelsen af målingen
- Målingen skal kunne udføres med en hastighed der gør, at et større antal ledningsgrave kan registreres i løbet af en arbejdsdag

Et for dårligt udført arbejde kan sjældent ses med det blotte øje, men må nødvendigvis konstateres med objektive målinger, herunder deflektionsmålinger på den "færdige" vejoverflade. Hertil kunne det være hensigtsmæssigt at udføre faldlodsmålinger (som er en deflektionsmåling) som kontrol af arbejdet.

En kontrolmåling med minifaldlod kan hurtigt og nemt udføres. En enkelt faldlodsmåling i ét punkt tager ca. 5 – 10 sek. og det skønnes, at det ved en gennemsnitlig størrelse ledningsgrav bør forventes i omegnen af ca. 25 – 50 målinger. Udstyret kan betjenes af en enkelt person. Der findes allerede forberedte og dedikerede algoritmer, til håndtering af data. Resultatet haves umiddelbart herefter.

4.3 Præfabrikerede betonelementbroer

Erfaringerne med præfabrikerede elementbroer går mere end 60 år tilbage, og udviklingen af løsninger hertil har derfor været støt stigende i denne periode. Anvendelsen af præfabrikerede løsninger varierer dog enormt meget fra land til land. I lande som Belgien, Italien, Holland, Spanien og Storbritannien er præfabrikerede betonelementbroer særdeles udbredt og i lande som USA og Canada udgør disse brotyper op til mere end 50% af markedsandelen [4].

I Skandinavien er billedet et andet, og her er præfabrikerede betonelementbroer, særligt i forbindelse med større vejbroer, sjældent anvendt. Langt størstedelen af de danske vejbroer er således gennem tiderne blevet udført som *in situ*-støbte betonbroer, om end præfabrikerede løsninger også har været anvendt.

Erfaringerne fra de projekter, hvor præfabrikerede betonelementbroer er anvendt viser, at præfabrikerede løsninger kan medføre fordele som reduceret anlægstid, reduktion af de trafikale belastninger i byggeperioden samt større sikkerhed for trafikanter og byggearbejdere i anlægsperioden. Præfabrikerede betonelementer kan i øvrigt have den fordel, at de støbes i et kontrolleret indendørs miljø, ligesom kvaliteten af støbningerne sikres gennem certificerede kvalitetssikringssystemer.

Præfabrikerede broer må dog nødvendigvis bestå af flere samlinger end *in situ*-støbte betonbroer, og dermed er antallet af potentielle punkter for nedbrydning også større end for *in situ*-støbte betonbroer. Kvaliteten af fuger og samlinger er derfor typisk en afgørende faktor for præfabrikerede betonelementbroers holdbarhed.

Fuger kan således udgøre et særligt problem, idet disse kræver løbende vedligehold, hvilket kan være en dyr og kompliceret proces for broer som er i drift. Desuden kan fugerne medføre en dårligere kørselskomfort, afhængig af det valgte belægningssystem. Netop denne problemstilling har været en belastning for de tidlige generationer af præfabrikerede betonelementbroer, hvoraf mange blev udført som simpelt understøttede konstruktioner med et stort antal af tværgående fuger.

I dag er der dog udviklet løsninger, som tager hånd om dette problem, og mange broer, selv med store spændvidder, udføres som kontinuerlige konstruktioner uden tværgående dilatationsfuger mellem understøtningspunkter. Der er her flere alternativer at vælge imellem, enten en delvis kontinuerlig konstruktion, hvor dækket er gennemgående og bjælkerne er simpelt understøttede, eller en fuldt kontinuerlig konstruktion, hvor både bjælker og dæk er gennemgående. Der er også udviklet kontinuerlige profiler, som ikke nødvendigvis hviler af på underliggende bjælker, men som i sig selv udgør den bærende overbygning.

I Spanien har man grundet en kraftig konkurrencesituation med *in situ*-støbte betonbroer, inden for de sidste årtier udviklet nye, og meget komplekse broelementløsninger, herunder kontinuerlige kassebjælkebroer med spændvidder på op til 90 meter, kontinuerlige broer med varierende profildybder med spændvidder på op til 60 meter samt præfabrikerede brosystemer med ekstern spændarmering [4].

Selvom den teknologiske udvikling i høj grad har taget hånd om problemerne med antallet af tværgående dilatationsfuger, vil der, afhængig af broens størrelse og det valgte design, ofte stadig være behov for at sammenstøbe elementerne (enten på langs eller på tværs), og fuger kan således sjældent helt undgås i præfabrikerede elementbroer. Samtidig spiller økonomi også en rolle, idet kontinuerlige konstruktioner med lange spænd, ofte vil være dyrere løsninger end broer, som er sat sammen af flere mindre elementer.

Fuger/samlinger vil derfor til stadighed udgøre en potentiel risiko for tidlig nedbrydning, hvis ikke de udføres korrekt. Ved udstøbning af fuger/samlinger mellem elementerne er der heller ikke længere tale om, at støbningerne foregår i kontrolleret indendørs miljø.

Én af de muligheder, der er for at reducere samlingernes sårbarhed over for nedsivende fugt og chlorider, er at udføre armeringen i samlingerne i korrosionsbestandige materialer som eksempelvis glasfiber eller rustfrit stål. Igen spiller økonomi her en væsentlig rolle i forhold til at vurdere, hvorvidt sådanne løsninger reelt er egnede til det specifikke projekt. I erkendelse af at netop samlinger kan være et svagt punkt på broer opført med præfabrikerede betonelementer, kan samlingernes placering/broens design udføres således, at fugerne nemmere kan tilgås i forbindelse med fremtidige reparations- eller vedligeholdelsesarbejder.

Fælles for de lande, hvor præfabrikerede elementbroer spiller en dominerende rolle på markedet, er, at der her længe har været udviklet standarder eller arbejdsbetingelser, som omhandler løsninger med præfabrikerede elementbroer. I Danmark har en af de primære barrierer for anvendelsen af præfabrikerede betonelementer til broer været, at de danske vejregler kun har været skrevet til at omhandle *in situ*-løsninger, hvilket har gjort det svært for elementproducenterne at tilbyde konkurrencedygtige løsninger med det regelsæt, der har foreligget.

Vejdirektoratet indførte dog i 2012 et nyt afsnit til "AAB Betonbroer" med titlen "præfabrikerede betonelementer" og banede som en af Danmarks største bygherrer i infrastrukturen dermed vejen for, at flere danske vejbroer i fremtiden opføres med betonelementer.

I de Almindelige Arbejdsbetingelser for præfabrikerede betonelementer holder Vejdirektoratet fast i de krav, der stilles til cement og armering i *in situ*-støbte betonbroer, hvilket kan medføre nogle udfordringer for elementproducenterne, som de normalt ikke skal håndteres i forbindelse med levering af betonelementer til byggeriet.

Beton, der indeholder den lav-alkali-cement, som kræves anvendt til broer, har således et langsommere hærdeforløb end beton med rapid-cement (som normalt anvendes til betonelementer i byggeriet), hvilket betyder, at temperatur- og hærdeforløbet skal planlægges mere nøje, for fortsat at sikre et acceptabelt flow i produktionen. Udfordringen er dog ikke større, end at den allerede er håndteret med succes af flere betonelementleverandører, som i de senere år har leveret betonelementer til danske vejbroer.

4.3.1 Forslag til fremadrettede aktiviteter

Selvom udviklingen af præfabrikerede elementbroer er nået langt de seneste år, udgør fuger stadig et holdbarhedsmæssigt problem, idet forholdsvis hyppige eftersyn og vedligeholdelsesarbejder af fuger er en nødvendighed for at sikre den optimale holdbarhed af konstruktionerne.

For at imødekomme dette problem er der som ovenfor beskrevet allerede udviklet løsninger, som kraftigt reducerer antallet af fuger, men afhængig af broernes udformning og størrelse vil det sjældent være muligt helt at undgå fuger og sammenstøbninger i præfabrikerede elementbroer.

Det vil derfor stadig være relevant at se nærmere på fugernes holdbarhed, og udvikle en løsning, som ud for både økonomiske og udførelsesmæssige hensyn kan reducere den frekvens hvorved eftersyn og vedligeholdelsesarbejder for fremtiden skal udføres. I tillæg hertil vil det også være relevant at se nærmere på fugernes tilgængelighed i forbindelse med fremtidige vedligeholdelses- og reparationsarbejder. Mere holdbare og lettere tilgængelige fuger vil således kunne reducere de driftsmæssige udfordringer der kan være forbundet med præfabrikerede elementbroer.

5 Referencer

- [1] Habert, G., Denarié, E., Šajna, A., Rossi, P., 2013, "Lowering the global warming impact of bridge rehabilitations by using Ultra High Performance Fibre Reinforced Concretes", *Cement and Concrete Composites*, Volume 38, pp. 1-11, ISSN 0958-9465, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.11.008.
- [2] Svec, O., Pade, C. "Ultra high performance fibre reinforced concrete as a waterproofing solution for concrete bridge deck renovations", *XXII Nordic Concrete Research Symposium*, 13.-15. august 2014, Reykjavik, Island, pp. 273-276.
- [3] Vejdirektoratet, 2008, "Udbudsforskrifter, Ledningsgrave, AAB", *Vejregelrådet*, pp. 7-8, Figur 1, ISSN 1600-006X.
- [4] Calavera, J., De Chefdebien, A., Fernández-Ordóñez, D., Gasperi, A., Ley, J., Mönnig, F., Passeman, P., Quartel, C., Sasek, L., Tootell, G., Van Acker, A., 2004, "Precast concrete bridges", *International Federation for Structural Concrete (fib)*, ISSN 1562-3610.