

Odins Bro

– Odense med Nordeuropas største svingbro

Kanalkrydsningen i Odins Bro udføres som dobbelt svingbro med en samlet spændvidde på næsten 200 m, midterspænd på 120 m og sidefag på 37 m. En særlig facet ved dette broanlæg er, at svingbroen roterer på et nyudviklet lejesystem, der så vidt vides ikke er anvendt før i denne type broer. Broanlæggets udformning er resultatet af en international konkurrence efter EU's Servicedirektiv i 2008, hvor 5 rådgivergrupper var prækvalificerede og deltog.

Af Stig Langsager, Projektleder, Odense Kommune
slan@odense.dk

Kjeld Thomsen, Civ. ing. M.Sc. ISC Rådgivende Ingeniører A/S
kt@isc.dk

Hilmer Jung Larsen Civ. ing. M.Sc. ISC Rådgivende Ingeniører A/S
hjl@isc.dk

Den 9. september 2009 erklærede Odenses borgmester ved en udstilling af konkurrenceforslagene til Odins Bro, at forslaget indsendt af ISC Rådgivende Ingeniører A/S var vinder af konkurrencen. De særlige kvaliteter, der blev fremhævet af bedømmelses-

komiteen, var bl.a., at man ikke forstyrrede kanalens trafik med obstructions af nogen art, samt at den ville virke som et karakteristisk vartegn for indsejlingen til Odense Havn. (figur 1).

Odins bro omfatter en 900 m lang brostrækning fra Otterupvej til Havnegade. Den er med til at lukke hullet i Ringvej 2 omkring Odense. Der er tale om en 4-sporret vej med 4,6 m cykel- og gangsti med en samlet brobredde på 28,14 m. I broanlægget er indeholdt en krydsning af den 80 m brede Odense Kanal. På vestsiden er der 600 m tilslutningsfag og dæmning til forbindelse med hovedvejen. På den østlige side er tilsvarende tilslutningsfag og en kort dæmning, der kobler omfartsvejen til det videre vejforløb.

Tilslutningsfagene mod vest krydser henover et lavt miljøbeskyttet engområde. Denne del af broforbindelsen er udført i forspændt beton. Tilsvarende for tilslutningsfagene for den østlige del af kanalen. (figur 2)

Tilslutningsfag

Den vestlige tilslutningsstrækning til kanalbroen udgøres af en 280 m lang dæmning, hvori der er indplaceret en tunnel ved overgang over Stavis å for at sikre en faunapassage. Herfra fortsætter forbindelsen med 280 m lang kontinuerlig bro henover Bispeengen. Broen har en spændvidder på 26 m og er udført i forspændt beton. Brodragerne, der hver bærer de to vejbaner samt cykel- og gangstier, er adskilt med en 3 m



Figur 1. Svingbro åbnet for trafik.

bred lysåbning, der i øvrigt er gennemført i hele brostrækningens længde – også i kanalbroen. (figur 3).

Bredden af betontværsnittene bliver derfor henholdsvis 16,6 m og 11,54 m. Under hver brosektion er der pr. 26 etableret én cirkulær søjle. De to brodele er dog konstruktivt sammenbundet over vederlagene med tværbjælker, ligesom de er forbundet i dragermidterne. Tæt ved tilslutningen til svingbroerne er de to brotværsnit koblet sammen, således at der etableres en vendeplads før adgang til broen.

Brotværsnittet er opbygget som et simpelt bjælketværsnit med åbne dragere bl.a. for at etablere muligheden for senere nem etablering af ophæng af rørkonstruktioner imellem dragerne. Den kontinuerlige betonkonstruktion er udlagt for in situ støbning og efterspændt med forspændingskabler. Såvel tværbjælkerne over søjleunderstøtningene som tværbjælker i fagmidterne er tilsvarende forspændt. Brotværsnittets højde er variabelt og maksimalt 1,5 m ved bromidten.

Den vestlige engbro har ni fag á 26 m og et mindre fag ved tilslutningen til svingbroen på 25 m og et 18 m spænd ved tilgangen til dæmningen. Længdestabiliteten af betonfagene er sikret ved anordning af faste lejer på de midterste piller, der er indspændt i fundamenterne.

Den østlige tilslutningsbro har kun tre spænd, og på grund af det kurvede forløb op til tilslutningen til den forsættende dæmning er spændene uens 21 m og 36 m.

Svingbroen

Overordnet system

Den markante del af denne broforbindelse er broen over Odense Kanal er udført som en dobbelt svingbro med en samlet længde på 194 m. Hovedspændet er 120 m, og de 2 sidefag er på hver 37 m.

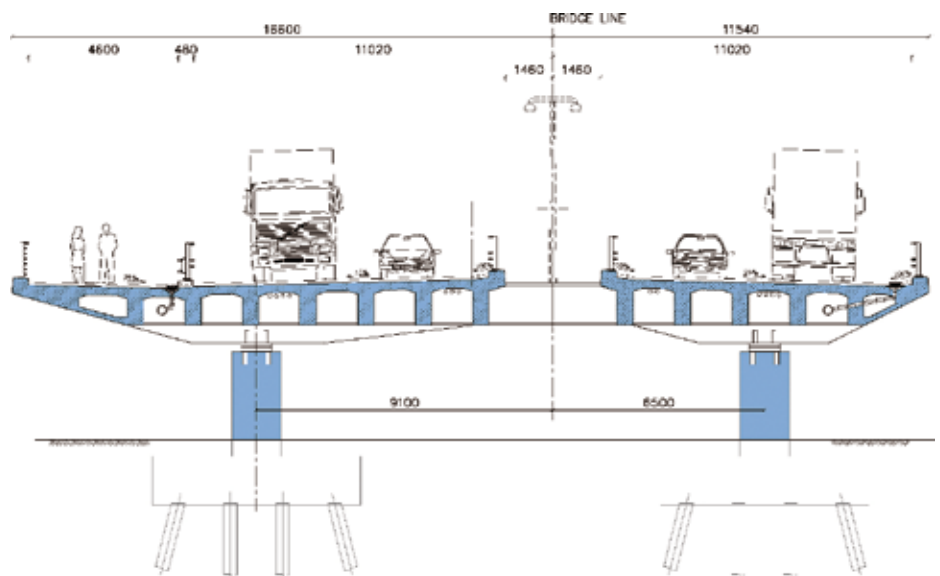
Udfaldskravet ved design af denne brokonstruktion var primært at undgå nogen form for "blocking effekt" i kanalen og samtidigt sørge for at trække hovedfundamentterne så langt tilbage fra bredderne, at brosektionerne, når de åbnede, ville ligge helt inden for kanalbredderne. Derved blev det opnået, at risikoen for påsejling af skibe var minimal.

De to primære fundament, hvorom de to svingbrodele skal rotere, er derfor trukket netop så langt tilbage fra bredderne, at det i praksis opnås, at broerne ligger indenfor ved åbning.

De to næsten ens brosektioner er designet i kassedragerudførelse i stål med en 3 m lysåbning mellem kassedragerne. Disse kassedragere er så strukturelt forbundet med tværbjælker i kassedragerudførelse over ve-



Figur 2. Plan af det samlede broanlæg.



Figur 3. Tværsnit i tilslutningsfag i beton.

derlagene og ved dragermidte og dragerende ved endeverdrag samt i mellempositioner for at sikre et optimalt tværsnit.

Overbygningen, der bærer brobanen, er udformet som en monoplan konstruktion, som udnytter det 3 m fritrum mellem kassedragerprofilerne. Den er udformet som en trekantformet afstivningskonstruktion med en højde på 20 m over vejbanen. Denne relativt enkle monoplane konstruktions samlede brobanebredde på 28,14 m er muliggjort ved de vridningsstive kasseprofiler i brobanen.

Hovedunderstøtningerne, der bærer lejerne for brosektionerne såvel i den permanente situation som for en rotationssituation, har en ydre diameter på 12 m. De er konstrueret i armeret beton. Alle mekaniske systemer og hydrauliske systemer for drejning af broen samt affugtning er placeret inde i disse betoncylindere.

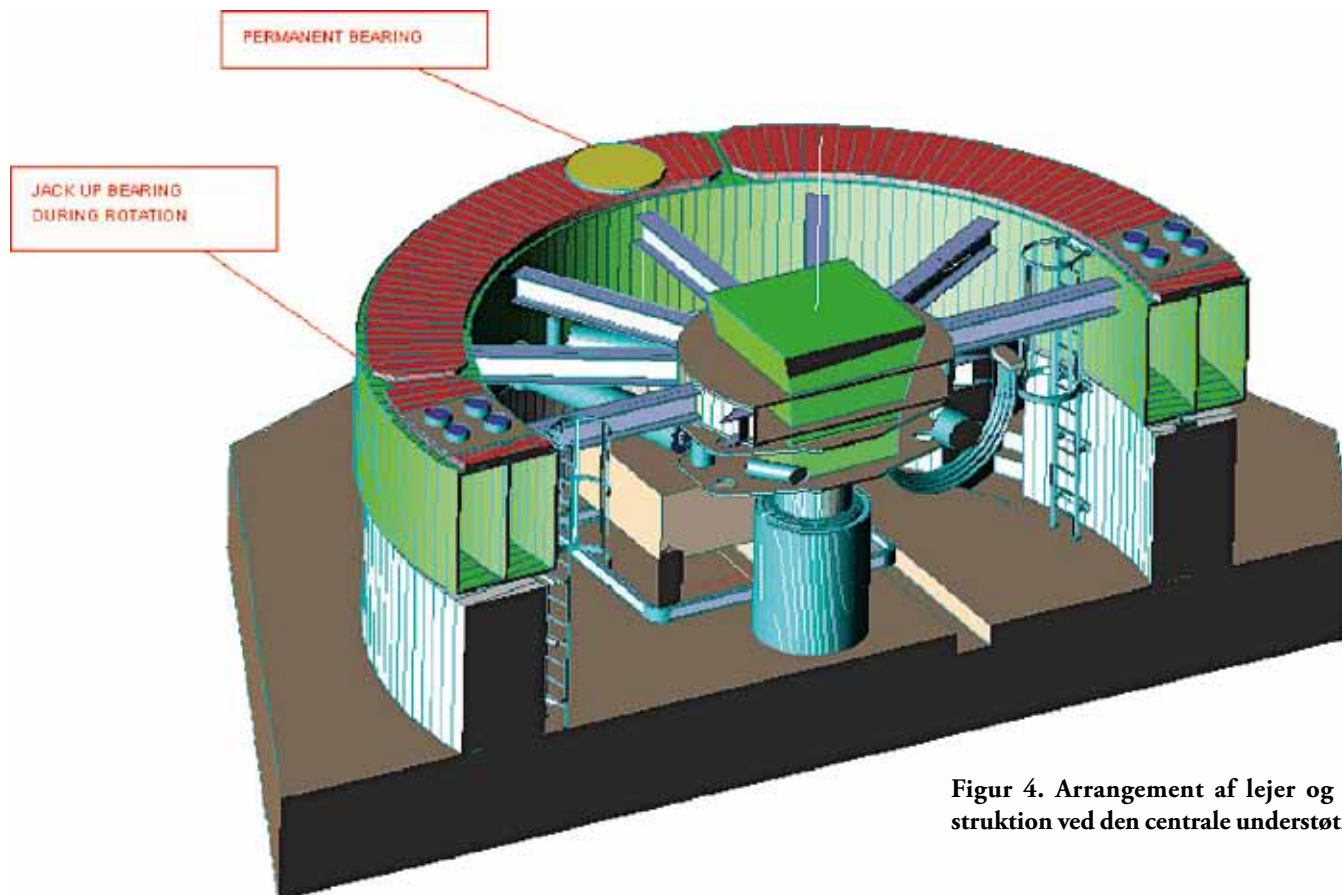
Lejer

De permanente understøtninger for broen på de centralunderstøtningerne udgøres for hver af de to neotopf lejer med diameter på 1,4 m. Disse lejer hviler på en cirkulær glideflade i rustfrit stål med diameter på 10,5

m. I åbningsituationen aktiveres yderligere 2 lejer i broens længderetning, der jacks op under broen, således at trykket fordeles over 4 lejer. For at reducere friktionen på den cirkulære glideflade vil der yderligere blive foretaget en jackup med ca. 1000 ton på den centralt understøttende søjle, således at trykket på de 4 lejer, der bærer broen, reduceres.

Fastholdelsen horisontalt af brosektionen sker gennem et cirkulært sfærisk leje, der er etableret imellem den centrale kongetap og en afstivende skive mellem den cirkulære stålbjælke, der er anordnet på toppen af betonunderstøtningerne, og hvorpå den rustfrie glideplade er monteret. I den permanente tilstand vil konstruktionen således være kontinuerlig med et fast simpelt vederlag på endeverdragene, simpelt vederlag på de centrale rotationsfundamenter og en simpel charnierforbindelse mellem de 2 svingende parter i bromidten.

Den maksimale lodrette last for bro i drift vil i et centerleje på pillen andrage 2800 ton. I rotationssituationen, hvor broen ikke er belastet med andet end vind og sne, er den maksimale last inklusive kontravægt, der skal drejes rundt, 2300 ton. Under ro-



Figur 4. Arrangement af lejer og konstruktion ved den centrale understøtning.

tationen vil disse 2300 ton være reduceret til 1300 ton pga. løftet på 1000 ton i det centrale leje. De 4 lejer, der skal dele denne last, vil naturligvis ikke bliver ens belastet, dersom der både er sne og vindbelastning under åbning, hvilket der er taget hensyn til i fastsættelse af lejebelastningerne.

Det mekaniske system

Alle bevægelser af elementer i den samlede konstruktion, der skal bevæges for åbning af broen, er aktiveret med hydrauliske systemer. Dette gælder både dornforbindelserne i broens midte og glidelejesystemets funktion ved endevederlagene. Tilsvarende gælder for de to lejer, der aktiveres over de centrale fundamenter i broens længderetning, hvor fire hydrauliske jacks i hvert leje aktiveres hydraulisk til belastningen er ens i alle de fire lejer, der skal være aktive under broens rotation. (figur 4).

Det centrale sfæriske leje, hvorpå kongetappen hviler, aktiveres også hydraulisk med en last på 1000 ton før brobevægelsen startes op. Selve drejebbevægelsen aktiveres af fire hydrauliske stænger, der tilsammen kan påføre et vridningsmoment på 27.000 kNm på kongetappen. Disse hydrauliske cylindere har en størrelse på 470/280. De største, der kan indbygges i det rum, der er til rådighed i betoncylinderfundamentet.

Det hydrauliske systems kapaciteten er

beregnet til at kunne klare en friktionskoefficient på helt op til 0,3 i glidefladerne for lejerne, og der forventeligt kun en friktion på 0,5-0,10, hvilket giver rigelig sikkerhed for, at broen kan åbne.

Broåbning/brolukning

Styring af åbning og lukning af broen sker fra kontrolrummet, der er placeret i en nærliggende kontorbygning, som er den del af det samlede konkurrenceprojekt, med Odense Havn som bygherre.

Den samlede tid for åbning af broen fra aktivering af signaler, tømning af bro mv. er ca. 7 min. Selve drejebbevægelsen af broen er ca. 2 min.

Åbning af broen indledes med aktivering af de supplerende lejer i de centrale understøtninger, således at broen bliver 4 punkts understøttet. Dernæst aktiveres det centrale leje under kongetappen med en opad rettet last på 1000 ton. Når dette er sket, aktiveres dornforbindelserne i broens midte og ved broens endevederlag, og broen tiltes 150 mm i bromidten, således at brodelene går helt fri af hinanden ved drejebbevægelsens start. Herefter drejes først den lille brosektion til fuld åbning efterfulgt af den anden. Det påregnes, at broen skal åbnes og lukkes ca. 3000 gange om året. Alle hydrauliske og elektriske installationer er designet til en levetid på 25 år, mens broen som helhed er designet til en levetid på 100 år (figur 5).

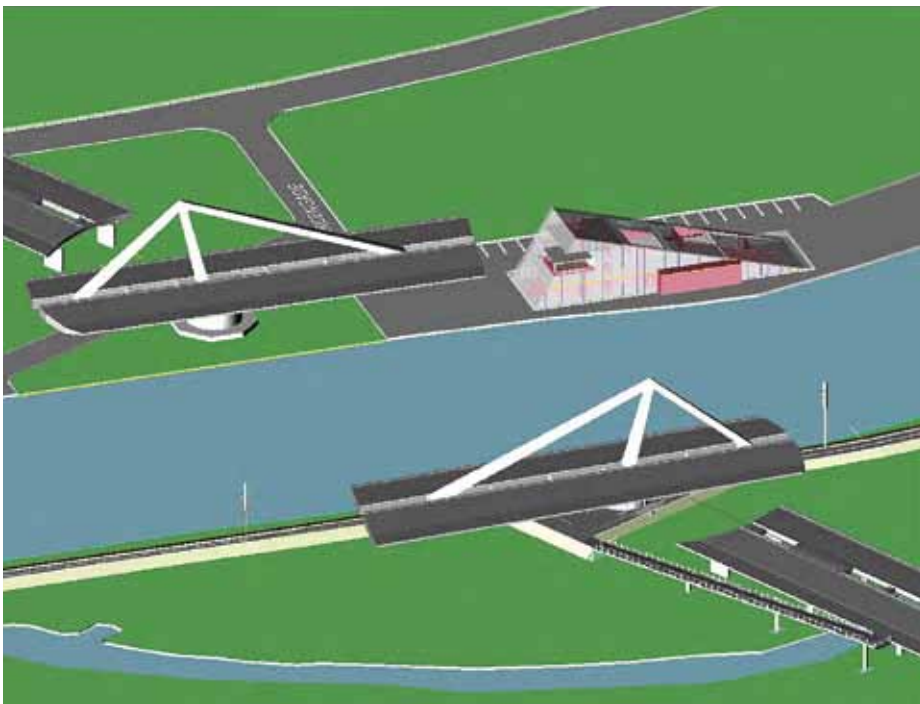
Ved strømsvigt er der sikret strømforsy-

ning til broen ved hjælp af et nødgenerator anlæg med kapacitet på 500 kW. Dieselgeneratoren vil blive placeret i samme bygning som transformeren til elforsyningen. I tilfælde af påsejling er det sikret, at systemet er "fail safe" på den måde, at der er nøgledele i selve konstruktionen, der brydes inden for en belastning, der er væsentlig mindre end den, fundamentet kan overføre ved vridning, således at en evt. skade kan ikke forplantes til underbygningen.

Fundering

Funderingsforholdene er ringe. Der er i hele engområdet blød bund ned til 13-15 m dybde, og i kanalområdet er der helt op til 30 m ned til fast bund. Dette medfører, at dæmningen er etableret ved hjælp af forkonsolidering af området, ligesom resten af brofundamenterne er pælefunderet. Dette gælder også de centrale fundamenter, der hver er funderet på ca. 70 stk. 40 x 40 cm pæle. De ringe funderingsforhold har bevirket, at man for at opnå tilstrækkelig fleksibilitet i nøjagtigheden af broen har installeret en 1,8 m høj 1,5 m bred stål-kassedragere over betoncylinderunderstøtningerne. Disse ringbjælker bærer glidefladen for lejerne. De er understøttet i 12 punkter. Der kan installeres hydrauliske jacks for justering af nøjagtigheden af broen gennem løft af disse cirkulære kassedragere.

De ringe funderingsforhold bevirker, at der både kan forventes initiale sætninger og



Figur 5. Luft view af færdig svingbro.

langtidssætninger, som kan nødvendiggøre en justering af ringbjælkerne på pillerne. Alle øvrige søjlefundamenter i engområderne er tilsvarende understøttet på pæle.

På den østlige bred er der dog moræneler længere inde bag kajområdet med kun nogle meter til fast bund, og søjlefundamenterne har her kunnet funderes direkte.

Fremstilling - Transport – Montage

Arbejderne i forbindelse med broanlægget er opdelt i tre store entrepriser. Den ene entreprise omfatter dæmningsanlæg, jordarbejder mv. og den anden entreprise omfatter fundamenter og brosidefag, medens den tredje entreprise er selve svingbrokonstruktionen.

Det er planlagt at fremstille ståloverbyg-

ningen til svingbroen på et stort værksted i Shanghai og transportere den til brostedet i to store brosektioner. På fremstillingsstedet vil broen blive opstillet i en mock-up, fuldstændig som på den endelige placering over Odense kanal, således at nøjagtigheden i fuger såvel ved endevederlag som i bromidtte kan sikres med kontravægt og alle egenvægte placeret på broen.

Efter færdig justering af broelementerne vil de blive monteret på en pram og transporteret til Lindø værft. Her vil de blive omladet, således at brosektionerne en ad gangen sejles op til byggepladsen. På fundamenterne for de centrale vederlag vil der være monteret bærende konstruktioner, der kan bære glidebjælker fra pram og ind til

vederlagene. Hele den fuldt monterede brosektion glides så ind over det centrale vederlag, sænkes ned på plads og justeres til den endelige placering. Processen gentages så for den anden svingbro sektion.

Brosektionerne vil være fuldt overfladebehandlet svarende til korrosionsklasse C5 i henhold til DS/EN ISO12944 fra værksted. Den indvendige del af profilerne og den trekantformede overbygning på broen er af-fugtet med affugtningsanlæg, der er placeret i de centrale vederlag. Eventuelle mangler eller fejl, der er opstået under transporten, vil blive udbedret på stedet. Montage metoden er af entreprenøren valgt således, at kanalblokeringen bliver reduceret til et minimum.

Alle entrepriser er kontraherede ultimo 2010, og arbejdet på byggepladsen er allerede i gang. Første spadestik foretages den 8. februar 2011. Tidsplanen for broen er således, at broen skal afleveres til ibrugtagning primo 2014. ■

Bygherre:

Odense Kommune

Totalrådgiver:

ISC Rådgivende Ingeniører A/S

Arkitektkonsulent:

Bystrup Arkitekter

Vejarbejde: BVK ApS

Miljø:

Orbicon ApS

Entreprenør for svingbro:

MT Højgaard A/S

Entreprenør for betonbroer

og fundering:

Per Aarsleff A/S

Entreprenør for dæmning og

jordarbejder:

MJ Ericsson A/S

Pris: 360 mil. kr.